



کاربرد مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز چلی‌چای)

حسین نظم فر^{*}: استادیار گروه برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
ابراهیم بهشتی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۲/۲۳ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۱۷، صص ۵۳-۶۸

چکیده

نقشه های حساسیت وقوع زمین لغزش یکی از مهمترین ابزارهای لازم برای برنامه ریزان و تصمیم گیران محیطی به ویژه در مناطق کوهستانی است. مدل فرآیند تحلیل شبکه (ANP) از جمله مدل های تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش است. این مدل با حفظ قابلیت ها و محاسن موجود در مدل AHP، معایب مربوط به آن را رفع کرده و به همین دلیل در سال های اخیر استفاده از آن نسبت به AHP فزونی گرفته و جایگزین آن شده است. در این پژوهش با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه، پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز چلی چای استان گلستان انجام شده است. برای انجام این کار از ۱۰ پارامتر طبیعی و انسانی (سنگ شناسی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، درجه و برای شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و فاصله از جاده) استفاده شده است. نرم افزارهای Arc map، super decision و ENVI از جمله ابزارهای هستند که برای انجام مقایسات زوجی، تهیه داده ها و اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفته اند. نقشه نهایی به دست آمده از مدل در پنج کلاس خطر طبقه بندی و با استفاده از زمین لغزه های رخ داده در منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که ۷۰ درصد زمین لغزه های رخ داده در منطقه در کلاس هایی با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته اند. این مناطق اغلب در نیمه شمالی و بخش های مرکزی حوضه قرار گرفته اند. با توجه به نتیجه ارزیابی، مدل قابلیت مناسبی را برای پیش بینی حساسیت زمین لغزش نشان می دهد. طبق نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش نواحی پر خطر حوضه عمدتاً دامنه های جنوبی، جنوب غربی و غربی را تشکیل می دهند. با توجه به نقشه پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش، امکان شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در بخش های مختلف حوضه مشخص شده است و استفاده از آن می تواند در زمینه مدیریت حوضه و پایدارسازی دامنه ها مفید باشد.

واژه های کلیدی: حساسیت زمین لغزش، ANP-Fuzzy، حوضه چلی چای، Super Decision

مقدمه

و نتایج آن ها در ابعاد اجتماعی و اقتصادی مشهود

است (مرجانویچ^۱ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۲۵). شناخت

نوع مخاطره و موقعیت مناطق حساس از جمله

زندگی انسان ها در مقیاس های مختلف تحت تاثیر

مخاطرات محیطی قرار دارد. مخاطرات از لحاظ

استمرار، تکرار و شدت وقوع بسیار متفاوت می باشند

¹ - Marjanović

E-mail: nazmfar1@yahoo.com:

*نویسنده مسؤول:

اقدامات اولیه در مواجهه با این نوع مسائل است. مخاطرات ژئومورفولوژیک، پدیده‌هایی طبیعی هستند و فقط به دلیل حضور انسان و زیر ساخت‌های بشری است که به حوادث مخاطره‌آمیز تبدیل می‌شوند (کرمی، ۱۳۸۶: ۸۷). زمین لغزش نیز یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی است که تأثیر آن در محیط طبیعی و انسانی بسیار زیاد است. زمین لغزش یکی از اشکال ژئومورفیک تأثیرگذار بر تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی (روئرینگ^۱ و همکاران) و نوع خاصی از فرآیندهای دامنه‌ای است که زائیده شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸: ۱۱۰). وقوع زمین لغزش اثرات زیادی را در مقیاس محلی و جهانی در اقتصاد داشته و همه ساله هزاران نفر در سرتاسر جهان زندگی‌شان را به خاطر زمین لغزش از دست می‌دهند (یالکین^۲ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۷۴). بر اساس برآوردهای اولیه در ایران سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق وقوع زمین لغزش وارد می‌شود (حسین زاده و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۷). وجود نقشه‌های خطر و حساسیت زمین لغزش برای تعیین پتانسیل نواحی از لحاظ خسارت زمین لغزش‌ها و کاهش اثرات زیان‌بار اجتماعی و اقتصادی آن بسیار ضروری است (مارتا^۳ و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۳۹).

در مطالعات مختلفی که در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام شده، محققین از چندین پارامتر طبیعی و انسانی برای انجام این کار استفاده کرده‌اند که می‌توان به مواردی همچون لایه شیب، نوع خاک و

سنگ بستر، ساختار دامنه‌ها، شرایط هیدرولوژیکی و اقلیمی، کاربری زمین و سایر پارامترها اشاره کرد. ترکیبات گوناگونی از چندین مجموعه از پارامترهای اشاره شده در بالا شرایط منحصربه‌فردی را ایجاد می‌کند که مناطق قابلیت‌های متفاوتی را برای ایجاد زمین لغزش (حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) نشان می‌دهند (سوترز و فن وستن^۴، ۱۹۹۶، لی و ماین^۵، ۲۰۰۱، گوزتی^۶ و همکاران، ۱۹۹۹، براب^۷ و همکاران، ۱۹۹۸). از روش‌های عمده برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می‌توان به مدل‌هایی مثل رگرسیون لجستیک^۸، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۹، فرایند تحلیل شبکه (ANP)^{۱۰}، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^{۱۱}، انواع مدل‌های دو متغیره آماری، مدل LNRF، مدل منطق فازی و غیره اشاره کرد.

مطالعات زیادی در زمینه زمین لغزش انجام شده، که در اینجا سعی شده است تا جدیدترین مطالعات در این زمینه با در نظر گرفتن مدل‌های مورد استفاده در پژوهش مورد توجه قرار گیرد. نئوپن و پیانتاناکولچای^{۱۲} (۲۰۰۶) با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از پنج فاکتور طبیعی برای بخشی از منطقه نیال انجام

4 - Soeters and Van Westen

5 - Lee and Min

6 - Guzzetti

7 - Brabb

8 - Logistic regression

9 - Analytical Hierarchical Process

10 - Analytic network process

11 - Artificial neural network

12 - Neaupane and Piantanakulchai

1 - Roering

2 - Yalcin

3 - Martha

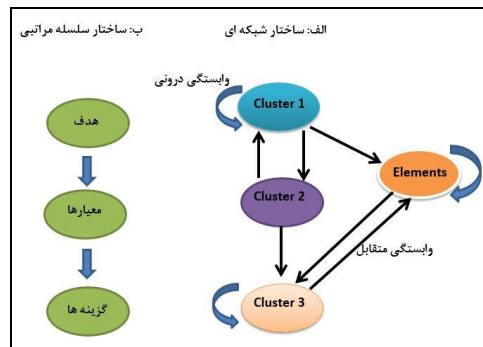
بهداشتی - درمانی را برای شهر بیرجند انجام داده و مکان‌های پیشنهادی برای مراکز بهداشتی در برنامه‌ریزی‌های آینده نگر تعیین و الویت‌بندی شد و چهار نقطه کلیدی با توجه به معیارهای به کارگرفته شده، مشخص شد. زبردست (۱۳۸۹) کاربرد مدل ANP را در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای مورد بررسی قرار داد. او در این تحقیق برای تعیین سایت مطلوب برای احداث شهرک‌های صنعتی مدل را اجرا کرده و به این نتیجه رسید که فرآیند تحلیل شبکه‌ای، ضمن حفظ کلیه قابلیت‌های AHP می‌تواند بر محدودیت‌های جدی آن از جمله در نظر نگرفتن وابستگی متقابل بین عناصر تصمیم و فرض اینکه ارتباط بین عناصر تصمیم، سلسله مراتبی و یک طرفه است، فایده‌آمده و چهارچوب مناسبی را برای تحلیل مسایل شهری فراهم آورد. فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی را در شهرستان قوچان انجام دادند و مناطقی را به عنوان محل دفن زباله معرفی کردند. به نظر آنها هرچه تعداد معیارها و شاخص‌ها کامل‌تر و دقیق‌تر انتخاب شود، نتایج بهتری به دنبال خواهد داشت. در این پژوهش با استفاده از ترکیب دو مدل فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی نقشه حساسیت زمین لغزش برای حوضه رودخانه چلی‌چای انجام شده است. باید اشاره کرد که تاکنون در داخل کشور هیچ‌گونه تحقیقی با استفاده از ترکیب مدل ANP و منطق فازی در زمینه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش صورت نگرفته و به کارگیری دو مدل باهم از نوآوری‌های مقاله است.

دادند. به نظر آنها اگرچه مدل ANP به عنوان مدلی قابل اطمینان برای تحقیق در زمینه مالی و مدیریتی بنا شده است اما در زمینه مهندسی زمین کاربرد و نتایج قابل قبولی را دارد. چون مدل فوق با استفاده از نظر متخصصین ژئوتکنیک می‌تواند وابستگی‌های بین فاکتورهای کنترل‌کننده زمین لغزش را تعیین کرده و پشتیبانی کند و این حالت ایده‌آلی برای ارزیابی خطر زمین لغزش است. اوتمن^۱ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از ۱۰ پارامتر موثر در زمین لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۲ نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را برای بخش‌هایی از ایالت کوالالامپور و سلانگور به دست آوردند در این تحقیق با وزن‌دهی فاکتورها از AHP و مدل رتبه‌بندی استفاده شد. مقایسه نتایج دو مدل با زمین لغزش‌های ثبت شده نشان داد که دو مدل با دقت ۷۲ و ۶۵ درصد به ترتیب بهترین نتیجه را برای پهنه‌بندی داشته‌اند.

مقیم و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه و ۸ زیر معیار که در دو خوشه دسته بندی شده بودند عمل مدل سازی را انجام داده و پهنه بندی حساسیت زمین لغزش را برای منطقه رودبار انجام دادند. نتیجه پژوهش نقشه حساسیت زمین لغزش بود که در پنج کلاس خطر دسته بندی شده بود. در بین پارامترهای در نظر گرفته شده شیب و حساسیت لیتولوژی بیشترین سهم را در ایجاد زمین لغزش از خود نشان دادند. مکانیکی و صادقی (۱۳۹۱) با استفاده از مدل ANP مکان‌یابی مراکز

1 - Othman

2 - Multi-criteria Decision Making



شکل ۱: تفاوت ساختاری بین الف (ANP) و ب (AHP) (مأخذ: نگارندگان)

فرآیند تحلیل شبکه (ANP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ معرفی شد (ساعتی^۱، ۱۹۸۰). فرض اصلی روش وجود استقلال زیر معیارها با هم است (ساعتی، ۲۰۰۶). ساعتی در مواردی که این اصل نقض می‌شود و ساختار مسئله به شکل شبکه‌ای است، روش ANP را معرفی می‌کند (عمل نیک و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۰۲). فرآیند تحلیل شبکه حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن است، بنابراین تمامی ویژگی‌های مثبت آن مثل سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده و مضافاً می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین و میان عناصر تصمیم را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای بجای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد (زبردست ۱۳۸۹: ۸۰). شکل یک تفاوت بین یک ساختار شبکه‌ای با ساختار سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

فرآیند تحلیل شبکه را می‌توان در چند مرحله به صورت زیر خلاصه کرد (لی^۲ و همکاران، ۲۰۰۸: ۱-۲). در اولین مرحله از مدل با توجه به هدف پژوهش، مسئله مورد نظر به یک شبکه تبدیل می‌شود. در این شبکه ارتباط بین عناصر خوشه‌ها (وابستگی بیرونی)، ارتباط عناصر یک خوشه با خودشان (وابستگی درونی) تبیین می‌شود. در شکل یک ارتباط بین خوشه‌ها و عناصر در ارتباط با زمین لغزش به صورت مدل ساده‌ای نشان داده شده‌است. در مرحله بعد مشابه آنچه در AHP در مقایسه معیارها صورت می‌گیرد در ANP نیز تکرار می‌شود. در ANP عناصر تصمیم در هر خوشه بر اساس میزان اهمیت آنها در ارتباط با معیارهای کنترلی دوبه‌دو مقایسه می‌شوند.

تشکیل سوپر ماتریس اولیه و ناموزون^۳

عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قرار دارند. این عناصر می‌توانند واحد تصمیم گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری

² - Lee

³ - Unweighted super matrix

¹ - Saaty

$$\lim_{k \rightarrow \infty} w^k \quad (1)$$

منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه چلی‌چای از زیرشاخه‌های گرگان‌رود و جزء سیستم زهکشی خزر می‌باشد. این حوضه در جنوب مناطق مینودشت و کلاله در استان گرگان واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه در حدود ۳۱۰ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع منطقه بین ۲۱۱۴ تا ۱۷۰ متر است. پوشش گیاهی منطقه به خاطر برخورداری از بارش‌های منطقه شمال غنی بوده و اغلب با مراتع خوب تا متوسط و پوشش جنگلی پوشیده شده است. استان گلستان و منطقه مورد مطالعه به خاطر وجود شرایط خاص منطقه‌ای دارای زمین لغزش‌های زیادی می‌باشند. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از مدل ANP-Fuzzy حساسیت زمین لغزش منطقه مورد بررسی قرار گرفته و نقشه آن تهیه شود. شکل سه موقعیت محل را نسبت به استان گلستان و نیز برخی از زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه را نشان می‌دهد.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از ۱۰ شاخص طبیعی و انسانی (سنگ‌شناسی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، درجه و برای شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و فاصله از جاده) برای اجرای مدل و پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش استفاده شده‌است. برای تهیه داده‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دوزین، آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه برای تهیه لایه بارش، تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست برای تهیه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و کاربری زمین استفاده شده است. از لایه DEM منطقه با پیکسل سایز ۲۸ متر نیز برای تهیه لایه شیب، برای دامنه، شبکه آبراهه و تراکم شبکه زهکشی استفاده شده‌است. آماده‌سازی و تهیه

باشند (مکانیکی و صادقی، ۱۳۸۹: ۱۲۷). وزن‌های به دست آمده از مقایسه زوجی مرحله قبل وارد سوپر ماتریس اولیه می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهد با ورود بردار اولویت داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در سوپر ماتریس اولیه، سوپر ماتریس ناموزون به دست می‌آید. شکل دو قالب عمومی یک سوپر ماتریس را نشان می‌دهد.

		C_1				C_2				$\dots$	C_N			
		e_{11}	e_{12}	$\dots$	e_{1N_1}	e_{21}	e_{22}	$\dots$	e_{2N_2}		e_{N1}	e_{N2}	$\dots$	e_{NN_N}
C_1	e_{11}	W_{11}				W_{12}				$\dots$	W_{1N}			
	e_{12}													
	$\dots$													
	e_{1N_1}													
C_2	e_{21}	W_{21}				W_{22}				$\dots$	W_{2N}			
	e_{22}													
	$\dots$													
	e_{2N_2}													
	$\vdots$	$\dots$				$\dots$				$\dots$	$\dots$			
	$\vdots$													
C_N	e_{N1}	W_{N1}				W_{N2}				$\dots$	W_{NN}			
	e_{N2}													
	$\dots$													
	e_{NN_N}													

شکل ۲: قالب عمومی یک سوپر ماتریس (مأخذ: نتوپان و پیانتاناکولچای)

تشکیل سوپر ماتریس موزون^۱

سوپر ماتریس موزون از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای^۲ محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود (ساعتی، ۱۹۹۹).

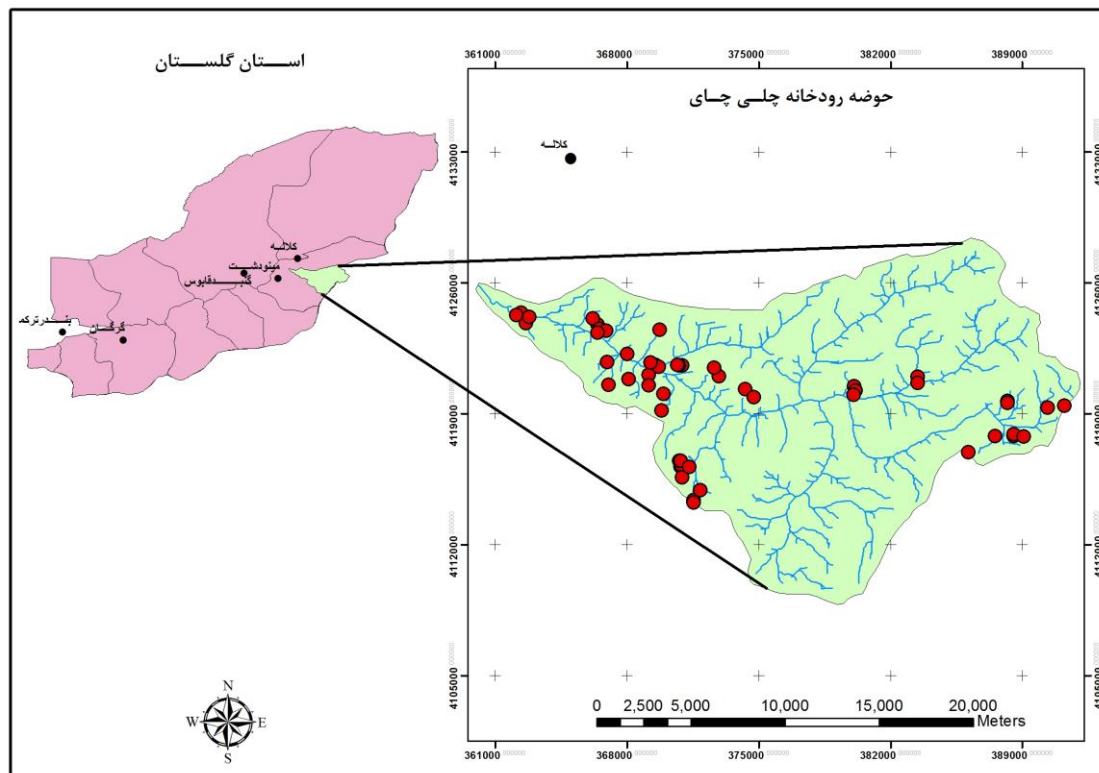
در مرحله بعد، تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون به حدی به توان می‌رسند تا همگرا شده و مقادیر آن با هم برابر شوند. با تشکیل سوپر ماتریس حد^۳ بردار وزن عمومی به دست می‌آید.

¹ - weighted super matrix

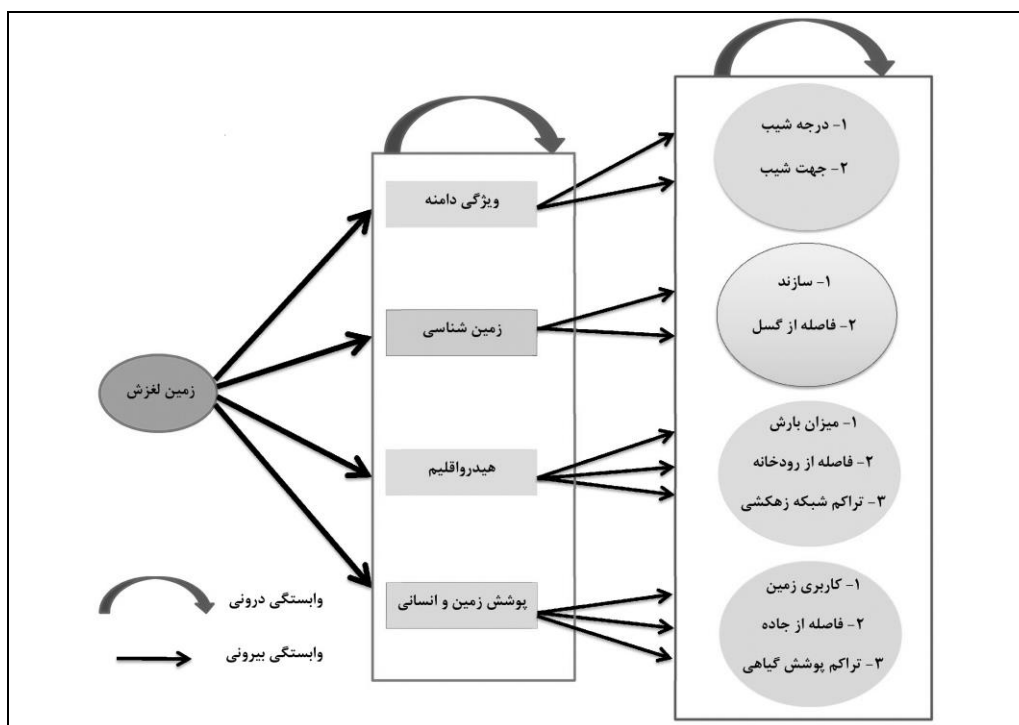
² - Cluster matrix

³ - Limit super matrix

داده‌ها در محیط دو نرم‌افزار ARCGIS و ENVI صورت گرفته است.

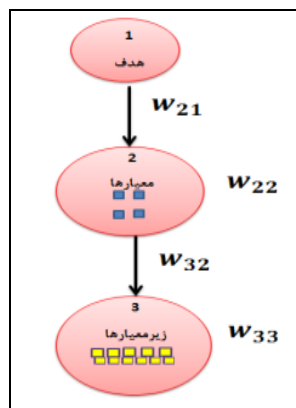


شکل ۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و زمین لغزش‌های رخ داده



شکل ۴: مدل شبکه‌ای برای تعیین حساسیت زمین لغزش

متقابل معیارها و زیرمعیارها و روابط درونی آنها و هدف مورد نظر، با کمک کارشناسان متخصص، مدل شبکه‌ای برای تعیین حساسیت زمین لغزش تهیه شد تا با توجه به آن روابط موجود بین هر یک از عناصر مدل مشخص شده و مقایسات زوجی بین آنها صورت گیرد (شکل ۴).



شکل ۵: ساختار شبکه‌ای مدل

معیارهایی هستند که لازم است مقایسه زوجی بین آنها صورت گیرد حاصل این مقایسات اجرای ماتریس w_{32} را تشکیل می‌دهند. همچنین با توجه به ارتباط و وابستگی درونی ۱۰ زیرمعیار مورد استفاده در این پژوهش مقایسه زوجی بین آنها صورت گرفت که حاصل این مقایسات T ماتریس w_{33} است. در این مطالعه با توجه به حجم بالای محاسبات و مقایسه بین عناصر شبکه و برای راحتی و افزایش دقت کار از نرم‌افزار Super Decision برای به دست آوردن بردار اهمیت معیارها و سوپرماتریس‌ها استفاده شده است (شکل ۷). جداول شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب سوپرماتریس ناموزون، سوپر ماتریس موزون و سوپرماتریس حد که با استفاده از این نرم‌افزار محاسبه شده‌اند را نشان می‌دهد. در شکل ۷ وزن‌های به دست آمده برای هر یک از زیرمعیارها نشان داده شده‌است.

با توجه به نوع پارامترهای در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی زمین لغزش، ۱۰ پارامتر فوق در ۴ گروه اصلی به عنوان معیارهای اصلی خوشه‌بندی شدند (هیدرواقليم، زمین شناسی، پوشش زمین و انسانی، ویژگی‌های دامنه). و پارامترها به عنوان زیر معیارهای هر یک از این معیارها معرفی شدند. با توجه به روابط

	هدف	معیارهای اصلی	زیرمعیارها
هدف	0	0	0
معیارهای اصلی	w_{21}	w_{22}	0
زیرمعیارها	0	w_{32}	w_{33}

شکل ۶: ساختار سوپرماتریس اولیه (مأخذ نگارندگان)

بر خلاف فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که ارتباط بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها یک سویه است در فرآیند تحلیل شبکه‌ای علاوه بر ارتباط سلسله مراتبی، ممکن است در بخش‌هایی از مدل، بین معیارها و زیرمعیارها ارتباط و وابستگی متقابل وجود داشته باشد. با توجه به این امر و ساختار شبکه‌ای مدل (شکل ۵) ساختار سوپر ماتریس اولیه به صورت شکل (۶) خواهد بود.

با انجام مقایسات زوجی (بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی) بین معیارهای اصلی بردار موزون w_{21} حاصل می‌شود. از آنجایی که معیارهای اصلی هر یک با هم دارای وابستگی‌های درونی هستند برای درک این وابستگی‌ها مقایسه دودویی بین معیارهای اصلی برای دستیابی به عناصر ماتریس w_{22} نیز صورت می‌گیرد. هر یک از معیارهای اصلی دارای زیر

جدول ۱: سوپر ماتریس ناموزون (با استفاده از نرم‌افزار Super decision)

		Goal	criteria					Alternative									
		landslide	climate & hydrology	geology	geomorphology	landcover & human	aspect	density of river	distance to fault	distance to river	distance to road	landuse	lithology	ndvi	rainfall	slope	
Goal	landslide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
criteria	climate & hydro	0.16008	0	0.53961	0.29696	0.53961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	geology	0.4673	0.296958	0	0.53962	0.16342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	geomorphology	0.27718	0.163417	0.16342	0	0.29696	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	landcover & human	0.09543	0.539626	0.29696	0.16342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alternative	aspect	0	0	0	0.24998	0	0	0.03071	0	0	0	0.07543	0	0.10247	0.3825	0.23231	
	density of river	0	0.142857	0	0	0	0	0	0	0.62501	0	0.02631	0	0.03474	0.04281	0.02673	
	distance to fault	0	0	0.2	0	0	0	0.02284	0	0.23849	0	0.02021	0.27718	0.021	0	0.0789	
	distance to river	0	0.571429	0	0	0	0	0.06599	0	0	0	0.10442	0	0.07084	0.06408	0	
	distance to road	0	0	0	0	0.29696	0	0	0	0	0	0.04975	0	0.0258	0	0	
	landuse	0	0	0	0	0.53961	0	0.14436	0	0	0.66667	0	0.16009	0.1551	0.2504	0.03735	
	lithology	0	0	0.8	0	0	0.66667	0.38432	0	0	0	0.15238	0	0.22144	0	0.40324	
	ndvi	0	0	0	0	0.16342	0	0.09794	0	0	0	0.03586	0.09544	0	0.15958	0.05889	
	rainfall	0	0.285714	0	0	0	0	0.04458	0	0	0	0.31159	0.4673	0.31032	0	0.16258	
	slope	0	0	0	0.75002	0	0.33333	0.20926	1	0.1365	0.33333	0.22406	0	0.05829	0.10063	0	

جدول ۲: سوپر ماتریس موزون (با استفاده از نرم‌افزار Super decision)

		Goal	criteria				Alternative									
		landslide	climate & hydrology	geology	geomorphology	landcover & human	aspect	density of river	distance to fault	distance to river	distance to road	landuse	lithology	ndvi	rainfall	slope
Goal	landslide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
criteria	climate & hydro	0.16008	0	0.35974	0.19797	0.35974	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	geology	0.4673	0.19797	0	0.35974	0.10895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	geomorphology	0.27718	0.10894	0.10895	0	0.19797	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	landcover & human	0.09543	0.35975	0.19797	0.10895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alternative	aspect	0	0	0	0.08333	0	0	0.03071	0	0	0	0.07543	0	0.10247	0.3825	0.23231
	density of river	0	0.04762	0	0	0	0	0	0	0.62501	0	0.02631	0	0.03474	0.04281	0.02673
	distance to fault	0	0	0.06667	0	0	0	0.02284	0	0.23849	0	0.02021	0.27718	0.021	0	0.0789
	distance to river	0	0.19048	0	0	0	0	0.06599	0	0	0	0.10442	0	0.07084	0.06408	0
	distance to road	0	0	0	0	0.09899	0	0	0	0	0	0.04975	0	0.0258	0	0
	landuse	0	0	0	0	0.17987	0	0.14436	0	0	0.66667	0	0.16009	0.1551	0.2504	0.03735
	lithology	0	0	0.26667	0	0	0.66667	0.38432	0	0	0	0.15238	0	0.22144	0	0.40324
	ndvi	0	0	0	0	0.05448	0	0.09794	0	0	0	0.03586	0.09544	0	0.15958	0.05889
	rainfall	0	0.09524	0	0	0	0	0.04458	0	0	0	0.31159	0.4673	0.31032	0	0.16258
	slope	0	0	0	0.25001	0	0.33333	0.20926	1	0.1365	0.33333	0.22406	0	0.05829	0.10063	0

جدول ۳: سوپر ماتریس موزون (با استفاده از نرم افزار Super decision)

	Goal	criteria					Alternative									
		landslide	climate & hydrology	geology	geomorphology	landcover & human	aspect	density of river	distance to fault	distance to river	distance to road	landuse	lithology	ndvi	rainfall	slope
Goal	landslide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
criteria	climate & hydro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	geology	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	geomorphology	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	landcover & human	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alternative	aspect	0.12477	0.12477	0.12477	0.12477	0.12477	0.1248	0.12477	0.1248	0.12477	0.12477	0.12477	0.12477	0.12477	0.12477	0.12477
	density of river	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354
	distance to fault	0.08067	0.08067	0.08067	0.08067	0.08067	0.0807	0.08067	0.0807	0.08067	0.08067	0.08067	0.08067	0.08067	0.08067	0.08067
	distance to river	0.02893	0.02893	0.02893	0.02893	0.02893	0.0289	0.02893	0.0289	0.02893	0.02893	0.02893	0.02893	0.02893	0.02893	0.02893
	distance to road	0.00677	0.00677	0.00677	0.00677	0.00677	0.0068	0.00677	0.0068	0.00677	0.00677	0.00677	0.00677	0.00677	0.00677	0.00677
	landuse	0.10249	0.10249	0.10249	0.10249	0.10249	0.1025	0.10249	0.1025	0.10249	0.10249	0.10249	0.10249	0.10249	0.10249	0.10249
	lithology	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995	0.1995
	ndvi	0.06492	0.06492	0.06492	0.06492	0.06492	0.0649	0.06492	0.0649	0.06492	0.06492	0.06492	0.06492	0.06492	0.06492	0.06492
	rainfall	0.17621	0.17621	0.17621	0.17621	0.17621	0.1762	0.17621	0.1762	0.17621	0.17621	0.17621	0.17621	0.17621	0.17621	0.17621
	slope	0.18035	0.18035	0.18035	0.18035	0.18035	0.1804	0.18035	0.1804	0.18035	0.18035	0.18035	0.18035	0.18035	0.18035	0.18035

Here are the overall synthesized priorities for the alternatives. You synthesized from the network Super Decisions Main Window: landslide2.mod: formulaic

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
aspect		0.625397	0.124766	0.124766
density of river		0.177425	0.035396	0.035396
distance to fault		0.404356	0.080669	0.080669
distance to river		0.144999	0.028927	0.028927
distance to road		0.033955	0.006774	0.006774
landuse		0.513734	0.102490	0.102490
lithology		1.000000	0.199500	0.199500
ndvi		0.325418	0.064921	0.064921
rainfall		0.883240	0.176206	0.176206
slope		0.904017	0.180351	0.180351

شکل ۷: نمودار وزن زیرمعیارها (خروجی Super Decision)

فازی سازی داده‌ها

مجموعه باشد. به بیان دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از المان‌ها^{۲۲} با ویژگی‌های مشابه است که در آن، مجموعه درجه‌ای مشخص از صفر تا یک دارد. صفر به معنی عدم عضویت و یک به معنی عضویت کامل است (دومان^{۲۳} و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۴۵). در هر

در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست (صفر و یک). تئوری مجموعه‌های فازی (ارائه شده توسط پرفسور لطفی زاده: ۱۹۶۵) این مفهوم را گسترش داده و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی، و نه کاملاً، عضو یک

22 -Elements

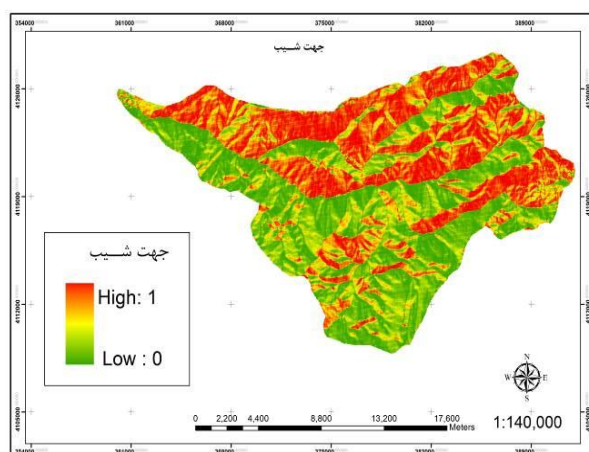
23 - Duman

اساس نوع عملکرد هر کدام در رخداد زمین لغزش با استفاده از توابع عضویت فازی در بازه ۱ تا صفر و به عبارتی فازی‌سازی کردیم. برای انجام این کار از توابع موجود در نرم‌افزار (نسخه ۱۰ ARC GIS) و در مواردی از فرمول نویسی در تحلیل‌گر Raster Calculator استفاده شده‌است. لایه‌های وکتوری (کاربری زمین و سازند) استفاده شده در مدل نیز بدون نیاز به تعریف تابع و با دادن کدهای بین ۰ تا ۱ و تبدیل به لایه رستری فازی سازی شدند (اشکال ۸ و ۱۷).

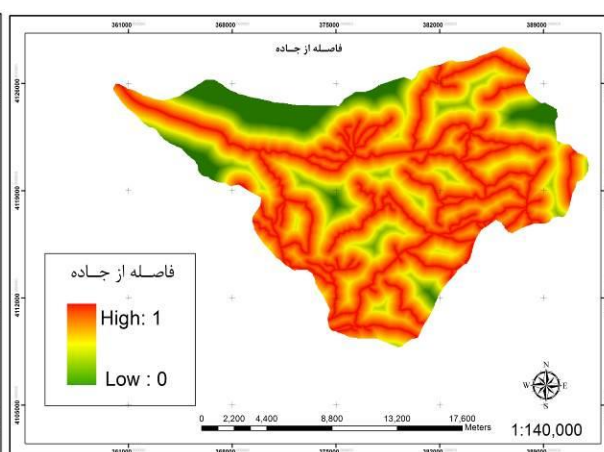
مجموعه از منطق فازی مانند A وابستگی یک عضو (X) از مجموعه مرجع به آن، از طریق تابع عضویت آن به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (مهدیفر و فاطمی عقد، ۱۳۷۶: ۱۴۱).

$$A = \{\mu_X A(X)\} \quad (2)$$

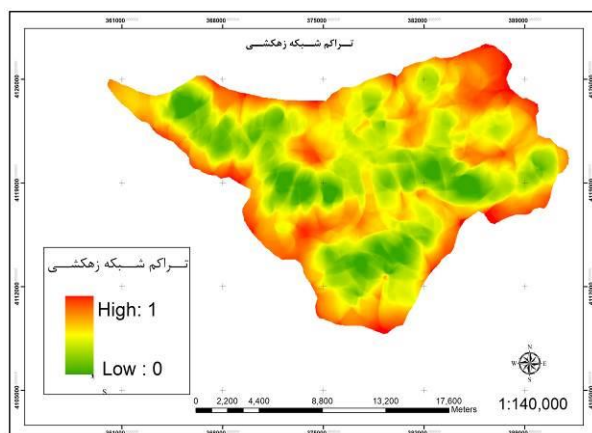
در رابطه فوق X عضوی از مجموعه مرجع و $\mu_X A(X)$ درجه وابستگی به مجموعه فازی A می‌باشد. با توجه به مطالب فوق در این مطالعه برای این که بتوانیم تأثیر کلاس‌های مختلف معیارها را در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش مشخص کنیم لایه‌ها را بر



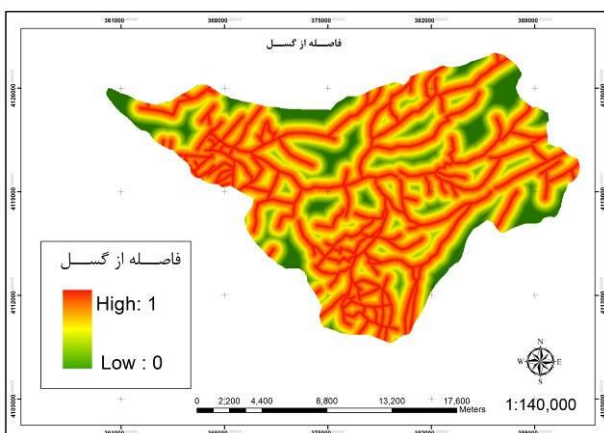
شکل ۹: لایه فازی شده برای شیب



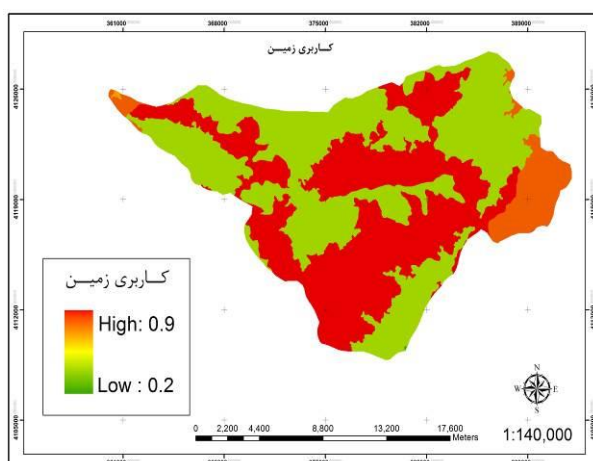
شکل ۸: لایه فازی شده فاصله از جاده



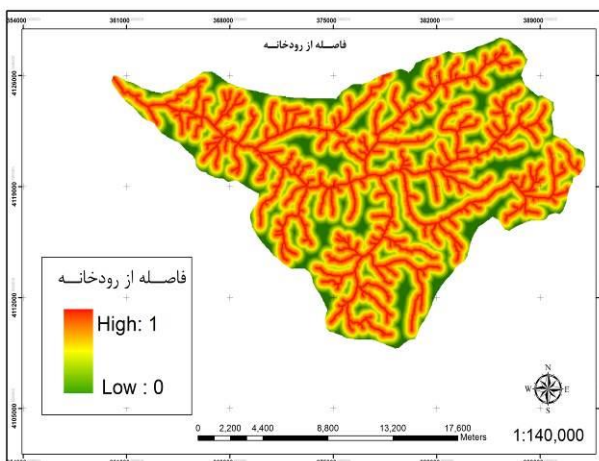
شکل ۱۱: لایه فازی شده تراکم شبکه زهکشی



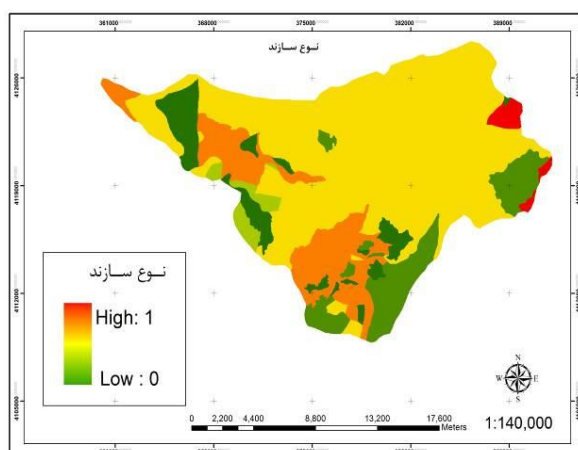
شکل ۱۰: لایه فازی شده فاصله از گسل



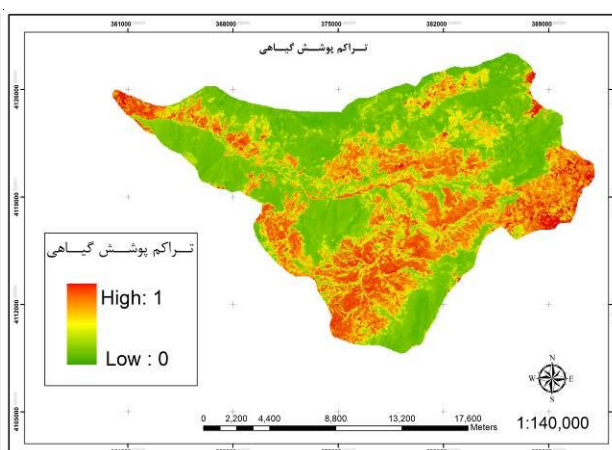
شکل ۱۳: لایه فازی شده کاربری زمین



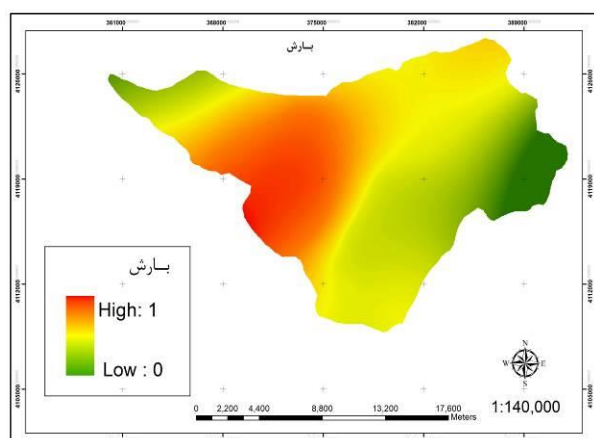
شکل ۱۲: لایه فازی شده فاصله از رودخانه



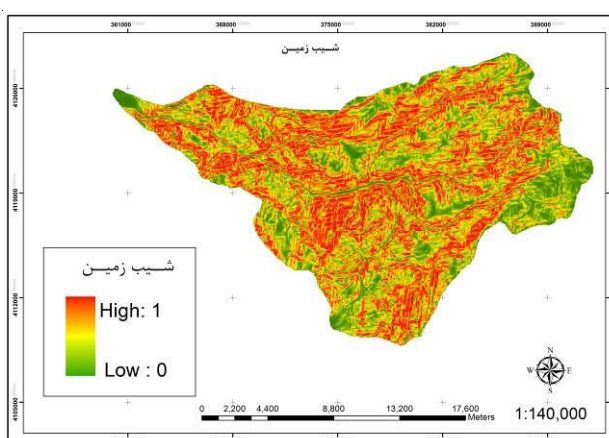
شکل ۱۵: لایه فازی شده نوع سازند زمین شناسی



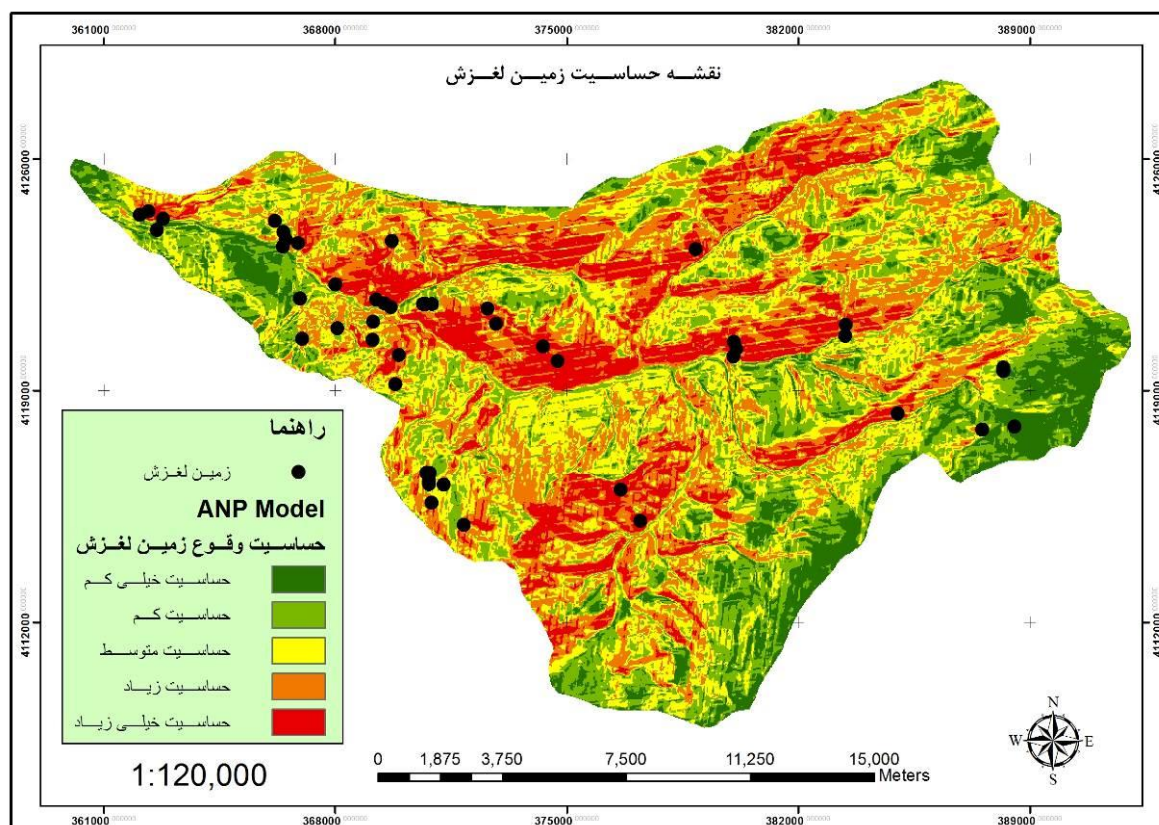
شکل ۱۴: لایه فازی شده تراکم پوشش گیاهی



شکل ۱۷: لایه فازی شده بارش



شکل ۱۶: لایه فازی شده: شیب



شکل ۱۸: نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش به همراه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه

جدول ۴: مساحت کلاس‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش و درصد زمین لغزه‌های رخ داده

کلاس حساسیت	مساحت به درصد	زمین لغزش‌های رخ داده به درصد
حساسیت خیلی کم	۱۱	۴
حساسیت کم	۲۲/۶	۱۰
حساسیت متوسط	۲۸	۱۶
حساسیت زیاد	۲۵/۱	۳۴
حساسیت خیلی زیاد	۱۳/۳	۳۶

برای ارزیابی مدل بین ۵۰ زمین لغزش رخ داده در منطقه و نقشه به دست آمده از مدل بررسی آماری انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۴ ارائه شده است. طبق جدول ۷۰ درصد زمین لغزش‌های رخ داده

با اجرای توابع فازی در نظر گرفته شده، لایه‌ها آماده استفاده در مدل می‌شوند. در این مرحله اوزان به دست آمده از فرآیند تحلیل شبکه (ANP) (ارائه شده در شکل ۷) با استفاده از تحلیل‌گر Raster Calculator بر روی داده‌ها اجرا و لایه‌ها روی هم‌گذاری شدند و نقشه حساسیت زمین لغزش به دست آمد. نقشه به دست آمده با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی^{۲۴} در پنج کلاس با توجه به حساسیت وقوع زمین لغزش طبقه‌بندی شد. شکل (۱۸) نقشه به دست آمده را به همراه زمین لغزش رخ داده در منطقه نشان می‌دهد.

24 - natural break

زمین لغزه‌های کمتری هستیم و در نقشه نهایی عمدتاً به صورت مناطقی با حساسیت کم و خیلی کم مشخص شده‌اند. طبق نقشه ۳۸/۴ درصد مساحت منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد ۲۸ درصد در کلاس خطر متوسط و ۳۱/۶ درصد نیز در کلاس خطر کم و خیلی کم قرار گرفته‌اند. با انجام پهنه‌بندی قابلیت وقوع زمین لغزش و تهیه نقشه آن، امکان شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در بخش‌های مختلف حوضه مشخص شده است. با توجه به این امر می‌توان از نتایج تحقیق در زمینه مدیریت حوضه و انجام عملیات پایدارسازی دامنه‌ها برای کاهش خسارات مربوط به این پدیده استفاده کرد.

در اجرای مدل فرآیند تحلیل شبکه با توجه به روابط متقابل و شبکه‌ای پارامترها در رخ داد یک زمین لغزش می‌توان اذعان داشت که مدل توانایی بالایی را برای به‌کارگیری در این زمینه داراست. چرا که مدل فرآیند تحلیل شبکه علاوه بر حفظ قابلیت‌های موجود در مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، محدودیت‌های موجود در مدل مثل در نظر نگرفتن وابستگی متقابل بین عناصر و فرض ارتباط یک طرفه بین آنها را بر طرف نموده است. البته باید در نظر داشت که توان متخصص و استفاده از کارشناسان مجرب در رابطه با مقایسات زوجی بین معیارها و زیر معیارها و نیز تعیین روابط بین آنها می‌تواند تا مقادیر زیادی دقت مدل را در حل و پیش‌بینی مسئله مورد نظر افزایش دهد.

منابع

حسین زاده، محمد مهدی و همکاران (۱۳۸۸). پهنه بندی ریسک وقوع حرکات توده ای با استفاده از مدل

در منطقه در کلاس‌هایی با حساسیت زیاد و خیلی زیاد رخداده است با توجه به این امر مدل قابلیت خوبی در پیش‌بینی زمین لغزش‌ها داشته است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از فرایند تحلیل شبکه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش برای حوضه رودخانه چلی‌چای صورت گرفت. نتایج مدل و ارزیابی آن نشان داد که مدل قابلیت قابل قبولی با پیش‌بینی ۷۰ درصد زمین لغزش‌ها در پهنه‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد را دارا می‌باشد. این مناطق اغلب در نیمه شمالی حوضه و همچنین در مرکز نیمه جنوبی آن واقع شده‌اند و عمدتاً دامنه‌هایی با شیب جنوبی، جنوب غربی و غربی را تشکیل می‌دهند. شیب زیاد دامنه‌ها در این مناطق از دیگر پارامترهایی است که باعث شده تا به عنوان مناطقی با حساسیت بالای زمین لغزش مشخص شوند. بخش‌های جنوب غربی حوضه از جمله مناطقی هستند که با حساسیت کم و خیلی کم برای زمین لغزش مشخص شده‌اند. این مناطق به دلیل مقاوم بودن نوع سازندهای منطقه، شیب کم و دریافت بارش کمتر نسبت به سایر مناطق به صورت مناطق کم خطر برای وقوع زمین لغزش معرفی شده‌اند.

با تلفیق نقشه لغزش‌های رخ داده با نقشه نهایی و طبق اطلاعات جدول شماره ۴، مشخص شد که در بین ۱۰ پارامتر در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، سازندهای حساس لایه لیتولوژی، شیب‌های ۱۵ تا ۳۰ درجه، مناطق پر باران و جهات شیب غربی و جنوب غربی به ترتیب بیشترین تأثیر را در ایجاد زمین لغزش‌های منطقه دارند و در مناطقی که طبقات این چهار پارامتر تغییر می‌کند شاهد

مکانیکی، جواد، صادقی، حجت ا... (۱۳۹۱)، مکان‌یابی مراکز بهداشتی- درمانی (بیمارستان‌ها) شهر بیرجند، از طریق تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مقایسه زوجی در محیط GIS، فصل نامه آمایش محیط، شماره ۱۹، صص ۱۴۲-۱۲۱.

مهدی‌فر، محمدرضا (۱۳۷۶) کاربرد تحلیل مجموعه‌های فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش و شرح سامانه کامپیوتری تهیه شده. مجموعه مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارت های آن، ۳۰-۳۱ اردیبهشت ماه ۱۳۷۶، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷-۱۴۵.

Brabb, E., Colgan, J.P., Best, T., (1998) Map showing inventory and regional susceptibility for Holocene debris flows and related fast-moving landslides in the conterminous United States. U.S Department of the Interior. USGS1-5.

Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A. and Sonmez, H. (2006) Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, Environmental Geology, 51: 241-256.

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinalli, M., Reichenbach, P., (1999) Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-case study, central Italy. Geomorphology 31, 181-216.

Lee, S., Min, K., (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology 40, 1095-1113.

Lee, H. et al. (2009), "Selection of technology acquisition mode using the analytic network process", Mathematical and Computer Modeling, Vol. 49, pp. 1274-1282.

Marjanović M., Kovačević M., Bajat B., Voženilek V., (2011) Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, Engineering Geology 123 (2011) 225-234.

رگرسون لجستیک، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره یازدهم، پاییز ۱۳۸۸، صفحات ۲۷-۳۷.

رمضانی، ب، ابراهیمی، ه، (۱۳۸۸)، زمین لغزش و راهکارهای تثبیت آن، فصلنامه آمایش محیط، سال دوم، شماره ۷، صص ۱۱۸-۱۱۰.

زبردست، اسفندیار (۱۳۸۹)، کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، شماره ۴۱، بهار ۱۳۸۹.

عمل نیک، محسن و همکاران (۱۳۸۹)، یافتن رابطه علی معلولی و رتبه‌بندی عوامل بحرانی موفقیت و شکست پروژه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی به کمک ترکیب روش‌های ANP و DEMATEL فازی گروهی. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۴، شماره ۲، مهر ۱۳۸۹، صص ۲۱۲-۱۹۵.

فرجی سبکبار، حسنعلی و همکاران (۱۳۸۹)، مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستای با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه (ANP): مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، صص ۱۴۹-۱۲۷.

کرمی، ف (۱۳۸۶)، مخاطرات ژئومورفولوژیک ناشی از ساخت و توسعه راه‌های روستایی با تاکید بر حرکات توده ای و ایجاد خندق (مطالعه موردی: روستاهای ش هرستان سراب)، فضای جغرافیایی، سال ششم، شماره ۱۶، ۸۵-۱۰۵.

مقیم، ابراهیم و همکاران (۳۹۲)، ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، پژوهش‌های کمی، سال اول، شماره ۴، بهار ۱۳۹۲، صص ۱۱۸-۱۰۳.

- Martha T.R., van Westen, C.J., Kerle, N., Jetten, V., Kumar K.V., (2013) Landslide hazard and risk assessment using semi-automatically created Landslide inventories, *Geomorphology* 184 (2013) 139–150.
- Neaupane K.M., Piantanakulchai M. (2006) Analytic network process model for landslide hazard zonation, *Engineering Geology* 85(2006) 281–294
- Othman, A. N., Mohd, W., Naim. W. M. & Noraini S., (2011), GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 35 (2012) 595 – 602.
- Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., (2005) Characterizing Structural and Lithology Controls on Deep-seated Landsliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range, *Geological Society of America Bulletin*, No.117, PP. 654-668.
- Saaty, T. L. (1999), "Fundamentals of the Analytic Network Process", *Proceedings of ISAHF 1999*, Kobe, Japan.
- 21-Saaty, T. (1980). the analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York; London: McGraw-Hill International Book Co.
- Saaty, T. (2006). Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. New York: Springer.
- Soeters, R., Van Westen, C.J., (1996) Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K, Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Special Report 247. Transportation Research Board National Research Council, Washington D.C, pp.129–177.
- Yalcin, A., (2008) GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and conformations” *CATENA*, Volume 72 Pages 1-12.