Archive of SID

اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۰۰۲-۹۹۳

ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل شبکه (ANP) و منطق فازی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ صلوات‌آباد، سنندج)

حسین یوسفی[1*]، یزدان یاراحمدی[2]

۱. دانشیار، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۱/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۴/۳۰)

چکیده

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی خطر، یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در کاهش خطرات احتمالی و مدیریت خطر است. نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش این امکان را فراهم می‌سازد که مناطق آسیب‌پذیر شناسایی شوند و در برنامه‌ریزی‌های محیطی مد نظر قرار گیرند. هدف از پژوهش حاضر، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ صلوات‌آباد شهر سنندج از طریق تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی و عوامل مؤثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش، با استفاده از روش فازی و فرایند تحلیل شبکه (ANP) است. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ صلوات‌آباد از متغیرهای شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از جاده برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شد. لایه‌های فازی استانداردشده در محیط GIS همپوشانی و سازماندهی شد. سپس، وزن عوامل مؤثر به وسیلهٔ مدل ANP محاسبه و بر لایه‌های اطلاعاتی برای در محیط GIS اعمال و با همپوشانی آنها نقشهٔ پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش در ۵ طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تهیه شد. نتایج این ارزیابی نشان داد از کل مساحت حوضهٔ صلوات‌آباد منطقه با خطر متوسط با مساحت ۸۰۴/۷۰ هکتار (۳۲/۱۸ درصد) را به خود اختصاص داد. از میان ۸ عامل بررسی‌شده روی وقوع زمین‌لغزش، معیارهای شیب و زمین‌شناسی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۲۴۳ و ۰/۱۹۴، بیشترین وزن و همچنین، معیارهای فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و بارش، به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۰۳۶، ۰/۰۵۸ و ۰/۰۵۶، کمترین وزن را در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به خود اختصاص دادند. بیشترین خطر زمین‌لغزش در جهت شیب‌های جنوب، جنوب شرق و شرق است. همچنین، شیب‌های بیشتر از ۱۰ درصد بیشترین میزان وقوع خطر زمین‌لغزش را به خود اختصاص داد.

کلیدواژگان: حوضهٔ صلوات‌آباد، زمین‌لغزش، فرایند تحلیل شبکه، Super Decision.

[*]نویسندهٔ مسئول

Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

زمین‌لغزش جزء پدیده‌های طبیعی در جهان است که با ایجاد خسارت‌های متعدد، منابع طبیعی و انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌کند. زمین‌لغزش موجب خسارت به انواع سازه‌های مهندسی، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و در پی آن، ایجاد رسوب و سیلاب‌های گل‌آلود و در نهایت، پر شدن مخازن سدها می‌شود. افزون بر آن، آثار اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند مهاجرت و بیکاری را نباید نادیده گرفت [۲]. وقوع زمین‌لغزش‌ها از جمله مخرب‌ترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آید که مواد در امتداد یک سطح یا یک زون گسیختگی مشخص روی دامنه می‌لغزند و به سمت پایین حرکت می‌کنند [۳]. زمین‌لغزش خطری در زمینهٔ ژئوفیزیک یا آب و هواست که به عنوان یک جنبش توده‌ای از مواد سطح زمین، معمولاً شامل جابه‌جایی برشی تودهٔ خاک یا سنگ در امتداد یک یا چند سطح لغزنده می‌شود [۴]. ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی، از پیچیده‌ترین مسائلی است که به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست. ایران با توجه به شرایط توپوگرافی نسبتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، جزء کشورهایی است که وقوع زمین‌لغزش در مناطق مختلف آن سبب به وجود آمدن خسارت‌های انسانی و مالی زیادی می‌شود [۵]. روش‌های بسیاری برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد، ولی به طور کلی این روش‌ها به دو دستهٔ مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم پهنه‌بندی بر پایهٔ قضاوت‌های متکی بر مناطق لغزش‌یافته صورت می‌گیرد، ولی روش‌های غیر مستقیم که پژوهش حاضر نیز از آن جمله است، بر پایهٔ شناسایی عوامل کنترل‌کننده و تلفیق این عوامل به عنوان معرف‌های پتانسیل زمین‌لغزش، در پهنه‌بندی است. از این روش‌ها می‌توان به روش‌های پیشنهادی Nilsen، Varson And Mora، Anbalagan و روش اصلاح‌شدهٔ آن و روش‌های دیگر که متناسب با مناطق مختلف به کار برده شده است، اشاره کرد.

امروزه از روش‌هایی مانند LHI[1]، FR[2]، AHP[3]، IV[4]، ANN[5]، LR[6] برای پیش‌بینی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌شود [۶]. ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مخاطره‌آمیز با روشی علمی و دقیق می‌تواند به منظور کاهش ریسک، مناسب‌ترین راه از نظر صرف هزینه و زمان باشد. علاوه بر آن، شناسایی مناطق مستعد خطر متأثر از ریزش و لغزش به همراه تولید نقشه‌های پهنه‌بندی از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر است. از آنجا که شناسایی مناطق مستعد، یکی از مراحل اصلی پردازش در تجزیه و تحلیل است، انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، تأثیر زیادی بر مطالعهٔ روند پهنه‌های حساس دارد [۷]. محققان مختلف برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق گوناگون بسته به اهمیت و تأثیر عوامل مختلف، پژوهش‌هایی را انجام داده‌اند. در اینجا برخی از این تحقیقات به طور مختصر توضیح داده می‌شوند [۸ــ ۱۲]. مقیمی و همکارانش طی پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه پرداختند و نقشهٔ پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش را در شهر رودبار در سه طبقهٔ خطر کم (۴ درصد)، خطر متوسط (۷۱ درصد)، و خطر زیاد (۲۵ درصد)، تهیه کردند. نتایج پژوهش آنها درصد زیاد مناطق دارای خطر وقوع زمین‌لغزش در محدودهٔ شهری را نشان داد [۱۳]. صفایی پور و همکارانش طی پژوهشی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP در روستای دره‌گز قلندران شهر دهدز پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل وزن‌دهی و تطبیق آن با لغزش‌های روی‌داده در حوضهٔ مد نظر بیانگر آن است که پارامتر حساسیت سازندها به فرسایش، بیشترین وزن (۰/۲۱۹) و کاربری اراضی (۰/۱۷۳) و کمترین ارتفاع (۰/۰۵۲)، کمترین وزن را دارند و سایر شاخص‌ها به‌ترتیب شامل، بارش، ارتفاع می شود و کمترین وزن متعلق به لایهٔ آبراهه‌هاست [۱۴]. نظم‌فر و بهشتی طی پژوهشی به کاربرد مدل ترکیبی فرایند تحلیل شبکه و منطق فازی در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش پرداختند. نتایج ارزیابی آنها نشان داد ۷۰ درصد زمین‌لغزه‌های رخداده در منطقه در کلاس‌هایی با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. این مناطق اغلب در

1. Landslide Hazard Index
2. Frequency Ratio
3. Analytical Hierarchy Process
4. Information Value
5. Artificial Neural Networks
6. Logistic Regressions

www.SID.ir

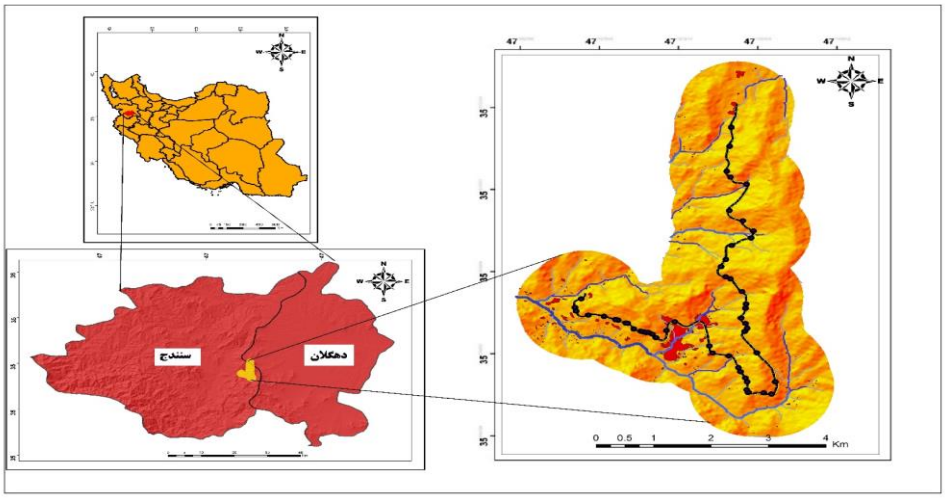
Archive of SID

نیمهٔ شمالی و بخش مرکزی حوضه قرار گرفته‌اند. با توجه به نتیجهٔ ارزیابی، مدل قابلیت مناسبی را برای پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش نشان می‌دهد [۱۵]. رجبی و همکارانش طی پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند تحلیل شبکه و شبکهٔ عصبی مصنوعی پرداختند. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از فرایند تحلیل شبکه‌ای و شبکهٔ عصبی مصنوعی با استفاده از ضریب آماری کاپا نشان می‌دهد شبکهٔ عصبی مصنوعی با ضریب ۰/۷۴ نسبت به فرایند تحلیل شبکه‌ای با ضریب ۰/۷۲ دقت بیشتری در پیش‌بینی زمین‌لغزش در حوضهٔ آذرشهر چای دارد [۱۶]. Goetz و همکارانش طی پژوهشی توانایی مدل‌های الگوریتم SVM و آماری را در مدل‌سازی زمین‌لغزش ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد به طور کلی چارچوب این نوع ارزیابی مدل را می‌توان برای کمک به انتخاب یک روش مدل‌سازی مناسب برای زمین‌لغزش اعمال کرد [۱۷]. روستایی طی تحقیقی به ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و رگرسیون لجستیک در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدودهٔ محور و مخزن سد پرداخت. نتایج پژوهش ایشان نشان داد روش تحلیل شبکه نسبت به روش رگرسیون لجستیک، عملکرد بهتری در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش داشت [۱۸]. نیری و کرمی طی پژوهشی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق ارزیابی متغیرهای محیطی با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP) در شهرستان بیجار پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد ۴۱ درصد از محدودهٔ شهرستان بیجار جزء مناطق دارای قابلیت خطر محسوب می‌شود. نتایج دقیق‌تر پژوهش آنها نشان داد از بین متغیرهای محیطی مؤثر، فاصله از گسل و ارتفاع، بیشترین و کاربری اراضی، کمترین تأثیر را در زمین‌لغزش در محدودهٔ شهرستان بیجار دارند [۱۹]. هدف از پژوهش حاضر، بررسی حساسیت زمین‌لغزش به عنوان یک مخاطره در منطقهٔ مطالعه‌شده و اهمیت هر یک از عوامل تأثیرگذار با استفاده از مدل ANP – Fuzzy به عنوان نوعی مدل جدید و سیستمی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در این منطقه انجام شد.

مواد و روش

منطقهٔ مطالعه‌شده

کردستان با مساحت ۲۹ هزار کیلومترمربع دارای حجم بارشی ۱۳/۲ میلیارد مترمکعب در سال و ۱۷ رودخانهٔ دائمی و ۲۴ رودخانهٔ فصلی با حجم منابع آب سطحی ۴/۳ میلیارد مترمکعب است و سه حوضهٔ آبخیز درجهٔ یک در کشور دارد. از ابتدای سال زراعی تا کنون ۴۴۶ میلی‌متر بارندگی در استان ثبت شده که این مقدار در مقایسه با ۶۱۶ میلی‌متر سال گذشته، ۲۸ درصد کاهش پیدا کرده است. میانگین سالانهٔ بارش باران در استان کردستان بیش از ۵۴۰ میلی‌متر بوده که این مقدار ۲ برابر میانگین کشور است. گردنهٔ صلوات‌آباد واقع در استان کردستان شهرستان‌های سنندج و قروه با ارتفاع ۲/۲۰۰ متر است. این گردنه سر راه سنندج به قروه و ۱۴ کیلومتری شرق جنوبی سنندج قرار دارد و شهرستان‌های سنندج و قروه را از هم جدا می‌کند. شکل ۱ نشان‌دهندهٔ منطقهٔ پژوهش‌شده است.



شکل ۱. نقشهٔ منطقهٔ مطالعه‌شده

www.SID.ir

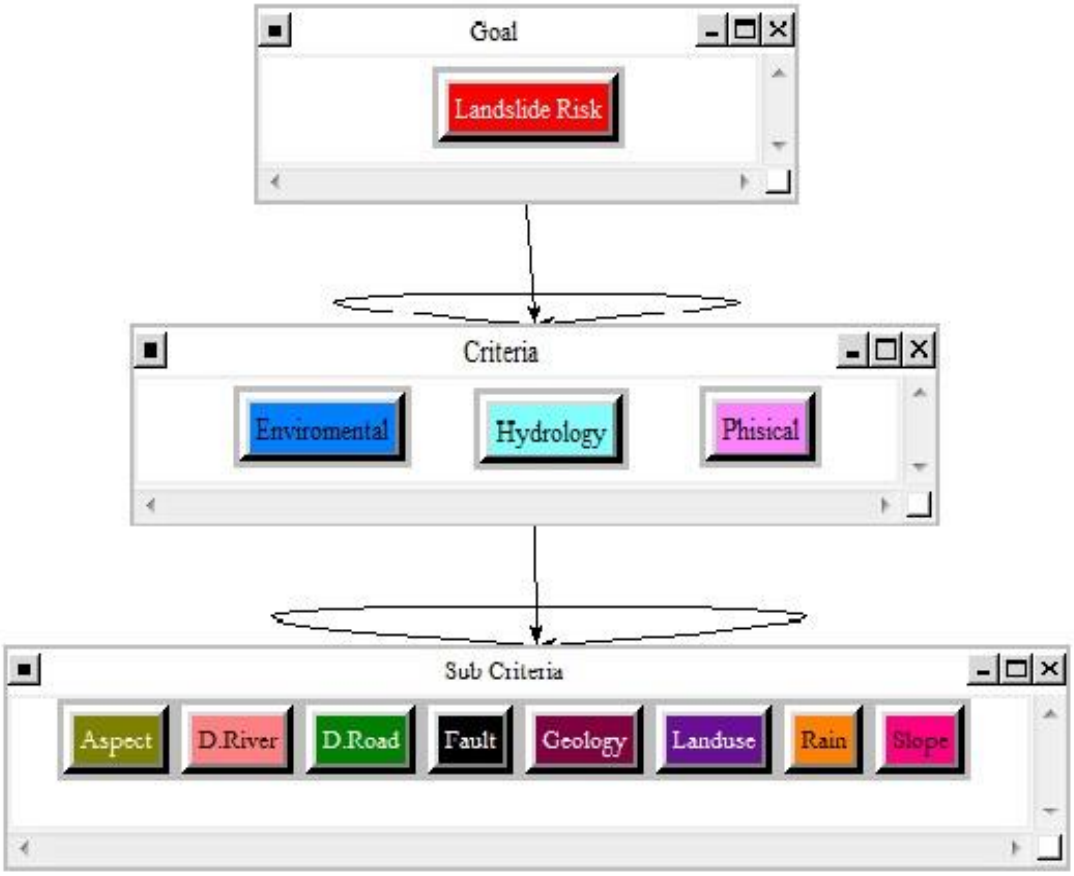
Archive of SID

فرایند تحلیل شبکه (ANP)

فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است و در مجموعهٔ مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد. این مدل بر مبنای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده و شبکه را جایگزین سلسله‌مراتب کرده است. روش ANP شکل توسعه‌یافته‌ای از AHP است که می تواند همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در یک تصمیم‌گیری را مدل‌سازی کرده و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر بر تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات کند. بنابراین، برتری و تمایز ANP نسبت به AHP آن است که ANP وابستگی‌های متقابل بین عناصر را در نظر می‌گیرد و نگرش دقیقی به مسائل پیچیده ارائه می‌کند، در حالی که AHP، وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی وابستگی میان معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله‌مراتبی و یک‌طرفه فرض می‌کند. در صورتی که بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری نمی‌توانند به صورت سلسله‌مراتبی ساختار یابند.

فرایند مدل‌سازی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در مدل ANP به صورت زیر است:

گام نخست: ساخت مدل و ایجاد یک ساختار شبکه‌ای. گام دوم: مقایسهٔ دودویی و تعیین بردارهای اولویت که در واقع مشابه آنچه در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در مقایسهٔ معیارها صورت می‌گیرد، در فرایند تحلیل شبکه نیز تکرار می‌شود. گام سوم: تشکیل سوپر ماتریس اولیه و ناموزون. گام چهارم: تشکیل سوپر ماتریس موزون. گام پنجم: در نهایت، تشکیل سوپر ماتریس حد. در این مرحله از مدل، 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، بردار وزن عمومی به دست می‌آید. شکل ۲ نشان‌دهندهٔ مراحل کار توسط نرم‌افزار Super Decision است.



شکل ۲. روند انجام کار با استفاده از نرم‌افزار Super Decision

www.SID.ir

Archive of SID

مدل فازی

نظریهٔ فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی عسگرزاده ارائه شد. مدل فازی، نظریه‌ای است برای اقدام در شرایط عدم اطمینان؛ این نظریه مفاهیم و متغیرهای مبهم را به شکل ریاضی درمی‌آورد. این نظریه در برابر منطق کلاسیک مطرح شده است. منطق کلاسیک هر چیزی را براساس یک سیستم دودویی نشان می‌دهد، ولی منطق فازی هر چیزی را با عددی که مقدار آن بین صفر و یک است، نشان می‌دهد. ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن، از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده است) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های بدون لغزش) به دست می‌آید. در فازی‌سازی معیارها، برای ارزش‌گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی همچون توابع Liner، J-shape و Sigmoidal استفاده می‌شود [۲۰]. علاوه بر این توابع، کاربر می‌تواند با توجه به نیاز خود، تابع را تعریف کند. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر User-defined استانداردسازی نقشه‌های فازی، تعیین حد آستانه است که به آنها نقاط کنترل می‌گویند، اما نکته‌ای که باید در انتخاب تابع به آن توجه کرد، نوع کاهشی یا افزایشی بودن معیار مد نظر است. در اینجا منظور از کاهش، حداقل‌شونده یا نزولی بودن تابع است [۲۱].

بحث و نتایج

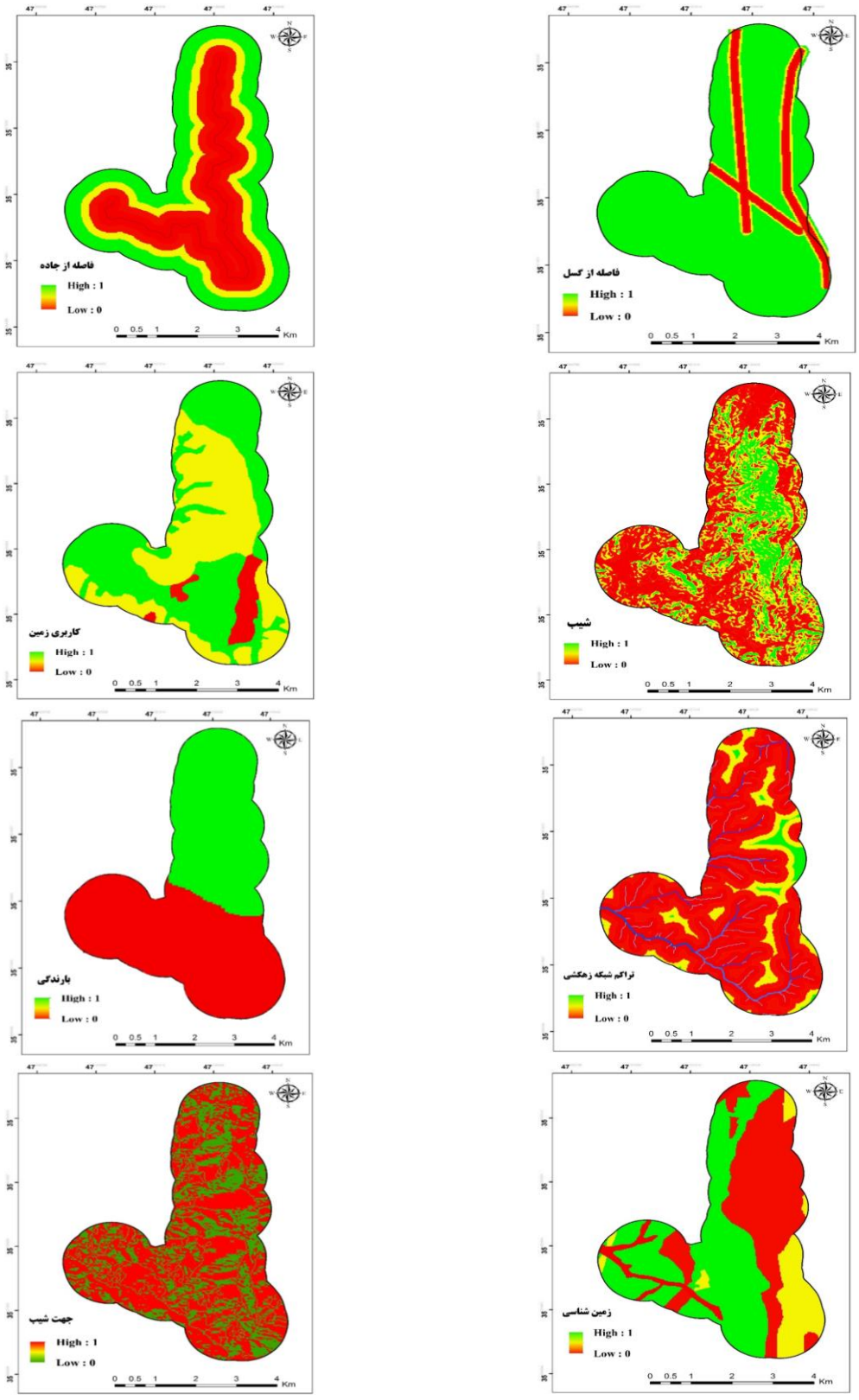
پژوهش حاضر برای شناخت عوامل مؤثر خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ صلوات‌آباد استان کردستان با به‌کارگیری مدل ANP – Fuzzy همچون یک مدل کمی برای تجمیع لایه‌ها انجام شده است. معیارهای بررسی‌شده در تحقیق حاضر، شامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، عوامل زیستی و اقلیمی می شود. در معیار توپوگرافی، گزینه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب در نظر گرفته شده است. در معیار زمین‌شناسی، گزینه‌های فاصله از گسل و زمین‌شناسی لحاظ شده است. در معیار عوامل زیستی، گزینه‌های شاخص پوشش گیاهی، فاصله از جاده و کاربری اراضی بررسی شده و در معیار اقلیمی، گزینه‌های بارش، تراکم زهکشی، شاخص و فاصله از رودخانه در نظر گرفته شده است. در تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی از منابع و نقشه‌های توپوگرافی 1:25000، زمین‌شناسی 1:100000 استفاده شد. اطلاعات موجود با پیمایش و برداشت‌های صحرایی تکمیل و اصلاح شد. بعد از تهیهٔ منابع و اطلاعات لازم، مراحل پژوهش انجام شد که عبارت‌اند از: مرحلهٔ نخست؛ ساماندهی اطلاعات، که در آن داده‌های فضایی مربوط به لایه‌های هشت‌گانهٔ استفاده‌شده در مدل، شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی منطقه، زمین‌شناسی که در قالب فرمت‌های رستری و برداری در محیط نرم‌افزار Arc GIS ساماندهی شدند. مرحلهٔ دوم؛ محاسبهٔ وزن عوامل مؤثر به وسیلهٔ مدل ANP و اعمال این وزن‌ها بر لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر، همپوشانی آنها در محیط GIS و تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش. در پژوهش حاضر برای اینکه بتوان تأثیر کلاس‌های مختلف معیارها را در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش مشخص کرد، لایه‌ها براساس نوع عملکردشان در رخداد زمین‌لغزش با استفاده از توابع عضویت فازی در بازهٔ یک تا صفر فازی‌سازی شدند. برای انجام این کار از توابع موجود در نرم‌افزار ARC GIS استفاده شد. شکل ۳ نشان‌دهندهٔ لایه‌های فازی‌شده است.

بعد از تهیهٔ لایه‌ها، وزن‌دهی به زیرمعیارها در درون گروه و معیارها در بین گروه‌ها صورت گرفت. وزن‌دهی توسط نرم‌افزار Super Decision صورت گرفت. تشکیل ماتریس و وزن‌دهی پایانی با توجه به داده‌های ورودی به وسیلهٔ نرم‌افزار صورت گرفت تا خطا به میزان زیادی کاهش یابد. وزن‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Super Decision در محیط GIS برای تجمیع لایه‌ها به کار رفت. با توجه به مسئلهٔ تحقیق یک مدل شبکه‌ای دو لایه متشکل از لایهٔ هدف و لایهٔ معیارها طراحی و سازماندهی شد. سپس، مقایسهٔ زوجی خوشه‌ها با استفاده از روابط به‌دست‌آمده از طریق پرسش‌نامه و تکنیک دیماتل که توسط متخصصان و کارشناسان در این زمینه تهیه شده است، در محیط نرم‌افزاری سوپردسیژن انجام شد و سه ابرماتریس موزون، ناموزون و حدی، به همراه ضرایب هریک از عناصر مؤثر در زمین‌لغزش به دست آمد. جدول‌های ۱ـ ۳ نشان‌دهندهٔ سوپرماتریس‌های موزون، ناموزون و حدی هستند که با استفاده از نرم‌افزار به دست آمده‌اند. شکل ۴ نشان‌دهندهٔ وزن‌های به‌دست‌آمده برای هریک از معیارهاست. سپس، میزان ناسازگاری محاسبه می‌شود. که در این فرایند میزان ناسازگاری توسط نرم‌افزار سوپردسیژن برای هر ماتریس مقایسهٔ زوجی محاسبه و ارائه می‌شود. اگر میزان ناسازگاری از ۰/۱ فراتر رود،

www.SID.ir

Archive of SID

قضاوت ناسازگار است و باید در چگونگی قضاوت تجدید نظر شود. در نهایت، با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده، نقشهٔ پهنه‌بندی زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزاری ARC GIS تهیه شد.



شکل ۳. نقشهٔ فاکتورهای فازی‌سازی‌شدهٔ مؤثر بر حساسیت زمین‌لغزش

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. سوپرماتریس موزون با استفاده از نرم‌افزار Super Decision

Super Decisions Main Window: ANP.mod: Weighted Super Matrix

Cluster Node Labels		Criteria			Goal	Sub Criteria			
		Enviromental	Hydrology	Phisical	Landslide Risk	Aspect	D.River	D.Road	Fault
Criteria	Enviromental	0.000000	0.166667	0.250000	0.250000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Hydrology	0.166667	0.000000	0.250000	0.250000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Phisical	0.333333	0.333333	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Goal	Landslide Risk	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sub Criteria	Aspect	0.000000	0.000000	0.068474	0.000000	0.000000	0.000000	0.310814	0.132951
	D.River	0.000000	0.250000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.210341
	D.Road	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.117215	0.000000	0.066544
	Fault	0.000000	0.000000	0.079581	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

جدول ۲. سوپرماتریس ناموزون با استفاده از نرم‌افزار Super Decision

Super Decisions Main Window: ANP.mod: Unweighted Super Matrix

Cluster Node Labels		Criteria			Goal	Sub Criteria			
		Enviromental	Hydrology	Phisical	Landslide Risk	Aspect	D.River	D.Road	Fault
Criteria	Enviromental	0.000000	0.333333	0.500000	0.250000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Hydrology	0.333333	0.000000	0.500000	0.250000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	Phisical	0.666667	0.666667	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Goal	Landslide Risk	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sub Criteria	Aspect	0.000000	0.000000	0.136949	0.000000	0.000000	0.000000	0.310814	0.132951
	D.River	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.210341
	D.Road	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.117215	0.000000	0.066544
	Fault	0.000000	0.000000	0.159162	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

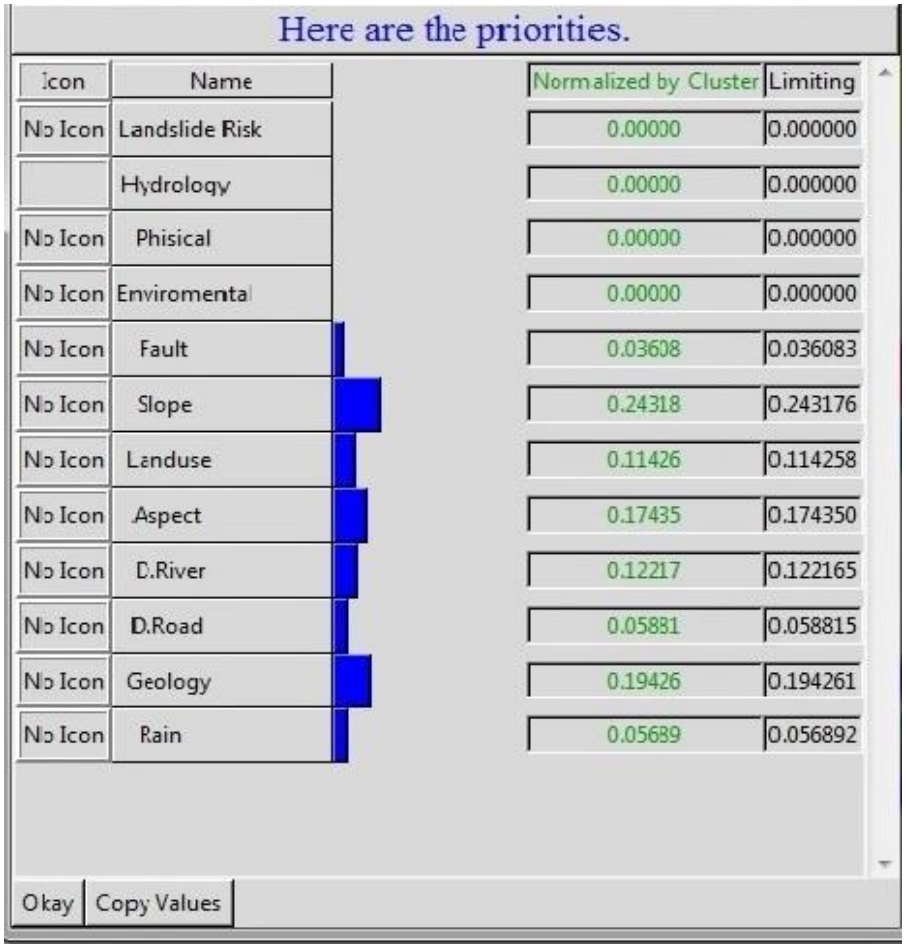
جدول ۳. سوپرماتریس حد با استفاده از نرم‌افزار Super Decision

Super Decisions Main Window: ANP.mod: Limit Matrix

Cluster Node Labels		Sub Criteria							
		Aspect	D.River	D.Road	Fault	Geology	Landuse	Rain	Slope
Sub Criteria	Aspect	0.174350	0.174350	0.174350	0.174350	0.174350	0.174350	0.174350	0.174350
	D.River	0.122165	0.122165	0.122165	0.122165	0.122165	0.122165	0.122165	0.122165
	D.Road	0.058815	0.058815	0.058815	0.058815	0.058815	0.058815	0.058815	0.058815
	Fault	0.036083	0.036083	0.036083	0.036083	0.036083	0.036083	0.036083	0.036083
	Geology	0.194261	0.194261	0.194261	0.194261	0.194261	0.194261	0.194261	0.194261
	Landuse	0.114258	0.114258	0.114258	0.114258	0.114258	0.114258	0.114258	0.114258
	Rain	0.056892	0.056892	0.056892	0.056892	0.056892	0.056892	0.056892	0.056892
	Slope	0.243176	0.243176	0.243176	0.243176	0.243176	0.243176	0.243176	0.243176

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. وزن زیرمعیارهای خروجی نرم‌افزار Super Decision

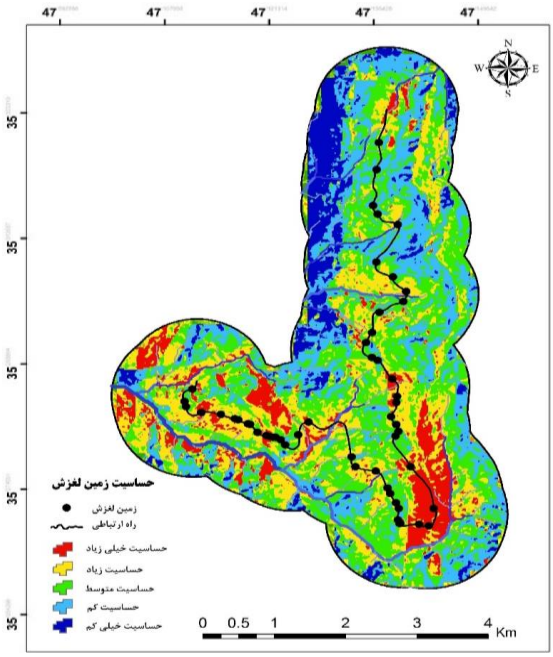
براساس عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در قالب لایه‌های اطلاعاتی، حوضهٔ صلوات‌آباد از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش به پنج طبقه از خطر خیلی زیاد تا خیلی کم تقسیم شد. مساحت هریک از طبقات پنج‌گانه و درصد اختصاص دادهٔ لغزش‌های رخ‌داده در هر یک از پهنه‌های خطر در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین مساحت منطقهٔ مطالعه شده از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش مربوط به طبقهٔ خطر متوسط با مساحت ۸۰۴/۷۰ هکتار است. همچنین، معیارهای شیب با وزن ۰/۲۴۳ و معیار زمین‌شناسی با وزن ۰/۱۹۴ بیشترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش منطقه را داشته‌اند. و معیارهای فاصله از گسل با وزن ۰/۰۳۶، معیارهای فاصله از رودخانه با وزن ۰/۰۵۸ و بارش با وزن ۰/۰۵۶ کمترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش منطقه داشتند.

جدول ۴. مساحت گستره‌های لغزشی در پهنهٔ خطر

کلاس حساسیت	مساحت بر حسب هکتار	مساحت برحسب درصد
حساسیت خیلی زیاد	۲۴۷/۶۲	۹/۹۰
حساسیت زیاد	۶۱۰/۲۸	۲۴/۴۱
حساسیت متوسط	۸۰۴/۷۰	۳۲/۱۸
حساسیت کم	۶۰۶/۰۳	۲۴/۲۴
حساسیت خیلی کم	۲۳۲/۱۰	۹/۲۷

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. نقشهٔ پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش همراه با زمین‌لغزش‌های اتفاق‌افتاده در منطقه

نتیجه‌گیری

ارزیابی و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی سطوح منطقه از لحاظ حساسیت به وقوع خطر زمین‌لغزش امری ضروری است. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل ANP – Fuzzy پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش برای حوضهٔ صلوات‌آباد شهر سنندج واقع در استان کردستان صورت گرفت. در نهایت، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضهٔ صلوات‌آباد به پنج طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم شد. شکل ۵ نقشهٔ پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش همراه با زمین‌لغزش‌های اتفاق‌افتاده در منطقهٔ مطالعه شده را نشان می‌دهد. بر این اساس، از کل مساحت حوضهٔ صلوات‌آباد حدود ۲۴۷/۶۲ هکتار (۹/۹۰ درصد) مربوط به مناطق با خطر خیلی زیاد، ۶۱۰/۲۸ هکتار (۲۴/۴۱ درصد) مربوط به منطقه با خطر زیاد، ۸۰۴/۷۰ هکتار (۳۲/۱۸ درصد) مربوط به منطقه با خطر متوسط، ۶۰۶/۰۳ هکتار (۲۴/۲۴ درصد) مربوط به منطقه با خطر کم و ۲۳۲/۱۰ هکتار (۹/۲۷ درصد) مربوط به منطقه با خطر خیلی کم را در بر می‌گیرد. این پهنه‌بندی نشان می‌دهد حوضهٔ صلوات‌آباد از نظر وقوع زمین‌لغزش جزء مناطق با خطر متوسط است. از میان ۸ عامل بررسی‌شده روی وقوع زمین‌لغزش مانند شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، بارش، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل، معیارهای شیب و زمین‌شناسی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۲۴۳ و ۰/۱۹۴، بیشترین وزن و معیارهای فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و بارش به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۰۳۶، ۰/۰۵۸ و ۰/۰۵۶، کمترین وزن را در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به خود اختصاص دادند. بیشترین خطر زمین‌لغزش در جهت شیب‌های جنوب، جنوب شرق و شرق به دلیل نوع خاک تشکیل‌دهنده و سازندهای حساس به فرسایش است. همچنین، شیب‌های زیادتر از ۱۰ درصد بیشترین میزان وقوع خطر زمین‌لغزش را به خود اختصاص دادند. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد که باید در برنامه‌ریزی‌های محیطی تمهیدات لازم برای مقابله با این پدیده و کاهش خسارت‌های جانی و مالی آن در مناطق حساس دیده شود. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نشان داد روش تحلیل شبکه (ANP) عملکرد مناسبی در شناسایی مناطق خطر و پهنه‌بندی آن در منطقهٔ مطالعه‌شده دارد که با نتایج پژوهش‌های روستایی [۱۸] و سالاری و همکاران [۲۱] مطابق است. پیشنهاد می‌شود برای جلوگیری از خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقهٔ مطالعه‌شده اقدامات آبخیزداری مناسب مانند بانکت‌بندی دامنه‌ها، ایجاد شبکه‌های زهکشی در لایه‌های زیرین توده با استفاده از لوله‌های مشبک استاندارد، کاشت درختان مناسب با اقلیم منطقه و سازندهای مناطق در بالادست حوضه صورت گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1].Marrapu BM, Jakka RS. Landslide hazard zonation methods: A critical Review. Int J Civ Eng Res. 2014;5(3):215–20.

[2].Lin W-T, Chou W-C, Lin C-Y. Earthquake-induced landslide hazard and vegetation recovery assessment using remotely sensed data and a neural network-based classifier: a case study in central Taiwan. Nat hazards. 2008;47(3):331–47.

[3].Hussin HY, Zumpano V, Reichenbach P, Sterlacchini S, Micu M, van Westen C, et al. Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility model. Geomorphology. 2016;253:508–23.

[4].Shadman Roodposhti M, Aryal J, Shahabi H, Safarrad T. Fuzzy shannon entropy: a hybrid GIS-based landslide susceptibility mapping method. Entropy. 2016;18(10):343.

[5].Karimi H, Naderi F, Naseri B, Salajeqeh A. Comparisons of different models for landslide susceptibility mapping in Zangvan watershed, Ilam province. J Range Watershed Manag. 2014;67(3):459–85.

[6]. Young, O. C., Cheung, K. & J-Chul UC. The Comparative Research of Landslide Susceptibility Mapping Using FR, AHP, LR, ANN. In: conference Environmental Geology San Diego, CA. 2010.

[7].Colkesen I, Sahin EK, Kavzoglu T. Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. J African Earth Sci. 2016;118:53–64.

[8].Gorsevski P V, Brown MK, Panter K, Onasch CM, Simic A, Snyder J. Landslide detection and susceptibility mapping using LiDAR and an artificial neural network approach: a case study in the Cuyahoga Valley National Park, Ohio. Landslides. 2016;13(3):467–84.

[9].Bui DT, Pradhan B, Revhaug I, Nguyen DB, Pham HV, Bui QN. A novel hybrid evidential belief function-based fuzzy logic model in spatial prediction of rainfall-induced shallow landslides in the Lang Son city area (Vietnam). Geomatics, Nat Hazards Risk. 2015;6(3):243–71.

[10]. Lian C, Zeng Z, Yao W, Tang H, Chen CLP. Landslide displacement prediction with uncertainty based on neural networks with random hidden weights. IEEE Trans neural networks Learn Syst. 2016;27(12):2683–95.

[11]. Chen W, He B, Zhang L, Nover D. Developing an integrated 2D and 3D WebGIS-based platform for effective landslide hazard management. Int J Disaster Risk Reduct. 2016;20:26–38.

[12]. Wang Y, Seijmonsbergen AC, Bouten W, Chen Q. Using statistical learning algorithms in regional landslide susceptibility zonation with limited landslide field data. J Mt Sci. 2015;12(2):268–88.

[13]. Moghimi, E., Yamani, M., and Vahimi S. Landslide hazard assessment and zoning in Roodbar using network analysis process. Quant Res. 2013;4:103–18.

[14]. Safaeepoor M, Shojaeean A, Atashafrooz N. Landslide Using AHP Model In GIS Case Study: Valley Village Qalandar Flour City Dehdez. 2016;9(31):105–18.

[15]. Nazmfar H, Behesti A. Application of Combined model analytical network process and fuzzy logic models in Landslide susceptibility zonation (Case Study: chellichay Catchment). Geogr Environ Plan. 2016;27(1):53–68.

[16]. Masomeh Rajabi, KHalil Valizaeh kamran H abedi gheshlaghi. Evaluation and zoning landslide hazard by using the analysis network process and artificial neural network (case study Azarshahr Chay basin). Quant Geomorphol Res. 2018;5(1):60–74.

[17]. Goetz JN, Brenning A, Petschko H, Leopold P. Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. Comput Geosci. 2015;81:1–11.

[18]. Shahram Rostaei LKh. Assessment of Analysis Network Process and Logistic Regression in the Investigation of Landslide Potential in the Axis Range and Reservoir Dam (Case Study: Ghalea Chai Dam). Quant Geomorphol Res. 2018;5(3):67–80.

[19]. Hadi Nayeri, Mohammadreza Karami MS. Landslide hazard zonation by evaluating environmental variables using network analysis (case study: Bijar city). Quant Geomorphol Res. 2018;5(4):121–36.

[20]. Ali Akbar Matkan ARSP. Urban Waste Iandfill Site Selection by GIS (Case Study: Tabriz City). Environ Sci. 2009;6(2):121–32.

[21]. Salari M, Moazed H RF. Site Selection for Solid Waste by GIS & AHP-FUZZY Logic (Case Study: Shiraz City). J Toloo-e-behdasht. 2012;11(1):96–109.

[22]. M. Abedini, SH. Rostaeai MF. Landslides susceptibility mapping using hybrid model of Bayes' theorem & ANP, Case Study: Ahar drainage basin South boundary (From Nasirabad to Sattar Khan dam). Quant Geomorphol Res. 2018;5(1):142–59.

www.SID.ir