

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۸، پاییز ۱۳۹۵، صص ۹۳-۱۱۱

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۸

پهنه‌بندی حساسیت وقوع لغزش زمین با استفاده از مدل هیبریدی قضیه‌ی بیز ANP (مطالعه‌ی موردی: گردنه‌ی حیران)

فریبا اسفندیاری درآباد^{۱*}

ابراهیم بهشتی جاوید^۲

چکیده

زمین لغزش به عنوان یکی از فرآیندهای مورفودینامیک و از جمله مخاطرات پراهمیت از نظر تلفات جانی، مالی و تعداد وقوع است. در این پژوهش پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه‌ی گردنه‌ی حیران اردبیل مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت انجام این کار از ترکیب مدل‌های چندمعیاره (فرآیند تحلیل شبکه) و آماری (قضیه‌ی بیز) و ۱۲ پارامتر شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، بارش، شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص طول شیب (LS)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، شاخص قدرت آبراهه (SPI)، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه استفاده شده است. جهت به دست آوردن وزن کلاس‌های هر یک از پارامترهای مستعدکننده‌ی زمین لغزش و اعتبارسنجی نقشه‌ی نهایی از لایه‌ی زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه استفاده شده که از این بین ۷۰ درصد زمین لغزش‌ها برای اجرای مدل و ۳۰ درصد دیگر برای اعتبارسنجی به کار رفته است. نتیجه‌ی کار به صورت یک نقشه‌ی طبقه‌بندی شده در پنج طبقه است که به ترتیب پهنه‌های با پتانسیل وقوع زمین لغزش بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را شامل می‌شود. با توجه به نقشه‌ی به دست آمده ۲۶/۳ درصد از اراضی محدوده‌ی

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده‌ی مسئول). Email: fariba.darabad@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

مورد مطالعه به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد برای وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته شده‌اند. این مناطق عمدتاً مناطق حاشیه‌ی محور مواصلاتی اردبیل-آستارا را شامل می‌شود. به خاطر حجم زیاد ساخت و سازهای حاشیه جاده، همچنین به خاطر به هم زدن شیب طبیعی زمین برای جاده‌سازی و عریض کردن آن، اکثر زمین‌لغزش‌ها نیز در این مناطق رخ داده است. کاربری زمین در این مناطق عمدتاً از نوع جنگل تنک، مرتع و کشاورزی بر روی دامنه‌ها می‌باشد. ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی شده با استفاده از ۳۰ درصد زمین‌لغزش‌های منطقه انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از این ارزیابی و قرارگیری درصد قابل توجهی از زمین لغزش‌ها در طبقه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد (۷۷/۶) می‌توان گفت دقت مدل‌های به کار رفته در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش قابل قبول و خوب است.

کلمات کلیدی: زمین‌لغزش، قضیه‌ی بیز، فرآیند تحلیل شبکه، گردنه‌ی حیران.

مقدمه

بر اساس برآوردهای اولیه در ایران سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق وقوع زمین لغزش به کشور وارد می‌شود (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۷) از این رو لازم است تا تصمیمات جدی در این زمینه اتخاذ شود. از راهکارهای مناسب در جهت کاهش زیان‌های مالی و جانی مخاطراتی نظیر زمین لغزش، شناسایی و پهنه‌بندی زمین بر اساس قابلیت وقوع آن است. در یک عبارت ساده می‌توان گفت که حساسیت وقوع زمین لغزش (LS)^۱ در واقع احتمال رخداد زمین لغزش در یک ناحیه بر اساس وضعیت محلی زمین است (براب^۲، ۱۹۸۴: ۳۰۸). مدل‌هایی که برای تهیه نقشه‌های حساسیت وقوع زمین لغزش استفاده می‌شوند

1- landslide Susceptibility

2- Brabb

می‌توانند با تمرکز بر روی کاهش خطر وقوع زمین‌لغزش سطح تصمیمات برنامه‌ریزان فضایی را بالا برده و از آن پشتیبانی کنند. در حال حاضر برای مدل‌سازی فضایی و پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش سطح گسترده‌ای از روش‌های کمی وجود دارد که توسط افراد مختلفی صورت گرفته و از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

نیازی و همکاران (۱۳۸۹) حوضه‌ی سد ایلام را با استفاده از مدل آماری دومتغیره پهنه‌بندی کردند نتایج کار نشان داد که روش تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیش‌ترین دقت را در تفکیک کلاس‌های خطر زمین لغزش داشته‌اند. رحیم‌زاده و طالقانی (۱۳۹۴) در پژوهشی پتانسیل ناپایداری دامنه‌ای را در بخش شمال غرب زاگرس مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار نشان داد روش آماری دومتغیره تراکم سطح بیشترین و روش وزنی نیز کمترین همخوانی با ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه را دارد.

اکسوی و ارکانگلو^۱ (۲۰۱۲) با استفاده از منطق فازی و تصاویر ماهواره‌ای تشخیص و شناسایی زمین لغزش‌های غرب دریای سیاه را مورد پژوهش قرار دادند. بر اساس نتایج، عملگر گامای فازی از نظر دقت نسبت به سایر توابع عضویت فازی با وضع موجود تطابق بیشتری دارد. پیاسنتینیا و همکاران^۲ (۲۰۱۲) با استفاده از مدل تئوری بیزین، حساسیت زمین لغزش را برای جنوب منطقه‌ی تیروول^۳ انجام دادند. نتایج نشان داد، نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش برای پیش‌بینی زمین لغزش‌ها با درصد بالایی (۷۵٪) قابل اطمینان است. گوئتز و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی توانایی مدل‌های الگوریتم SVM و آماری را در مدل‌سازی زمین لغزش مورد ارزیابی

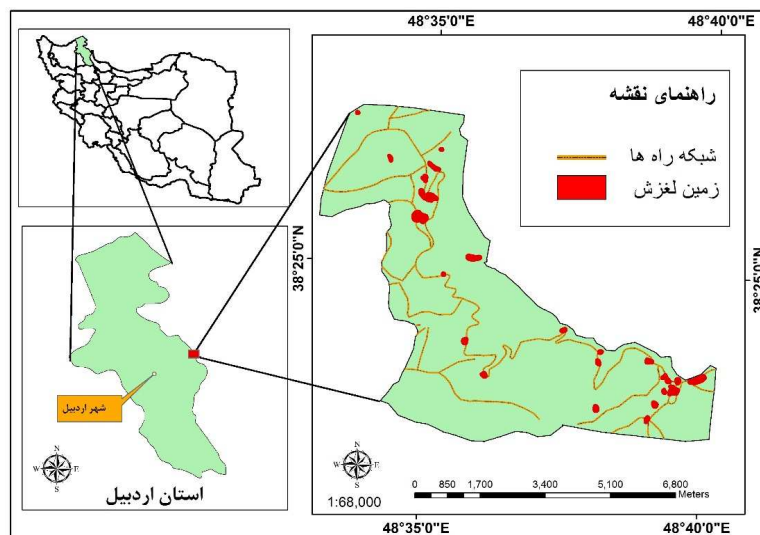
1- Aksoy and Ercanoglu

2- Piacentinia et al.,

3- Tyrol

قرار دادند. نتایج کار نشان داد که به‌طور کلی، چارچوب این نوع ارزیابی مدل را می‌توان برای کمک به انتخاب یک روش مدل‌سازی مناسب برای زمین لغزش اعمال کرد.

در این پژوهش منطقه‌ی گردنه‌ی حیران در استان اردبیل از نظر احتمال وقوع زمین لغزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. این منطقه به دلیل دستکاری‌های گسترده صورت گرفته در آن و نیز شرایط طبیعی حاکم، از نظر وقوع زمین لغزش بسیار مستعد می‌باشد. با توجه به این امر ضرورت دارد که منطقه‌ی فوق با استفاده از یکی از روش‌های مناسب از نظر قابلیت وقوع زمین لغزش پهنه‌بندی شود.



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی حیران در استان اردبیل، بین عرض $38^{\circ} 27'$ تا $38^{\circ} 22'$ شمالی و طول $48^{\circ} 32'$ تا $48^{\circ} 40'$ شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع منطقه بین ۲۵۶ تا

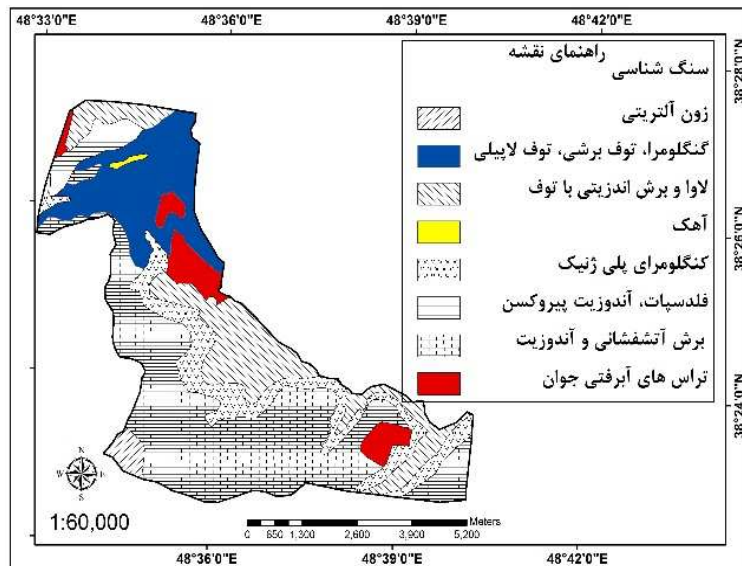
۱۷۶۴ متر در نوسان است. توپوگرافی منطقه بیانگر یک منطقه‌ی کوهستانی و پر شیب است. از لحاظ زمین‌شناسی نیز اغلب زمین‌های منطقه از جنس برش‌های ولکانیکی، توف و کنگلومرا است و اغلب توسط گسل‌های فراوان بریده شده‌اند. کاربری اغلب زمین‌ها در این منطقه از نوع کشاورزی و مرتع است. به دلیل قرارگیری بخش زیادی از منطقه در دامنه‌های شرقی ارتفاعات تالش اقلیم آن متأثر از جریان‌های اقلیمی دریای خزر بوده و بر اساس نقشه‌ی پهنه‌بندی بارش منطقه میانگین بارش آن برابر با ۸۴۰ میلی‌متر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

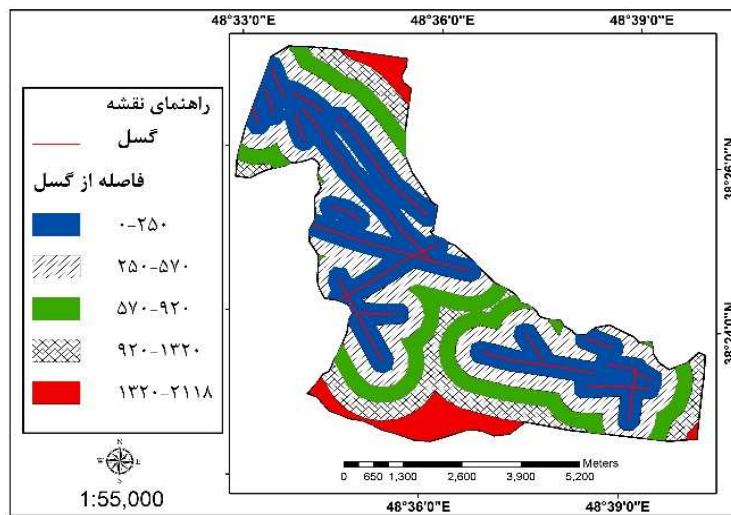
در این پژوهش از میان عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش ۱۲ پارامتر مختلف انتخاب شده و در مدل‌سازی پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از: شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، لیتولوژی، بارش، شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص طول شیب (LS)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، شاخص قدرت آبراهه (SPI)، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه. برای تهیه‌ی این لایه‌های از منابع داده مختلفی استفاده شده است (از شکل ۲ تا ۵).

برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه از محیط نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI و روش طبقه‌بندی نظارت شده (الگوریتم حداکثر مشابهت^۱ (MLC)) و تصاویر رنگی ماهواره لندست استفاده شد. برای به دست آوردن لایه‌ی پهنه‌های بارشی از آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه استفاده شد و لایه بارش به صورت پهنه‌های بارشی به دست آمد. همچنین برای تهیه‌ی لایه تراکم پوشش گیاهی از تصاویر باندهای ۳ و ۴ ماهواره لندست استفاده شده است.

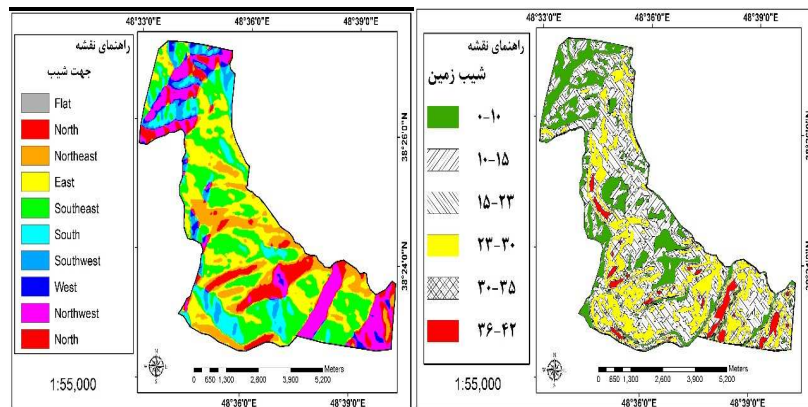
1- Maximum likelihood classifier



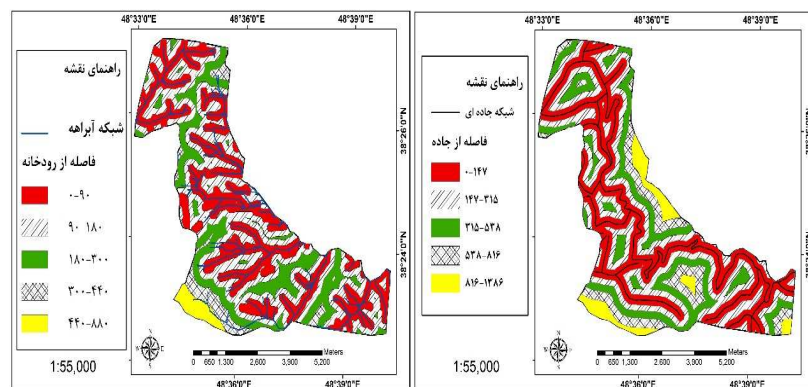
شکل (۲) نقشه‌ی سنگ‌شناسی



شکل (۳) نقشه‌ی فاصله از گسل



شکل (۴) نقشه شیب (سمت راست) نقشه جهت شیب (سمت چپ)



شکل (۵) نقشه فاصله از رودخانه (سمت راست) و فاصله از جاده (سمت چپ)

شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)

شاخص رطوبت توپوگرافیک (شاخص ترکیب توپوگرافیک^۱ (CTI)) که برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می‌شود (ویلسون و گالانت^۲، ۲۰۰۰) به صورت

- 1- Compound Topographic Index
- 2- Wilson & Gallant

رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$TWI = LN\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

در منطقه‌ی مورد مطالعه مناطق با انحنای مقعر و مناطق حاشیه‌ای رودخانه‌ها و دره‌ها از نظر شاخص رطوبت توپوگرافیک مقدار عددی بالاتری دارند.

شاخص طول شیب (LS)

طبق این شاخص با افزایش طول شیب مقدار فرسایش افزایش می‌یابد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۲). مور و بورچ (۱۹۸۶) برای شاخص LS رابطه‌ی (۱) را پیشنهاد داده‌اند.

$$LS = \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

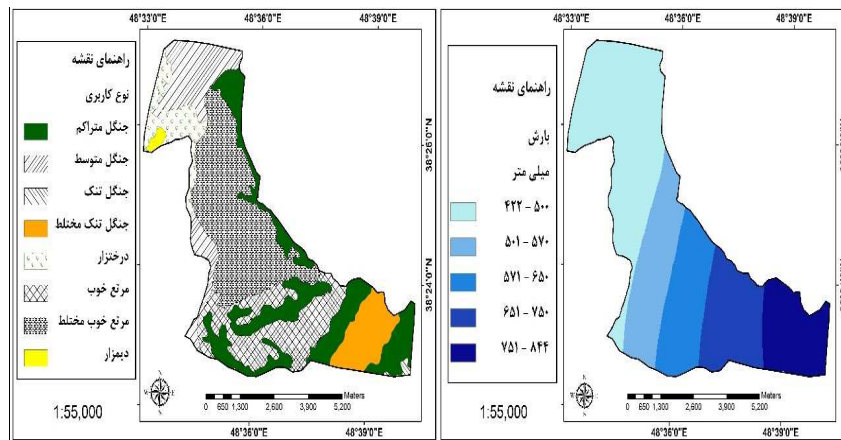
که در آن A_s مساحت حوضه‌ی آبخیز و β گرادبان شیب بر حسب درجه است. شاخص فوق با استفاده از رابطه‌ی (۱) در محیط نرم‌افزار Arc map تهیه شد (شکل ۸). بر اساس این شاخص مناطقی که دارای طول شیب بیشتری هستند از نظر زمین لغزش پتانسیل بالاتری دارند.

شاخص قدرت آبراهه (SPI)

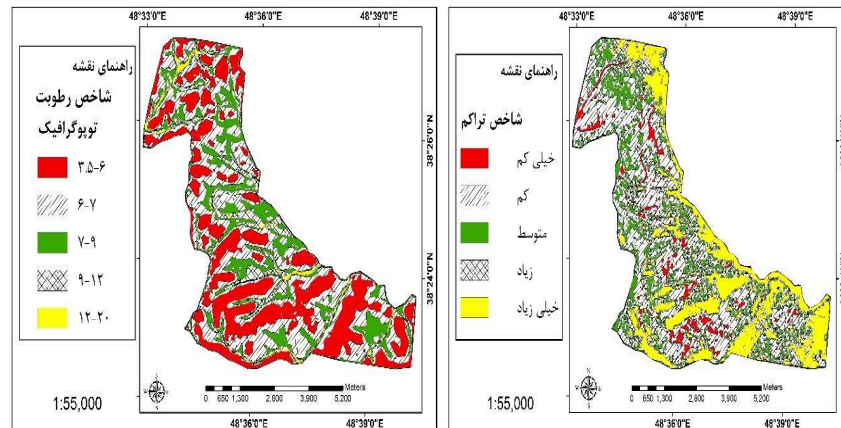
مور و همکاران (۱۹۹۱) رابطه (۳) را برای محاسبه شاخص قدرت رودخانه (SPI) پیشنهاد نمودند که در این معادله اندازه‌ی قدرت فرسایش جریان آب بر این فرض استوار است که عمل تخلیه متناسب با وسعت حوضه صورت می‌گیرد. شاخص فوق با استفاده از رابطه‌ی (۳) و نرم‌افزار Arc map تهیه شد.

$$SPI = A_s \cdot \tan \beta \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

که در آن رابطه‌ی (۳) A_s مساحت حوضه‌ی آبخیز و β گرادیان شیب بر حسب درجه است (شکل ۸). برای منطقه‌ی مورد مطالعه شاخص فوق تهیه شد و مناطق دره‌ای و حاشیه‌ی رودخانه‌ای بیشترین ارزش را کسب کرده‌اند.

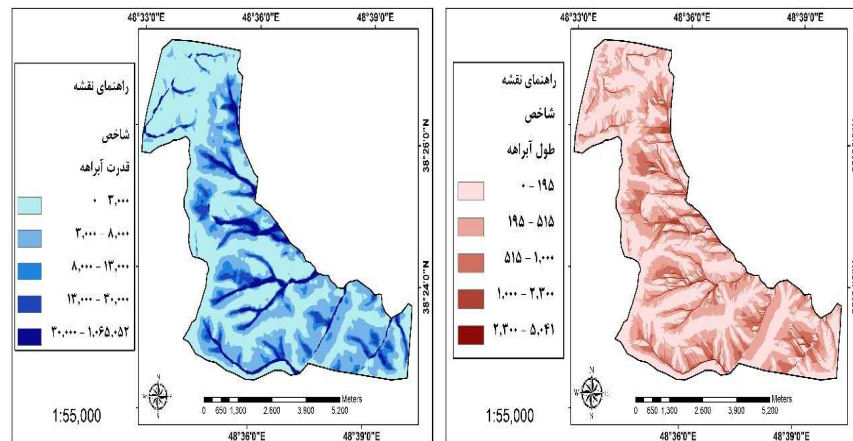


شکل (۶) نقشه‌ی بارش (سمت راست) نقشه‌ی کاربری زمین (سمت چپ)



شکل (۷) نقشه‌ی تراکم پوشش گیاهی (NDVI) سمت راست و رطوبت توپوگرافیک (شاخص

(TWI) - سمت چپ



شکل (۸) نقشه‌ی LS (سمت راست) و نقشه‌ی قدرت آبراهه، SPI (سمت چپ)

برای اجرای پهنه‌بندی دو مدل فرآیند تحلیل شبکه و قضیه‌ی بیز مورد استفاده قرار گرفته که با توجه به ماهیت مدل‌ها هر کدام در مرحله‌ای از پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مقایسه و رتبه‌بندی پارامترها از مدل فرآیند تحلیل شبکه و برای تعیین وزن کلاس‌های هر پارامتر نیز از مدل قضیه‌ی بیز کمک گرفته شده است.

مدل قضیه‌ی بیز یا وزن شواهد

در این پژوهش از مدل قضیه‌ی بیز برای پیدا کردن سطح تأثیر و وزن هر کدام از کلاس‌های پارامترهای مستعدکننده‌ی زمین لغزش استفاده شده است. فرمول قضیه‌ی بیز بر اساس رابطه‌ی زیر (رابطه‌ی ۴) تعریف می‌شود (پیاستینی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۹۹):

$$P(s | B_i) = \frac{P(B_i | S) \times P(s)}{P(B_i)} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

در رابطه‌ی فوق $P(S)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد S در محدوده‌ی مورد مطالعه (AS) ، $P(B_i)$: احتمال وقوع کلاس B_i در محدوده‌ی مورد مطالعه (AS) ، $P(B_i | S)$: احتمال وقوع پیشامد B_i به شرطی که پیشامد S اتفاق افتاده باشد، $P(S | B_i)$: احتمال وقوع پیشامد S به شرطی که پیشامد B_i اتفاق افتاده باشد.

احتمال شرطی وقوع زمین لغزش زمانی که کلاس B_i اتفاق نیفتاده باشد نیز به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$P(S | B_i^{\wedge}) = \frac{P(B_i^{\wedge} | S) \times P(S)}{P(B_i^{\wedge})} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در معادله‌ی فوق $P(S)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد S در محدوده‌ی مورد مطالعه (AS) ، $P(B_i^{\wedge} | S)$ احتمال شرطی نبود کلاس B_i به شرطی که S اتفاق افتاده باشد، احتمال اولیه نبود کلاس B_i در محدوده‌ی مورد مطالعه (AS) ، در این مدل، وزن کلاسه‌های هر پارامتر به وسیله ترکیبی از ارزش‌های مثبت و منفی (W^+ و W^-) از طریق تئوری بیز و نیز اختلاف تفاضل بین آن‌ها محاسبه می‌شود و در نهایت با استفاده از رابطه‌ی ۶ تا ۹ وزن نهایی کلاسه‌ها حاصل می‌شود.

$$W^+ = LN(P(B_i/S)/P(B_i)) \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

$$W^- = LN(P(B_i^{\wedge} | S) / P(B_i^{\wedge})) \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

$$C = W^+ - W^- \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

$$W_{final} = C/S_c \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

که در آن LN لگاریتم بر مبنی عدد نپر، C تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، W_{final} وزن نهایی استاندارد شده و S_c انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۷).

بحث و نتایج

در این پژوهش برای مقایسه‌ی زوجی و تعیین ضریب پارامترها از مدل فرآیند تحلیل شبکه و برای تعیین سطح تأثیر کلاس‌های هر پارامتر از مدل قضیه‌ی بیز استفاده شده است. برای اجرای مدل ANP ابتدا بر اساس ماهیت داده‌ها و ارتباطات موجود بین آن‌ها، پارامترها در چهار خوشه‌ی اصلی ۱- پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی ۲- پارامترهای زمین‌شناسی ۳- پارامترهای انسانی و پوشش زمین و در نهایت ۴- پارامترهای ژئومورفولوژیکی دسته‌بندی شدند. در ادامه با مشخص شدن خوشه‌ها، ساختار شبکه‌ای بین خوشه‌ها و پارامترهای در نظر گرفته شده تشکیل شد. تمامی مراحل مربوط به مقایسات زوجی بین خوشه‌ها معیارها و روابط درونی آن‌ها در محیط نرم‌افزار Super Decision صورت گرفته و با تهیه‌ی سوپر ماتریس حد وزن نهایی هر یک از پارامترها به دست آمده است. بر اساس جدول (۱) لایه‌ی شیب زمین با ۰/۲۲۲ و سنگ‌شناسی با ۰/۱۵۴ بیشترین ضریب تأثیر را در پهنه‌بندی پتانسیل زمین‌لغزش دارند. در مقابل لایه‌های شاخص رطوبت توپوگرافیک با ۰/۰۰۴ و فاصله از جاده با ۰/۰۰۵ کمترین ضریب تأثیر را دارا هستند. با به دست آمدن ضریب تأثیر پارامترها نوبت به محاسبه وزن کلاس‌های هر پارامتر می‌رسد. برای به دست آوردن این ضرایب از مدل قضیه‌ی بیز استفاده شده است. دو دسته اطلاعات برای این مرحله مورد نیاز بود: ۱- زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه که در مدل‌سازی ۷۰ درصد آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته و ۳۰ درصد زمین‌لغزش‌ها برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شده است و ۲- پارامترهای کلاسه‌بندی شده. با داشتن داده‌های فوق اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار Arcmap استخراج شده و از طریق فرمول‌نویسی روابط مدل در نرم‌افزار excel وزن کلاس‌های هر طبقه به دست آمد. جدول (۱) وزن به دست آمده از مدل قضیه‌ی بیز را برای کلاس‌های هر پارامتر نمایش می‌دهد.

جدول (۱) وزن کلاس‌های هر پارامتر (بر اساس مدل قضیه‌ی بیز)

پارامترها	کلاس	W+	W-	C	S2(W+)	S2(W-)	SC	Weight
کاربری زمین	جنگل تنک	۰/۹۴	-۰/۱۴	-۱/۰۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴۳	۰/۱۴۷	۷/۴
	جنگل متراکم	-۰/۱۷	۰/۰۴۸	-۰/۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴۳	۰/۱۴۷	-۱/۴۹
	مرتع خوب	-۲/۲۷	۰/۱۶۸	-۲/۴۴	۰/۲	۰/۰۰۳۶	۰/۴۵	-۵/۴۲
	جنگل متوسط	-۲/۹۵	۰/۱۳۷	-۳/۰۹	۰/۵	۰/۰۰۳۵	۰/۷۱	-۴/۳۶
	مرتع و کشاورزی مختلط	۰/۶۴	-۰/۴۹	۱/۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸۱	۰/۱۲	۹/۴۶
سنگ شناسی	A	-۲/۲۹	۴۸/۰	۷۷/۲-	۰/۸۳/۰	۰/۰۳/۰	۲۹/۰	۴۲/۹-
	B	۱۴۶/۰	-۰/۳۴/۰-	۱۸/۰	۰/۱۶/۰	۰/۰۴/۰	۱۴۶/۰	۲۳/۱
	C	۷۲/۰	-۰/۰۶/۰-	۷۹/۰	۰/۲۹/۰	۰/۰۴/۰	۱۸/۰	۳۲/۴
	D	۶/۰	-۰/۱۷/۰-	۷۷/۰	۰/۱۱/۰	۰/۰۵/۰	۱۲۸/۰	۰۴/۶
	E	۱۵/۳	-۳۹/۰-	۵۴/۳	۰/۱/۰	۰/۰۵۲/۰	۱۲/۰	۳۳/۲۸
شاخص TWI	۱	۸۴/۰-	۲۶/۰	۱۱/۱-	۰/۲۳/۰	۰/۰۴۱/۰	۱۶/۰	۶۴/۶-
	۲	۰/۹/۰	-۰/۰۶/۰-	۱۵/۰	۰/۰۸/۰	۰/۰۶/۰	۱۲/۰	۲۹/۱
	۳	۷۱/۰	-۲۷/۰-	۹۸/۰	۰/۰۹/۰	۰/۰۵۷/۰	۱۲/۰	۱۱/۸
	۴	۲۴/۰-	۰/۱۶/۰	۲۵/۰-	۰/۶۲/۰	۰/۰۳/۰	۲۵/۰	۹۹/۰-
شاخص LS	۱	۷۶/۰-	۴۵/۰	۲۱/۱-	۰/۱۴/۰	۰/۰۴۷/۰	۱۴/۰	۸۱/۸-
	۲	۱۶/۰	-۰/۰۹/۰-	۲۶/۰	۰/۰۸/۰	۰/۰۵۹/۰	۱۲/۰	۲۱/۲
	۳	۹۳/۰	-۲۱/۰-	۱۴/۱	۰/۱۲/۰	۰/۰۴۹/۰	۱۳/۰	۶۶/۸
	۴	۱۷/۱	-۰/۰۵/۰-	۲۲/۱	۰/۰۵/۰	۰/۰۳۸/۰	۲۳/۰	۲۷/۵
شاخص SPI	۱	۶۵/۱-	۶۱/۰	۲۶/۲-	۰/۳۵/۰	۰/۰۳۹/۰	۱۹/۰	۳۶/۱۱-
	۲	۴۶/۰	-۲۸/۰-	۷۴/۰	۰/۰۷/۰	۰/۰۶۶/۰	۱۲/۰	۲۷/۶
	۳	۳۵/۰	-۰/۳۸/۰-	۳۹/۰	۰/۰۳/۰	۰/۰۴/۰	۱۸/۰	۱۴/۲
	۴	۲۷/۱	-۰/۱۷/۰-	۴۵/۱	۰/۱۵/۰	۰/۰۴۴/۰	۱۴/۰	۹/۹
	۵	۷۱/۰	-۰/۰۶/۰-	۷۷/۰	۰/۳۲/۰	۰/۰۴/۰	۱۹/۰	۰۵/۴
شاخص NDVI	۱	۷۲/۰	-۰/۰۶/۰-	۷۸/۰	۰/۳۷/۰	۰/۰۴۵/۰	۲/۰	۸۷/۳
	۲	۲۳/۰	-۰/۱۷/۰-	۴۱/۰	۰/۰۸/۰	۰/۰۷۷/۰	۱۲/۰	۲۳/۳
	۳	۲۳/۰-	۰/۰۴/۰	۲۸/۰-	۰/۲۶/۰	۰/۰۴۷/۰	۱۷/۰	۵۸/۱-
	۴	۲۵/۰-	-۰/۰۳/۰	۲۸/۰-	۰/۳۴/۰	۰/۰۴۵/۰	۱۹/۰	۴۵/۱-
	۵	۴۶/۰-	۱/۰	۵۶/۰-	۰/۲۷/۰	۰/۰۴۷/۰	۱۸/۰	۱۱/۳-
	۱	۳۹/۰	-۳۳/۰-	۷۳/۰	۰/۰۶/۰	۰/۰۷/۰	۱۲/۰	۱۹/۶

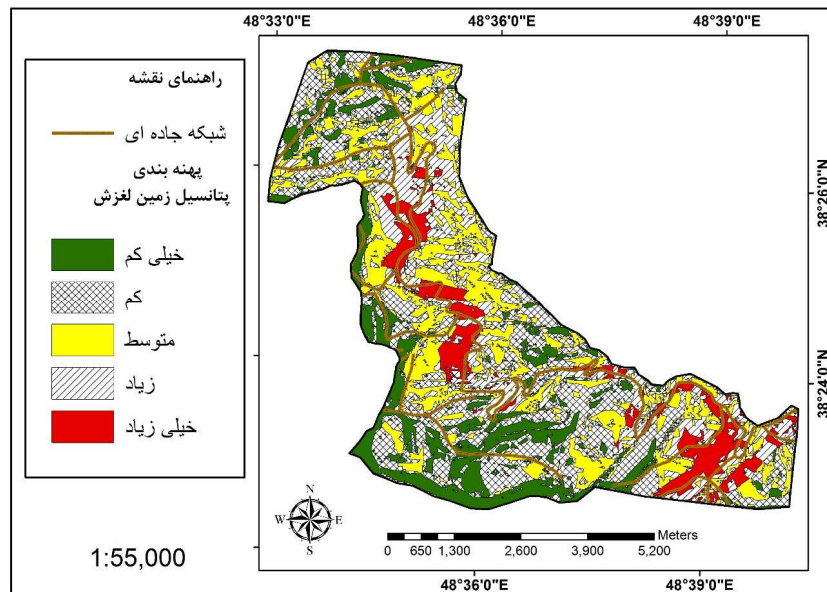
ادامه جدول (۱)

۶۶/۰	۱۳/۰	۰۰۵/۰	۰۱۲/۰	۰۸/۰	۰۲۳/۰-	۰۶/۰	۲	گسل فاصله از
۷/۰-	۱۶/۰	۰۰۴/۰	۰۲۱/۰	۱۱/۰-	۰۱۹/۹	۰۹/۰-	۳	
۶/۴-	۵/۰	۰۰۳۵/۰	۲۵/۰	۳۲/۲-	۱۲/۰	۲/۲-	۴	
۴۴/۱۰	۱۳/۰	۰۱۲/۰	۰۰۵/۰	۳۷/۱	۷۶/۰-	۶/۰	۱	فاصله از رودخانه
۸۱/۵-	۱۵/۰	۰۰۴۳/۰	۰۱۹/۰	۸۹/۰-	۲۳/۰	۶۵/۰-	۲	
۶۳/۳-	۲/۰	۰۰۳۹/۰	۰۳۵/۰	۷۲/۰-	۰۹/۰	۶۳/۰-	۳	
۶۷/۲-	۰۰۲/۰	۰۰۳۵/۰	۱	۶۷/۲-	۰۴/۰	۶۳/۲-	۴	
۷۱/۴-	۴۱/۰	۰۰۳۶/۰	۱۶۶/۰	۹۴/۱-	۱۲/۰	۸۲/۱-	شمال شرقی	جهت شیب
۴۱۰۷۸	۱۲/۰	۰۰۵/۰	۰۱/۰	۵۱/۰	۱۴/۰-	۳۶/۰	شرق	
۶۳/۶	۱۲/۰	۰۰۶/۰	۰۰۸/۰	۷۸/۰	۲۷/۰-	۵۱/۰	جنوب شرقی	
۳۷/۳-	۰۰۱/۱	۰۰۳۵/۰	۱	۳۸/۳-	۰۹/۰	۲۸/۳-	جنوب	
۶۷/۰-	۱۹/۰	۰۰۴/۰	۰۳۴/۰	۱۳/۰-	۰۱/۰	۱۲/۰-	شمال غربی	
۱/۴	۱۹/۰	۰۰۴/۰	۰۳۴/۰	۸/۰	۰۵۷/۰-	۷۴/۰	شمال	
۴/۵-	۵۸/۰	۰۰۳۵/۰	۳۳/۰	۱۲/۳-	۲/۰	۹/۲-	۱	شیب زمین
۹۳/۳-	۱۹/۰	۰۰۴/۰	۰۳۴/۰	۷۷/۰-	۱۱/۰	۶۶/۰-	۲	
۹۷/۷	۱۲/۰	۰۰۷۱/۰	۰۰۶/۰	۹۴/۰	۳۷/۰-	۵۷/۰	۳	
۷۴/۳	۱۳/۰	۰۰۵/۰	۰۱۱/۰	۴۸/۰	۱۲/۰-	۳۶/۰	۴	
۱۳/۱-	۲۴/۰	۰۰۴/۰	۰۵/۰	۲۶/۰-	۰۲/۰	۲۵/۰-	۵	
۴۱/۱-	۴۵/۰	۰۰۳۵/۰	۲/۰	۶۳/۰-	۰۱۵/۰	۶۲/۰-	۶	
۶۵/۲	۱۱/۰	۰۰۶/۰	۰۰۷/۰	۳۱/۰	۱۲/۰-	۱۸/۰	۱	بارش
۸۳/۰-	۱۶/۰	۰۰۴/۰	۰۲/۰	۱۳/۰-	۰۲۲/۰	۱۱/۰-	۲	
۲۴/۴-	۲۶/۰	۰۰۳۶/۰	۰۶۶/۰	۱۲/۱-	۱/۰	۰۲۵/۱-	۳	
۴۸/۹	۱۲/۰	۰۰۵/۰	۰۱/۰	۱۶/۱	۲۷/۰-	۸۹/۰	۴	
۵۶/۱۲	۱۴/۰	۰۱۵/۰	۰۰۴/۰	۷۸/۱	۰۴/۱-	۷۴/۰	۱	فاصله از جاده
۳۵/۶-	۲/۰	۰۰۴/۰	۰۳۵/۰	۲۶/۱-	۲۲/۰	۰۴/۱-	۲	
۷۸/۰-	۲/۰	۰۰۳۸/۰	۰۳۸/۰	۱۶/۰-	۰۱۵/۰	۱۴/۰-	۳	
۸/۱-	۳۲/۰	۰۰۳۶/۰	۱/۰	۵۸/۰-	۰۲/۰	۵۵/۰-	۴	

لایه‌ی سنگ‌شناسی: A- برش آتشفشانی، آندوزیت پیروکسن، جریان لاوا. B- لاوا و برش آندزیتی با سنگ بستر توف. C- تراس‌های جوان و مخروط‌های شن و ماسه ای. D- توف برشی، توف لایلی، توف آتره و کنگلومرا. E- کنگلومرای پلی زئیک

وزن‌های به دست آمده از مدل قضیه‌ی بیز از طریق عملگر Reclassify بر روی پارامترها اعمال شده و در نهایت پارامترهای به دست آمده از این مرحله با ضرایب مدل ANP ترکیب شدند. نتیجه این فرآیند یک لایه‌ی رستری است که وضعیت منطقه را از نظر پتانسیل وقوع زمین لغزش نمایش می‌دهد. نقشه‌ی به دست آمده، با استفاد از روش شکستگی‌های طبیعی^۱ در پنج کلاس حساسیت طبقه‌بندی شد (شکل ۹).

در این طبقه‌بندی نقشه‌ی به دست آمده در پنج کلاس حساسیت وقوع زمین لغزش طبقه‌بندی شده است (طبقه با پتانسیل وقوع زمین لغزش خیلی کم، پتانسیل کم، پتانسیل متوسط، پتانسیل زیاد و پتانسیل خیلی زیاد).



شکل (۹) نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش

1- Natural breaks

ارزیابی مدل

برای ارزیابی، نقشه‌ی طبقه‌بندی زمین لغزش روی هم‌گذاری شده و درصد پراکنش فضایی آن‌ها را در هر کدام از طبقات به دست آمده است. نتیجه این روی هم‌گذاری به صورت جدول (۲) به دست آمد. بر اساس اطلاعات جدول با اینکه تنها ۹/۱ درصد از کل منطقه در کلاس با حساسیت خیلی زیاد قرار گرفته ولی با این حال در حدود ۴۰/۷ از زمین لغزش‌های در نظر گرفته شده برای ارزیابی در این طبقه قرار گرفته است. در حالت کلی حدود ۷۷/۶ درصد از این زمین لغزش‌ها در دو کلاس با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. جدول (۲) وضعیت آماری حاصل از این ارزیابی را نشان می‌دهد.

جدول (۲) مساحت کلاس‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش و درصد زمین لغزش‌های رخ داده

کلاس حساسیت	مساحت هر کلاس به درصد مساحت زمین لغزش‌های رخ داده به درصد	مساحت هر کلاس به درصد مساحت زمین لغزش‌های رخ داده به درصد
حساسیت خیلی کم	۱۷/۶	۴/۱
حساسیت کم	۳۱/۷	۹
حساسیت متوسط	۲۴/۴	۹/۳
حساسیت زیاد	۱۷/۲	۳۷
حساسیت خیلی زیاد	۹/۱	۴۰/۶

نتیجه‌گیری

بر اساس نقشه‌ی تهیه شده بخش‌های شرقی و مرکزی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظرووقع زمین لغزش بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد. طبق نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه و اطلاعات مربوط به ساختمان زمین اغلب مناطقی که به صورت مناطق با پتانسیل بالا شناسایی شده‌اند جنس سنگ‌ها عمدتاً از نوع گنکومرای پلی‌ژنیک و برش‌های آتشفشانی است که توسط حجم زیادی از مواد

هوازده پوشیده شده است. مواد تخریب شده و هوازده موجود در روی دامنه‌ها، سطح لایه‌بندی موازی با شیب زمین، باعث تسریع حرکات توده‌ای شده است. بریدگی شیب در پای دامنه‌ها به خاطر دستکاری‌های صورت گرفته توسط فعالیت‌های انسانی عامل دیگری است که باعث ایجاد لغزش‌های منطقه شده است. چندین گسل فعال در بیشتر بخش‌های منطقه پراکنده شده و باعث ایجاد گسستگی‌های زیادی در لایه‌های رسوبی شده‌اند. برای مثال در بخش شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان شاهد تراکم بالایی از زمین لغزش‌ها بود.

با توجه به اطلاعات حاصل از نتایج مطالعات ۹/۱ درصد از اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه به عنوان منطقه‌ای با پتانسیل خیلی زیاد برای وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شده‌اند. کاربری زمین در این مناطق عمدتاً از نوع جنگل تنک، مرتع و کشاورزی بر روی دامنه‌ها می‌باشد. عمدتاً مناطق با پتانسیل کم و خیلی کم در بخش‌های مرتفع منطقه (غرب منطقه‌ی مورد مطالعه) و شمال شرق آن بعد از تونل گردنه‌ی حیران واقع شده است. کاربری از نوع جنگل متراکم و مرتع خوب، داشتن فاصله دورتر از مناطق مسکونی و جاده‌های ارتباطی و دستکاری کمتر توسط انسان، دریافت بارش کمتر نسبت به مناطق شرقی و شیب کم از مجموعه عواملی هستند که باعث شده مقدار وقوع زمین لغزش در این مناطق کمتر باشد و به عنوان مناطقی با پتانسیل کم و خیلی کم معرفی شوند. جهت ارزیابی نقشه‌ی نهایی نیز از ۳۰ درصد زمین لغزش‌های منطقه استفاده شد تا دقت مدل‌های به کار رفته برای پهنه‌بندی مشخص شود. بر اساس نتایج به دست آمده از این ارزیابی و قرارگیری درصد قابل توجهی از زمین لغزش‌ها در طبقه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد (۷۷/۶) دقت مدل‌های به کار رفته در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش قابل قبول و خوب است.

منابع

- حسین‌زاده، محمدحسین؛ ثروتی، مجمدرضا؛ منصور، عادل؛ میرباقری، بابک و سعید خضری (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره‌ی ۱۱، صص ۲۷-۳۷.
- رحیم‌زاده، زهرا و محمود علایی طالقانی (۱۳۹۴)، ارزیابی پتانسیل ناپایداری دامنه‌ای به کمک مدل منطقه‌ای در بخش شمال غرب زاگرس با توجه به زمین لغزش‌های حوضه‌ی لیل، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۳۹، صص ۱۹۴-۱۸۱.
- رضایی، پیمان؛ فریدی، پروانه؛ قربانی، منصور و محمد کاظمی (۱۳۹۳)، برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل در حوضه‌ی آبخیز گابریک - جنوب خاوری استان هرمزگان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۱، صص ۹۷-۱۱۳.
- شیرانی، کوروش و عرب علیرضا عامری (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی دز علیا)، علوم آب و خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره‌ی ۷۲، صص ۳۳۴-۳۲۱.
- عابدینی، موسی؛ بهشتی‌جاوید، ابراهیم و محمدحسین فتحی (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آماری دومتغیره و منطق فازی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی ۳، صص ۴۹-۶۰.
- فرجی‌سبکبار، حسنعلی؛ سلمانی محمد، فریدونی؛ فاطمه؛ کریم‌زاده حسین و حسن رحیمی (۱۳۸۹)، مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله‌ی روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل (ANP): مطالعه‌ی موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)، شماره‌ی ۶۵، صص ۱۴۹-۱۲۷.
- Aksoy, B., Ercanoglu, M. (2012), **Landslide Identification and Classification by Object-based Image Analysis and Fuzzy Logic:**

- An Example from the Azdavay Region (Kastamonu, Turkey),** Computers & Geosciences, Vol. 38, PP. 92-97.
- Grabs, T., Seibert, J., Laudon, H., (2007), **Modelling Spatial Patterns of Saturated Areas: A Comparison of the Topographic Wetness Index and a Distributed Model**, Journal of Hydrology, Vol (373), No. 1. PP. 15-23.
- Lee, H. et al. (2009), **Selection of Technology Acquisition Mode Using the Analytic Network Process**, Mathematical and Computer Modeling, Vol. 49, PP. 1274-1282.
- Modelling J.N. Goetz, A. Brenning, H. Petschko, P. Leopold (2015), **Evaluating machine Learning and Statistical Prediction Techniques for Landslide Susceptibility**, Computers & Geosciences, Vol. 81, August 2015, PP. 1-11.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., (2012), **Landslide Susceptibility Mapping at Golestan Province, Iran: Acomparison between Frequency Ratio, Dempster-Shafer, and Weights-of-Evidence Models**, Journal of Asian Earth Sciences 61. PP. 221–236.
- Piacentinia, D., Troiani, F., Soldati, M., Notarnicola, C., Savelli, D., Schneiderbauer, S., Strada, C., (2012), **Statistical Analysis for Assessing Shallow-landslide Susceptibility in South Tyrol (South-Eastern Alps, Italy)**, Geomorphology, Vol (151), PP.196–206.
- Manita, T., Netra, P.B., Ranjan, K., Ryuichi, Y., (2014), **Distribution Probability of Large-scale Landslides in Central Nepal**, Geomorphology, Vol. 226, 1 December 2014, PP. 236–248.
- Poli, S., Sterlacchini, S., (2007), **Landslide Representation Strategies in Susceptibility Studies Using Weights-of-Evidence Modeling Technique**, Natural Resources Research, Vol 16, PP. 121–134.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., (2010), **Modeling Susceptibility to Landslides Using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA**, Geomorphology, 115, PP. 172–187.