



آمده از آن، روش های تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیشترین دقت را در تفکیک کلاس های خطر زمین لغزش داشته اند. مقدار شاخص جداکردن کلاس های خطر در روش تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب ۲/۶، ۱/۷ و ۱/۱۲ بوده است.

واژه های کلیدی: پارامتر دقت نتایج پیش بینی شده، زمین لغزش، شاخص زمین لغزش، مدل آماری دومتغیره و نسبت تراکمی.

ارزیابی کارایی مدل آماری دومتغیره،

در پیش بینی خطر زمین لغزش

(مطالعه موردی: حوزه سد ایلام)

یعقوب نیازی^۱، محمدرضا اختصاصی^۲، علی طالبی^۳، صالح

آرخی^۴ و محمدحسین مختاری^۵

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۱۰

چکیده

زمین لغزش از جمله بلایای طبیعی است که بیش تر در مناطق کوهستانی رخ می دهد و مورفولوژی را به طور ناگهان به هم می زند و خسارت هایی عمده به مناطق مسکونی، جاده ها، زمین های کشاورزی و غیره وارد می کند. به این دلیل، پدیده زمین لغزش همواره مورد توجه دولت ها و مراکز علمی و پژوهشی بوده و روش های گوناگونی برای مطالعه آن ها ارایه شده است تا بدین وسیله، بتوان به شناسایی و رویارویی با آن اقدام کرد. در این مطالعه، با استفاده از مدل آماری دومتغیره که خود شامل سه روش تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرهاست، نقشه ی خطر زمین لغزش در حوزه سد ایلام تهیه شده است. نتایج بدست آمده از ارزیابی مدل آماری دومتغیره، با استفاده از روش های شاخص زمین لغزش، پارامتر دقت نتایج پیش بینی شده و نسبت تراکمی نشان داده که روش نسبت تراکمی، روشی مناسب تر جهت ارزیابی کارایی مدل است بر این اساس، این روش به عنوان روش مینا جهت ارزیابی کارایی مدل شناخته شده است که بر اساس نتایج بدست

مقدمه

رخدادهای طبیعی فرایندهای پیچیده ای هستند که بر تمامی بخش های کره زمین تأثیر گذارند. در این بین، زمین لغزش^۶ به عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان که همواره در سرتاسر جهان باعث خسارات سنگین جانی و مالی می شود، دارای اهمیتی ویژه است. بر اساس مطالعات انجام شده به وسیله ی شبکه ی موضوعی ژئوتکنیکی اروپا^۷، زمین لغزش به تنهایی، ۱۷٪ از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است و میزان مرگ و میر ناشی از این پدیده، در طی سال های ۱۹۰۳ تا ۲۰۰۴ در آسیا، آمریکا، اروپا، آفریقا و اقیانوسیه به ترتیب ۲۹، ۳۹، ۳۰ و ۱ درصد می باشد [۱۱].

ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین شناسی و اقلیمی، بیش تر شرایط طبیعی برای ایجاد طیفی گسترده از زمین لغزش ها را داراست. زمین لغزش در ایران به عنوان بلای طبیعی، سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می سازد. اگر برای بلایای طبیعی دیگر احتمال وقوع هر از چندگاهی قایل شویم، پتانسیل وقوع پدیده ی زمین لغزش در کشور را باید هر لحظه در نظر گرفت. بر اساس گزارش کمیته ی بلایای طبیعی در ایران، در

۱- نویسنده ی مسئول و دانش آموخته ی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده ی

منابع طبیعی و کویرشناسی یزد niazy8127@yahoo.com

۲- دانشیار دانشکده ی منابع طبیعی و کویرشناسی یزد

۳- استادیار دانشکده ی منابع طبیعی و کویرشناسی یزد

۴- استادیار دانشکده ی کشاورزی ایلام

۵- کارشناس ارشد RS&GIS پژوهشکده ی مناطق خشک و بیابانی

۶ - Landslide

۷ - European Geotechnical Thematic Network

طی برنامه‌ی پنج ساله‌ی نخست، خسارات ناشی از بلایای طبیعی در ایران بالغ بر ۱/۶ میلیارد دلار بوده است که بخش اعظم آن به خسارات زمین‌لغزش مربوط می‌شود [۲]. نظر به تأثیرات سوئی که وقوع زمین‌لغزش‌ها بر منابع طبیعی، سکونتگاه‌های روستایی و شهری، تأسیسات و تجهیزات دارند و از سوی دیگر، باعث فرسایش حجم شایان توجهی از خاک‌های با ارزش می‌شوند، لذا شناسایی اراضی مستعد و پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش، جهت اجتناب از این‌گونه اراضی و اجرای روش‌های کنترل‌کننده، بسیار ضروری و با اهمیت است. یکی از اصلی‌ترین اقدام‌ها در این رابطه، تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. نقشه‌های یاد شده می‌توانند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان را در عرصه‌های گوناگون هم‌چون مدیریت حفاظت خاک و منابع طبیعی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و توریستی، مکان‌یابی اراضی مناسب برای توسعه‌ی شهرها و روستاها، برنامه‌ریزی‌های زیست محیطی، تعیین مسیر راه‌ها و خطوط انتقال نیرو و انرژی یاری نماید [۳]. مدل‌های گوناگونی جهت پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در نقاط گوناگون جهان مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به مدل‌های آماری آتکینسن و ماساری [۱۳]، دای و لی [۱۸] و کان و همکاران [۱۷]، مدل‌های احتمالی^۱ دژاتی و تورینی [۱۹] و لی و دان، [۲۴] و مدل‌های هوشمند نظیر منطق فازی^۲ و شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۳ ارکانگلو و گوکیگلو [۲۰]، گمز و کاواژگلو [۲۲] و لی [۲۵]، اشاره کرد. از پژوهشگران ایرانی که به گونه‌ی مستقیم و غیرمستقیم در این زمینه مطالعاتی را انجام داده‌اند و پایان‌نامه، کتاب و مقاله‌های متعددی به چاپ رسانده‌اند، می‌توان به حافظی مقدس [۵]، شریعت‌جعفری [۷]، سفیدگری [۶]، فیض‌نیا [۱۰]، کرم [۳]، احمدی [۱] و... اشاره کرد. شیرانی و همکاران [۸]، در مقاله‌ای با عنوان بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم، از دو روش آماری دومتغیره شامل تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی و دو روش آماری چندمتغیره شامل رگرسیون خطی و تحلیل ممیزی استفاده کردند. آن‌ها در این مطالعه جهت ارزیابی دقت این روش‌ها، دو روش شاخص زمین‌لغزش و پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده را بکار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که به ترتیب ابتدا روش‌های

¹- Probabilistic

²- Fuzzy Logic

³- Artificial Neural Networks

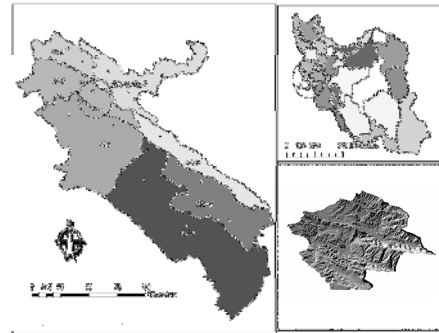
آماري دو متغیره شامل ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و سپس روش‌های آماری چندمتغیره شامل رگرسیون خطی و آنالیز ممیزی در الویت قرار دارند. جباری و میرنظری [۴]، در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی رویداد زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز پشت‌تنگ شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه از چهار روش تراکم سطح، وزن متغیرها، تحلیل سلسله مراتبی و ارزش اطلاعاتی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را تهیه کردند سپس با استفاده از شاخص زمین‌لغزش، روش تراکم سطح به عنوان مناسب‌ترین شیوه برای پیش‌بینی پراکندگی مکانی وقوع زمین‌لغزه‌ها معرفی شد، اما در زمینه‌ی بررسی روش‌هایی که جهت ارزیابی کارایی مدل‌های گوناگونی که جهت پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش بکار می‌رود، مطالعات مشخصی صورت نگرفته است و در هر مطالعه از روش خاصی جهت ارزیابی دقت نتایج بدست آمده از این مدل‌ها استفاده می‌شود. هدف این مطالعه، مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از روش‌های شاخص زمین‌لغزش، پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده و نسبت تراکمی جهت ارزیابی دقت نقشه‌های پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش بدست آمده از مدل آماری دومتغیره است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز سد ایلام در جنوب شرقی شهرستان ایلام قرار داشته و از شمال به کوه قلازنگ و از جنوب به کوه انجیر محدود می‌شود. حوزه‌ی مورد مطالعه، دارای مختصات جغرافیایی $30^{\circ} 30' 20''$ تا $33^{\circ} 39' 46''$ طول شرقی و $32^{\circ} 23' 33''$ تا $38^{\circ} 31' 33''$ عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱). مساحت و محیط حوزه به ترتیب برابر با $476/751$ کیلومتر مربع و $107/536$ کیلومتر برآورده شده است. ارتفاع بلندترین نقطه‌ی حوزه 2625 متر در شمال حوزه (کوه قلازنگ) و ارتفاع پایین‌ترین نقطه‌ی حوزه در محل خروجی 900 متر در جنوب حوزه و محل تاج سد خاکی ایلام می‌باشد. میانگین بارندگی و دمای سالیانه در حوزه‌ی سد ایلام در طول دوره‌ی آماری 30 ساله برای ایستگاه ایلام، $595/1$ میلیمتر و $16/8$ درجه‌ی سانتیگراد برآورد شده است. بررسی زمین‌شناسی حوزه‌ی سد ایلام نشان می‌دهد که سازندهای کرتاسه تا رسوبات عصر حاضر در آن برونزد دارند و از قدیم به جدید شامل، سازند

سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، پابده، آسماری، و رسوبات کواترنری می‌باشند.



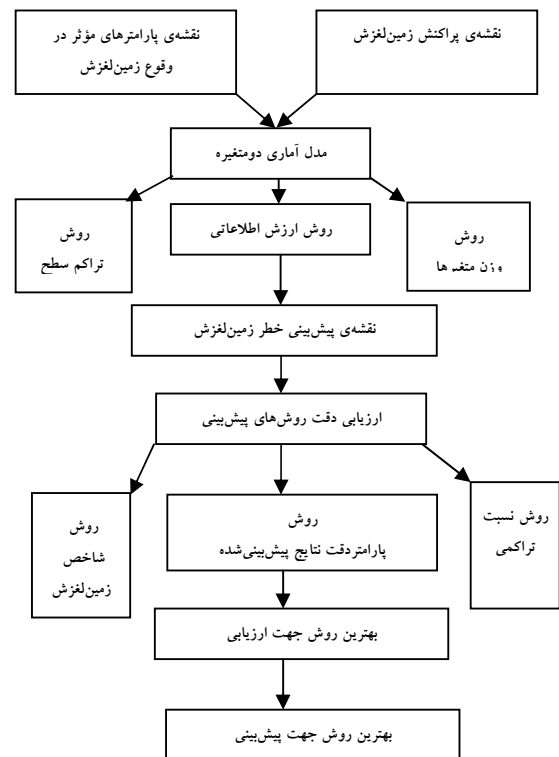
شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ ایلام، ارکواز، گولان و حسن گاوداری، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ایلام، مهران، کبیرکوه، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و تصاویر ماهواره‌ای ASTER سال ۲۰۰۷ و GPS بود.

روش پژوهش

شکل (۲) مراحل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل پژوهش

مدل آماری دومتغیره

در این روش، هم‌پوشانی نقشه‌های پارامترها و تراکم زمین‌لغزش محاسبه شده، هسته‌ی این آنالیز را تشکیل می‌دهد. اهمیت هر پارامتر یا ترکیب‌های ویژه از هر پارامتر می‌تواند به گونه‌ی منفرد و جداگانه، آنالیز و بررسی شود. با استفاده از ارزش‌های نرمال‌شده (تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس پارامتر در ارتباط با تراکم زمین‌لغزش در کل ناحیه) نقشه‌ی خطر نهایی می‌تواند به واسطه‌ی اضافه کردن وزن‌ها برای پارامترهای مجزا ایجاد شود. آنالیز آماری دومتغیره با یک متغیر وابسته (که در این مورد حرکات توده‌ای رخ داده) و یک متغیر مستقل که همان پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش هستند، سروکار دارد. اهمیت هر پارامتر جداگانه آنالیز و بررسی می‌شود. این روش‌ها بر اساس این فرض بنا شده که عامل‌های مهم که منجر به حرکات توده‌ای می‌شود، می‌تواند به واسطه‌ی محاسبه‌ی تراکم حرکات توده‌ای برای هر کلاس متغیر کمی شود. روش‌های آماری متعددی برای محاسبه‌ی ارزش‌های وزنی بکار رفته است که عبارتند از: روش تراکم سطح^۱، روش ارزش اطلاعاتی^۲ و روش وزن متغیرها^۳. این سه روش در بخش‌هایی که در ادامه آمده، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

روش تراکم سطح

روش ساده و مفیدی در آنالیزهای آماری، جهت تعیین اهمیت متغیرهای متفاوت برای وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از قطع دادن نقشه‌ها به صورت دو به دو با هم است. بمنظور ارزیابی اهمیت هر یک از نقشه‌های پارامترهای مجزا، قطع دادن بین این نقشه‌ها و نقشه‌ی وقوع زمین‌لغزش انجام می‌شود. برای هر کلاس متغیر و نوع زمین‌لغزش، می‌توان دو تیپ تراکم را محاسبه کرد [۱۶ و ۲۸]:

۱- تراکم سطح: این تراکم با تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که زمین‌لغزش در آن‌ها رخ داده است به تعداد کل پیکسل‌ها در کلاس متغیر مورد نظر بیان می‌شود.

$$D_{area} = 1000 \frac{N_{pix}(S X_i)}{N_{pix}(X_i)} \quad (1)$$

¹- Area Density

²- Information Value

³- Weights of Evidence Modelling (WOE)

که در رابطه‌ی بالا:

D_{area} ، تراکم سطح

$Npix(SX_i)$ ، تعداد پیکسل‌های با حرکات توده‌ای در داخل

کلاس متغیر

$Npix(X_i)$ ، کل تعداد پیکسل‌های داخل کلاس متغیر

۲- تراکم عددی^۱: این تراکم به صورت تعداد وقوع زمین‌لغزش

در هر کیلومتر مربع از سطح کلاس متغیر بیان می‌شود.

$$D_{number} = \frac{1 \times 10^6}{Area(X_i)} Number(SX_i) \quad (2)$$

که در آن:

D_{number} ، تراکم عددی (عدد/کیلومتر مربع).

$Area(X_i)$ ، مساحت کلاس متغیر بر حسب مترمربع.

$Number(SX_i)$ ، تعداد حرکات توده‌ای در داخل هر کلاس

متغیر.

جهت ارزیابی اثر هر متغیر، وزن هر متغیر باید مشخص گردد.

که این، از راه مقایسه‌ی تراکم محاسبه شده در کلاس متغیر با

تراکم کل ناحیه بدست می‌آید. فرمول تراکم بر اساس سطح

عبارت است از:

(۳)

$$W_{area} = 1000 \frac{Npix(SX_i)}{Npix(X_i)} - 1000 \frac{\sum Npix(SX_i)}{\sum Npix(X_i)}$$

و تراکم بر پایه‌ی تعداد در هر کیلومتر مربع عبارت است از:

(۴)

$$W_{area} = 1000 \frac{1 \times 10^6}{Area(X_i)} Number(SX_i) - \frac{1 \times 10^6}{\sum Area(X_i)} \sum Number(SX_i)$$

روش ارزش اطلاعاتی

روی هم رفته، ترکیبی از متغیرهای عددی (ارزش درجه‌ی

شیب) و متغیرهای غیر عددی (سنگ‌شناسی) در آنالیزهای آماری

اشکال دارد. این مشکل می‌تواند به وسیله‌ی تلقی کردن هر کلاس

متغیر به صورت متغیر جداگانه که می‌تواند تنها، یکی از دو

وضعیت حاضر (۱) یا غایب (۰) را داشته باشد، حل شود. این

روش می‌تواند تعیین کند که آیا کلاس متغیر حاضر است یا

غایب.

روش ارزش اطلاعاتی را می‌توان افزودن بر پیکسل، بر اساس

واحدهای اراضی نیز بکار برد. روش ارزش اطلاعاتی خطر به

وسیله‌ی یان و ین [۳۰]، توسعه یافته است و بر اساس فرمول

ساده‌ی زیر ارزش اطلاعاتی I_i را برای متغیر X_i محاسبه می‌کند:

$$I_i = \log \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S}{N}} \quad (5)$$

در رابطه‌ی بالا:

S_i ، تعداد واحدهای اراضی یا پیکسل‌هایی با حرکات توده‌ای

موجود در کلاس متغیر.

N_i ، تعداد واحدهای اراضی یا پیکسل‌های کلاس متغیر.

S ، تعداد واحدهای اراضی یا پیکسل‌های دارای حرکات توده‌ای

در کل منطقه.

N ، تعداد واحدهای اراضی یا پیکسل‌ها در کل منطقه.

روش ارزش اطلاعاتی بر اساس پیکسل بکار گرفته می‌شود و

در حقیقت خیلی مشابه روش تراکم سطح است تنها تفاوت آن

با روش تراکم سطح در لگاریتمی است که در خارج قسمت

تراکم کلاس روی نقشه‌ی تراکمی، وارد شده است از آنجایی که

در روش تراکم سطح، تفاوت در تراکم‌هایی است که استفاده

می‌شود، ارزش اطلاعاتی همیشه کوچک‌تر از ارزش‌های وزنی

است.

روش وزن متغیرها

این روش به وسیله‌ی سازمان زمین‌شناسی کانادا توسعه یافته و

جهت تولید نقشه‌ی پتانسیل مواد معدنی بکارگرفته شده است

[۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵]. سابت [۲۶]، این روش را برای آنالیز خطر

زمین‌لغزش بکار برده است. بر اساس نظر بُنهام - کارتر و

همکاران [۱۴]، نخستین مرحله‌ی تعیین و پیش‌بینی زمین‌لغزش‌ها

با تقسیم تراکم پیکسل‌هایی که زمین‌لغزش‌ها در آن رخ داده

است، به کل ناحیه بدست می‌آید.

$$P_{prior} = \frac{Npix(slide)}{Npix(total)} \quad (6)$$

¹- Number Density

در رابطه‌ی بالا:

P_{prior} : احتمال اولیه.

$Npix(slide)$: تعداد پیکسل‌هایی که زمین‌لغزش در آن‌ها رخ داده است.

$Npix(total)$: تعداد کل پیکسل‌ها در نقشه.

به دلایل ریاضی که سبب راحتی محاسبات می‌گردد، از Odds(o) استفاده می‌شود که عبارت است از احتمال وقوع یک پدیده به عدم وقوع آن که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

(۷)

$$O_{prior} = \frac{P_{prior}}{1 - P_{prior}} = \frac{Npix(slides)}{Npix(total) - Npix(slides)}$$

در نظر گرفتن ارتباط بین نقشه‌ی متغیر دوتایی (b_i) و نقشه‌ی زمین لغزش (S) به صورت ترکیبی که در ادامه آمده است، امکان‌پذیر است:

$$B_i : \frac{Npix(B_i)}{Npix(total)} \quad (۸)$$

$$\bar{B}_i : \frac{Npix(total) - Npix(B_i)}{Npix(total)} \quad (۹)$$

چهار ترکیبی که از S و B_i در نقشه امکان‌پذیر است، عبارتند از:

$$\bar{B}_i \cap \bar{S}, B_i \cap \bar{S}, \bar{B}_i \cap S, B_i \cap S \quad (۱۰)$$

احتمال شرطی از پیکسل انتخاب شده با زمین‌لغزش، طرحی محتوی سلول می‌دهد که با B_i نمایش می‌دهند:

$$P\{S/B_i\} = \frac{B_i \cap S}{B_i} \quad (۱۱)$$

و سه شرط احتمالاتی دیگر در ادامه آمده است:

$$P\{\bar{S}/B_i\} = \frac{B_i \cap \bar{S}}{B_i} \quad (۱۲)$$

$$P\{\bar{S}/\bar{B}_i\} = \frac{\bar{B}_i \cap \bar{S}}{\bar{B}_i} \quad (۱۳)$$

$$P\{S/\bar{B}_i\} = \frac{\bar{B}_i \cap S}{\bar{B}_i} \quad (۱۴)$$

بر اساس قانون بیز:

(۱۵)

$$P\{S/B_i\} = \frac{P\{B_i/S\}P\{S\}}{P\{B_i\}}, P\{S/\bar{B}_i\} = \frac{P\{\bar{B}_i/S\}P\{S\}}{P\{\bar{B}_i\}}$$

بنه‌ام - کارتر و همکاران [۱۴]، وزن‌های مثبت و منفی (W_i^+, W_i^-) را که ترکیبی از این احتمالات شرطی است، تعریف کرده‌اند:

$$W_i^+ = \log_e \frac{P\{B_i/S\}}{P\{\bar{B}_i/S\}} \quad (۱۶)$$

$$W_i^- = \log_e \frac{P\{\bar{B}_i/S\}}{P\{B_i/S\}} \quad (۱۷)$$

در روابط بالا:

B_i = فاکتور شرطی وجود پتانسیل زمین‌لغزش.

$\bar{B}_i$ = فاکتور شرطی عدم وجود پتانسیل زمین لغزش.

S = وجود زمین‌لغزش.

$\bar{S}$ = عدم وجود زمین‌لغزش.

وزن‌های مثبت و منفی را می‌توان با تعداد پیکسل‌هایی که در ادامه می‌آید نیز نوشت:

$$W_i^+ = \log_e \frac{\frac{Npix_1}{Npix_1 + Npix_2}}{\frac{Npix_3}{Npix_3 + Npix_4}} \quad (۱۸)$$

$$W_i^- = \log_e \frac{\frac{Npix_2}{Npix_2 + Npix_3}}{\frac{Npix_4}{Npix_3 + Npix_4}} \quad (۱۹)$$

در روابط بالا W^+ وزن مثبت فاکتورهای متغیر برای پدیده‌ی مورد نظر که در این‌جا زمین‌لغزش است، می‌باشد. همچنین، می‌توان وزن منفی W^- یعنی وزن مربوط به نبود فاکتور متغیر در پیش‌بینی زمین‌لغزش را نیز تعیین کرد.

وزن تمامی فاکتورهای متغیر در وقوع زمین‌لغزش از راه معادله‌های بالا محاسبه و در نهایت کلیه‌ی لایه‌ها با استفاده از معادله‌ی زیر ترکیب می‌شوند و نقشه‌ی خطر وقوع زمین‌لغزش با این روش تهیه می‌گردد:

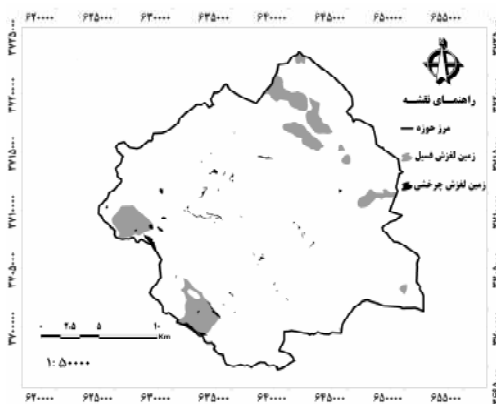
$$W_{final} = W_{plus} + W_{min total} + W_{min} \quad (۲۰)$$

دانشمندان و متخصصان علوم زمین، از نوع و تعداد عامل‌های متفاوتی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بهره‌برده‌اند، اما بررسی منابعی که تعدادی از آن‌ها را شریعت‌جعفری [۷]، فهرست می‌کند، نشان می‌دهد که برداشت ذهنی پژوهشگران از عامل‌های تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش‌ها، نوع لغزش مورد بررسی پژوهشگر و دسترسی به داده‌ها و منابع مربوط به وقوع زمین‌لغزه‌ها، مهم‌ترین عامل‌های تعیین‌کننده‌ی تعداد و نوع پارامترهای انتخاب پژوهشگر برای پهنه‌بندی لغزش‌ها می‌باشد. بر این اساس، در این مطالعه، ۱۳ پارامتر شامل سنگ‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، جهت، شاخص رطوبت توپوگرافیک، انحنا، پلان، انحنا، پروفیل، بارش، شاخص NDVI و کاربری اراضی، به عنوان پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه‌ی سد ایلام شناخته شده است که بیش‌تر این پارامترها از داده‌های سنجش از دور و مدل رقومی ارتفاع استخراج شده‌اند و جهت پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در مدل آماری دو متغیره وارد شده‌اند. هم‌چنین، جهت تهیه نقشه‌پراکنش زمین‌لغزش‌ها از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و بازدیدهای میدانی استفاده شده است (شکل ۳). روی هم رفته، ترکیبی بهینه از متغیرها مشکل است، به هر حال، انتخاب مجموعه‌ای کوچک از نقشه‌های بهم پیوسته در بیش‌تر متغیرهای مرتبط با هم صورت می‌گیرد دو روش در این متن بکار رفته است: روش نخست، انتخاب نقشه‌ها بر اساس تجارب میدانی است. در ارتباط با این‌که کدام یک از متغیرها دارای اهمیت‌اند، از روی تجارب میدانی در ارتباط با وقوع زمین‌لغزش‌ها یا حرکات توده‌ای، این متغیرها انتخاب می‌شوند. در روش دیگر که ترکیب مرحله‌ای نقشه نامیده می‌شود نقشه‌های پارامترهای ورودی متنوع و گوناگون یک به یک اضافه می‌شود پس از اضافه‌شدن هر نقشه‌ی پارامتر، امتیازات و رتبه‌های بدست آمده، به واسطه‌ی قطع دادن آن نقشه با نقشه‌ای که فعالیت زمین‌لغزش‌ها را نشان می‌دهد، تحلیل و بررسی می‌شود. درصد پیکسل‌های دارای زمین‌لغزش و نمره‌های کلی بزرگ‌تر از صفر، محاسبه می‌شود (پیکسل‌های طبقه‌بندی شده‌ی صحیح). اگر این درصد پس از اضافه‌شدن نقشه‌ی پارامتر دیگر کاهش یابد، آن نقشه رد و اگر این درصد افزایش یابد، آن پارامتر به عنوان پارامتر

مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود و جهت پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۹]. پس از تعیین وزن کلاس‌های مربوط به عامل‌های مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه‌ی مورد مطالعه در هر سه روش تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها با جمع جبری این وزن‌ها در هر یک از این روش‌ها، نقشه‌ی پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش تعیین گردید (اشکال ۴، ۵ و ۶). در این مطالعه، جهت تهیه‌ی تفکیک کلاس‌های خطر در نقشه‌های پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش از روش بهینه‌سازی ژنکز^۱ استفاده شده است. نقشه‌های پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش بر اساس این روش به پنج کلاس طبقه‌بندی شده‌اند. در این روش شکست‌های طبیعی هیستوگرام تعیین می‌گردد. بنابراین، جمع واریانس در هر کلاس کمینه است:

$$GVF = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (Z_{ij} - \bar{Z})}{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (21)$$

در این رابطه: GVF^2 ، بهترین برازش واریانس؛ j و i شاخص کلاس و داده؛ K ، تعداد کلاس‌ها؛ N ، تعداد داده؛ Z_{ij} ، ارزش استاندارد شده i داده در j کلاس؛ $\bar{Z}_j$ میانگین استاندارد شده داده در j کلاس؛ Z_i ارزش استاندارد شده i داده و $\bar{Z}$ ، میانگین استاندارد شده داده است. این روش را به راحتی می‌توان در نرم افزار ArcGIS جهت تفکیک کلاس‌های خطر زمین‌لغزش بکار گرفت.



شکل ۳- نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه‌ی سد ایلام

^۱- Jenks optimization Method

^۲-Goodness of Variance Fit

در این مطالعه، جهت ارزیابی مدل آماری دومتغیره در پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش‌های حوزی سد ایلام از سه روش شاخص زمین‌لغزش، پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی‌شده و تراکم سطح استفاده شده است که نتایج بدست آمده از آن‌ها در ادامه ارائه شده است.

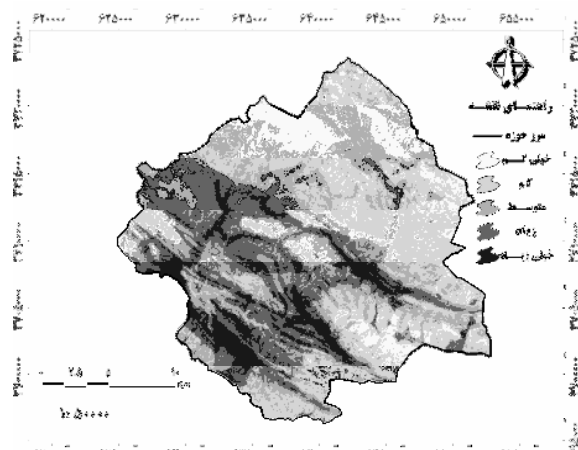
شاخص زمین‌لغزش^۱

با استفاده از نقشه‌ی پراکندگی زمین‌لغزش‌ها به ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اقدام گردید. جهت انجام این امر، نقشه‌ی یاد شده، با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سیستم اطلاعات جغرافیایی، انطباق داده شده‌اند. یکی از روش‌هایی که در بیش‌تر مطالعات انجام‌گرفته مورد استفاده قرار گرفته است، استفاده از شاخص زمین‌لغزش و پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی‌شده است. شاخص زمین‌لغزش در ارزیابی رده‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی بکار گرفته می‌شود که به صورت زیر تعریف شده است [۲۹]:

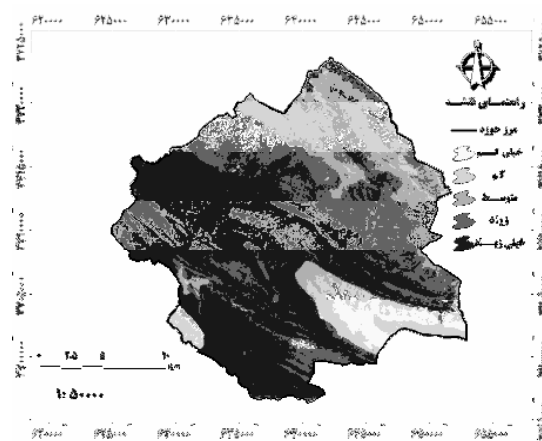
$$Li = ((Si/Ai) / \sum_1^n (Si/Ai)) \times 100 \quad (22)$$

که در این رابطه، Li عبارت است از شاخص خطر وقوع لغزش در هر پهنه‌ی خطر، Si مساحت لغزش در هر پهنه‌ی خطر، Ai مساحت هر پهنه‌ی خطر و n تعداد رده‌های خطر می‌باشد.

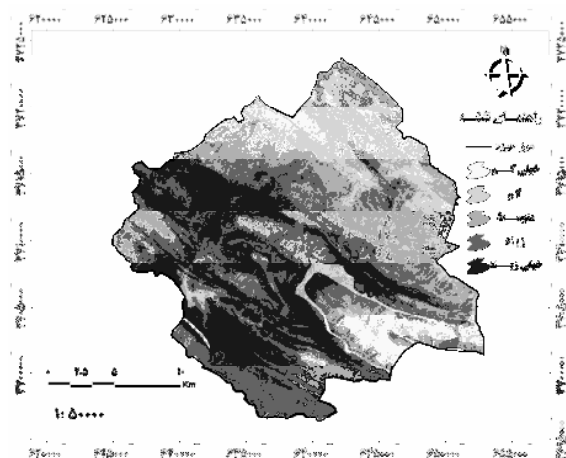
نتایج بدست آمده از ارزیابی روش‌های آماری دومتغیره با استفاده از شاخص زمین‌لغزش، در جدول (۱) ارائه شده است. همان گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، از رده‌های خطر پایین به بالا مقادیر شاخص خطر زمین‌لغزش نیز در کلیه روش‌های بکار گرفته‌شده افزایش می‌یابد. لذا، کلیه روش‌ها در طبقه‌بندی رده‌های خطر نتایج قابل قبولی را به همراه داشته‌اند. هرچند، این طبقه‌بندی به ترتیب برای روش‌های ارزش اطلاعاتی، وزن متغیرها و تراکم مناسب‌تر است، به دلیل این‌که ۹۹/۴۸ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در کلاس‌های خطر خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند در حالی‌که این مقدار در روش‌های وزن متغیرها و تراکم سطح به ترتیب ۹۵/۵۲ و ۹۳/۸۱ درصد بوده است. از سویی دیگر درصد زمین‌لغزش‌های موجود در کلاس‌های خطر خیلی کم و کم در روش‌های ارزش اطلاعاتی، وزن متغیرها و تراکم سطح به



شکل ۴- نقشه پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش با روش تراکم سطح



شکل ۵- نقشه پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش با روش ارزش اطلاعاتی



شکل ۶- نقشه‌ی پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش

WOE

^۱- Landslide Index

ترتیب، ۰، ۰/۰۲ و ۰/۱۲ درصد بوده است که این نتایج نیز بیانگر دقت بیشتر روش ارزش اطلاعاتی نسبت به دو روش وزن متغیرها و تراکم سطح است هر چند که نتایج به دست آمده از آن‌ها نیز مناسب است.

پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده^۱

بمنظور مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی شده، می‌توان پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده (P) را مورد استفاده قرار داد [۲۱ و ۲۳]. پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده از رابطه‌ی ۲۳ محاسبه می‌شود.

$$P = K_s / S \quad (23)$$

در این رابطه، K_s مساحت سطح لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا و S مساحت زمین لغزش‌ها در منطقه است. نتایج بدست آمده از ارزیابی روش‌های آماری دومتغیره با استفاده از پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده در جدول (۲) آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که دقت روش (P) برای پهنه‌های متوسط تا زیاد، برای روش‌های ارزش اطلاعاتی، وزن متغیرها و تراکم سطح به ترتیب برابر ۱، ۰/۹۹۶ و ۰/۹۶۲ می‌باشد.

نسبت تراکمی^۲

یکی از روش‌هایی دیگری که می‌تواند برای ارزیابی و مقایسه‌ی کارایی روش‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد، روش نسبت تراکمی است [۶ و ۹]. در این روش، از رابطه‌ی ۲۴ برای ارزیابی تفکیک کلاس‌های خطر استفاده می‌شود. بر این اساس، هر چه مقدار Q_s بدست آمده بیش‌تر باشد، آن روش دقتی بیش‌تر در تفکیک کلاس‌های خطر دارد و در نهایت آن روش برای منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب‌تر است.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (D_r - 1)^2 \times S \quad (24)$$

Q_s شاخص تفکیک کلاس‌های خطر؛ D_r نسبت مساحت زمین لغزش در هر کلاس خطر به مساحت کل لغزش به سطح کل منطقه؛ S ، نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه؛ N ، تعداد کلاس خطر.

شاخص بدون بعد نسبت دانسیته (D_r)، که برای ارزیابی دقت مدل در هر یک از کلاس‌های خطر ارایه شده است، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$D_r = \frac{S_i / A_i}{\sum_i^n S_i / \sum_i^n A_i} \quad (25)$$

مقادیر بدست آمده برای شاخص تفکیک کلاس‌های خطر در جدول (۳) آمده است که نشان می‌دهد مقدار شاخص تفکیک کلاس‌های خطر برای روش‌های تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها به ترتیب ۲/۶، ۱/۷ و ۱/۱۲ می‌باشد که این بیانگر دقت بیش‌تر روش تراکم سطح نسبت به دو روش دیگر است. مقادیر بدست آمده برای شاخص نسبت دانسیته نیز نمایانگر تفکیک بهتر کلاس‌های خطر در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حاصل شده از روش تراکم سطح می‌باشد. درصد هر یک از کلاس‌های خطر در سه روش تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها در شکل (۷) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از سه روشی که جهت ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش، در حوزه‌ی سد ایلام بکار رفته است، مشاهده می‌شود که در روش شاخص زمین لغزش و پارامتر دقت، روش ارزش اطلاعاتی، به عنوان بهترین روش شناخته شده است در حالی که در روش نسبت تراکمی، روش تراکم سطح به عنوان بهینه‌ترین روش شناخته شده است. به همین منظور، با بررسی نقشه‌های بدست آمده، بازدیدهای میدانی و همچنین، بررسی مطالعاتی که در حوزه‌ی مورد مطالعه انجام گرفته است، روش نسبت تراکمی به عنوان روشی دقیق‌تر جهت تعیین بهترین پیش‌بینی انجام گرفته به وسیله‌ی روش‌های آماری دومتغیره، در حوزه‌ی مورد مطالعه شناخته شد؛ به همین دلیل، نتایج بدست آمده از روش نسبت تراکمی، به عنوان نتایج مبنا مورد توجه قرار گرفت که بر اساس

^۱- Precision of the Predicted Results

^۲- Density Ratio

جدول ۱- ارزیابی روش‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش با شاخص زمین لغزش

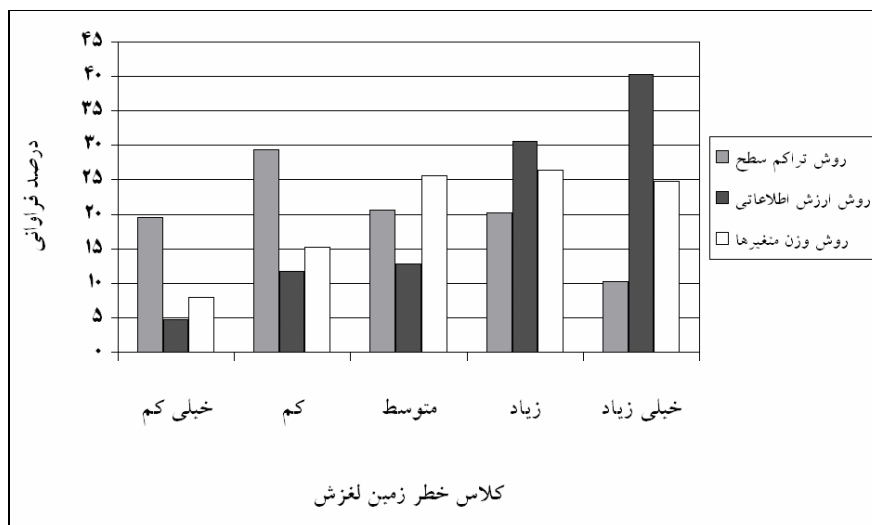
شاخص خطر زمین لغزش	$\Sigma I^N (Si/Ai)$	$Ai(ha)$	$Si(ha)$	رده‌های خطر	روش پیش‌بینی خطر زمین لغزش
۰/۰۲	۰/۰۴۶	۹۲۹۸/۹۹	۰/۰۷	خیلی کم	تراکم سطح
۱/۶۷		۱۴۰۲۵/۴۵	۱۰/۸۴	کم	
۴/۵۰		۹۸۲۶/۲۷	۲۰/۴۷	متوسط	
۱۸/۷۶		۹۶۶۳/۸۹	۸۳/۹۱	زیاد	
۷۵/۰۵		۴۸۶۰/۵۰	۱۶۸/۸۳	خیلی زیاد	
۰	۰/۰۱۵	۲۲۳۳/۹۳	۰	خیلی کم	ارزش اطلاعاتی
۰		۵۵۷۲/۹۲	۰	کم	
۰/۵۱		۶۱۱۳/۶۴	۰/۴۷	متوسط	
۵/۹۸		۱۴۵۶۵/۹۹	۱۳/۱۴	زیاد	
۹۳/۵		۱۹۱۸۸/۶۳	۲۷۰/۵۱	خیلی زیاد	
۰	۰/۰۲۴	۳۸۱۰/۲۵	۰	خیلی کم	وزن متغیرها
۰/۶۲		۷۲۸۱/۲۷	۱/۰۸	کم	
۳/۸۶		۱۲۲۱۲/۰۲	۱۱/۲۷	متوسط	
۱۰/۹۸		۱۲۵۶۴/۹۳	۳۳	زیاد	
۸۴/۵۴		۱۱۸۰۶/۶۳	۲۳۸/۷۷	خیلی زیاد	

جدول ۲- دقت ناشی از اجرای روش‌های پیش‌بینی خطر زمین لغزش

P	S(ha)	Ks(ha)	روش پیش‌بینی خطر زمین لغزش
۰/۹۶۲	۲۸۴/۱۲۴	۲۷۳/۲۱۳	تراکم سطح
۱		۲۸۴/۱۲۴	ارزش اطلاعاتی
۰/۹۹۶		۲۸۳/۰۴۲	وزن متغیرها

جدول ۳- ارزیابی روش‌های پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش با روش نسبت تراکمی

روش پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش	کلاس خطر	Si(ha)	Ai(ha)	Dr	S	Qs
تراکم سطح	خیلی کم	۰/۰۷	۹۲۹۸/۹۹	۰	۰/۲	۲/۶
	کم	۱۰/۸۴	۱۴۰۲۵/۴۵	۰/۱۲	۰/۲۹	
	متوسط	۲۰/۴۷	۹۸۲۶/۲۷	۰/۳۳	۰/۲۱	
	زیاد	۸۳/۹۱	۹۶۶۳/۸۹	۱/۳۷	۰/۲	
	خیلی زیاد	۱۶۸/۸۳	۴۸۶۰/۵	۵/۴۹	۰/۱	
ارزش اطلاعاتی	خیلی کم	۰	۲۲۳۳/۹۳	۰	۰/۰۵	۱/۱۲
	کم	۰	۵۵۷۲/۹۲	۰	۰/۰۹	
	متوسط	۰/۴۷	۶۱۱۳/۶۴	۰/۰۱	۰/۱۵	
	زیاد	۱۳/۱۴	۱۴۵۶۵/۹۹	۰/۱۴	۰/۳۱	
	خیلی زیاد	۲۷۰/۵۱	۱۹۱۸۸/۶۳	۲/۲۳	۰/۴	
وزن متغیرها	خیلی کم	۰	۳۸۱۰/۲۵	۰	۰/۰۸	۱/۷
	کم	۱/۰۸	۷۲۸۱/۲۷	۰/۰۲	۰/۱۵	
	متوسط	۱۱/۲۷	۱۲۲۱۲/۰۲	۰/۱۵	۰/۲۶	
	زیاد	۳۳	۱۲۵۶۴/۹۳	۰/۴۲	۰/۲۶	
	خیلی زیاد	۲۳۸/۷۷	۱۱۸۰۶/۶۳	۳/۲	۰/۲۵	



شکل ۷- درصد فراوانی کلاس‌های خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری دومتغیره

نتایج آن، روش‌های تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیش‌ترین دقت را در جداکردن کلاس‌های خطر زمین‌لغزش داشته‌اند. مقدار شاخص تفکیک کلاس‌های خطر در روش تراکم سطح، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب ۲/۶، ۱/۷ و ۱/۱۲ بوده است. نتایج بدست آمده هم‌چنین، نشان می‌دهد که روش ارزش اطلاعاتی در تفکیک کلاس‌هایی با خطر خیلی کم و کم، بیش‌ترین دقت را داشته چرا که ما در این دو رده، خطر، زمین‌لغزشی را مشاهده نمی‌کنیم. پس از آن، روش وزن متغیرها و تراکم سطح بیش‌ترین دقت را داشته‌اند، اما در جداکردن کلاس‌هایی با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد، روش تراکم سطح بیش‌ترین دقت را داشته زیرا بیش‌ترین سطح لغزش‌یافته در این رده‌ها قرارگرفته است و پس از آن، به ترتیب روش‌های وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی بیش‌ترین دقت را داشته‌اند. شناخته‌شدن روش تراکم سطح به عنوان مناسب‌ترین روش در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی سد ایلام، با نتایج بدست آمده به وسیله‌ی جباری و میرنظری [۴]، در حوزه‌ی آبریز پشت‌تنگ شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه و شیرانی و همکاران [۸] در پادنای علیای سمیرم انطباق دارد. باید توجه کرد که روش‌هایی که جهت مقایسه و ارزیابی نتایج ناشی از پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ای بکار می‌روند، باید مورد بررسی قرار گیرند زیرا نتایج غیرواقعی این روش‌ها ممکن است به انتخاب بهترین روش نینجامد.

منابع

- ۱- احمدی، ح.، محمدخان، ش.، فیض نیا، س. و قدوسی، ج. ۱۳۸۴. ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه‌ی موردی حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸: ۳-۱۴.
- ۲- باقریان، ر.، گودرزی، م. و غیومیان، ج. ۱۳۸۴. بررسی خسارات اقتصادی - اجتماعی زمین لغزش (مطالعه موردی: زمین لغزش‌های امامزاده علی هراز و باریکان طالقان)، نشریه‌ی علمی - پژوهشی آب و آبخیز، شماره‌ی ۲.
- ۳- کرم، ع. ا. ۱۳۸۳. کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش، مطالعه‌ی موردی؛

منطقه‌ی سرخون در استان چهارمحال بختیاری، مجله جغرافیا و توسعه، ص ۱۴۶-۱۳۱.

۴- جباری، ا. و میرنظری، ج. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی رویداد زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبریز پشت تنگ شهرستان سرپل ذهاب (استان کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۵۹، ص ۶۷-۵۵.

۵- حافظی مقدس، ن. ۱۳۷۲. پهنه بندی خطر لغزش در مناطق زلزله خیز مطالعه موردی زمین لغزه‌های تحریک شده در زلزله خرداد ۱۳۶۹ منجیل، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۲۲۹ ص.

۶- سفیدگری، ر. ۱۳۸۱. ارزیابی روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه‌ی آبخیز دماوند، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ص ۱۵۹.

۷- شریعت جعفری، م. ۱۳۷۵. زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه.

۸- شیرانی، ک.، غیومیان، ج. و مختاری، ا. ۱۳۸۴. بررسی و ارزیابی آماری دو متغیره و چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نشریه‌ی آب و آبخیز، ج ۲، شماره‌ی ۲، ص ۴۷-۳۶.

۹- شادفر، ص. ۱۳۸۴. ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین‌لغزش بمنظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوزه‌ی آبخیز چالکرو. پایان‌نامه‌ی دکتری، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران، ۲۲۵ ص.

۱۰- فیض نیا، س.، کلارستاقی، ع. ا.، احمدی، ح. و صفایی، م. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز شیرین‌رود-سد تنجن)، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره‌ی ۱، ص ۲۲-۳.

11- Koehorst, B.A.N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J.G. and Akkerman, G.J. 2005. Workpackage 6 Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, Assessing socioeconomic Impact in Europe, PP.173.

12- Agterberg, F. P., Bonham-Carter, G.F. and Wright, D.F. 1990. Statistical pattern integration for mineral exploration, in: Proceedings COGEODATA Symposium, Espo Finland, Gaal G. ed.

13 -Atkinson, P.M. and Massari, R. 1998. Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Appennines, Italy. Comput Geosci, 24(4): 373.385.

using artificial neural networks in Jabanosa River Basin, Venezuela. *Eng Geol*, 78: 11.27.

23- Jade, S. and Sarkar, S. 1993. Statistical models for Slope Instability classification. *Engineering Geology*, 36: 91-98.

24- Lee, S. and Dan, N.T. 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environ Geol*, 48: 778.787.

25- Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 50: 847-855.

26- Sabto, M. 1991. Probabilistic modeling applied to landslides in Central Colombia using GIS procedures. Unpublished Msc thesis, ITC, Enschede, Netherlands, 26 p.

27- Spiegelhalter, D.J. 1986. Uncertainty in expert systems, in artificial intelligence and statistics (Gale, W.A., ed), Addison Wesley, Reading, Mass., pp. 17-55.

28- Van Westen, C.J. 1992. Medium scale landslide hazard analysis using a PC based GIS:A case study from chinchina. In Proc., 1er Simposio Internacional sobre Sensores Remotes y Sistemas de Informacion Geografica (SIG) para el Estudio de Riesgos Naturales, Bogota, Colombia (Alzate, J.B. ed), Instituto Geografico Agustin Codazzi, Bogota, p. 20.

29- Van Westen, C.J. and Soeters, R. 1998. GISSIZ: Workshop on GIS in Landslide Mapping: the Kakani Area (Nepal) 1: Theory. Version 2, ITC, P. 156.

30- Yin, K.L. and Yan, T.Z. 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In Proc., Fifth International Symposium in Landslides (C.Bonnard ed), Lausanne, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 1269-1272.

14- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P. and Wright, D.F. 1990. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. Geological Survey of Canada Paper 8-9. Agterberg, F.P. and Bonham and Carter, G.F. (eds). Ottawa, Canada 171-183 pp.

15- Bonham-Carter, G.F. 1996. Geographic information systems for geoscientists, modelling with GIS. Pergamon Press, Canada, 398 p.

16- Brabb, E.E. 1984. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. In Proc., Fourth International Symposium on Landslides, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, vol: 1, pp. 307-324.

17- Can, T. Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. Sonmez, H. and Duman, T.Y. 2005. Susceptibility assessment of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72: 250.271.

18- Dai, F.C. and Lee, C.F. 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information systems: a case study. *Can Geotech J.*, 38: 911.923.

19- Donati, L. and Turrini, M.C. 2002. An objective method to rank the importance of the parameters predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Appennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Eng Geol*, 63: 277.289.

20- Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environ Geol*, 41: 720.730.

21- Gee, M.D. 1992. Classification of Landslides Hazard Zonation methods and a test of predictive capability. Bell, Davi, H(Ed.), 6 th International Symposium on Landslide, 48 – 56.

22- Gomez, H. and Kavzoglu, T. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility

*Abstract***Assessment of the Bivariate Statistical Model Efficiency in Prediction of Landslide Hazard (Case Study: Ilam Dam Basin)**Y. Niazi¹, M.R. Ekhtesasi², A. Talebi³, S. Arekhi⁴ and M.H. Mokhtari⁵

Landslide is one of the natural hazards that occurs in mountainous regions. Landslide changes the morphology of region and results in damages on buildings, roads, agricultural land and etc, therefore making it an important consideration in hazard mitigation planning by researchers and research institutes. In this study landslide hazard map produced using bivariate statistical model in Ilam dam basin. This model was included of three methods, density area, value information and weights of evidence modelling. The results of evaluation of this bivariate statistical model using landslide index, precision of the predicted results and density ratio show that the density ratio method was more efficient for evaluation of model than the others. Therefore this method has been recognized for assessment of the model efficiently. Based on results of density ratio method, density area, weights of evidence modelling and information value were the most accurate in separability of hazardous landslides classes. The separability index of hazardous class in density area, weights of evidence modelling and information value were 2.6, 1.7 and 1.12, respectively.

Keywords: *Landslide, Bivariate Statistical Model, Landslide Index and Precision of the Predicted Results and Density Ratio.*

¹- M.Sc. Watershed Management Graduate Student, Desert and Natural Resources College, Yazd University, Iran, niazy8127@yahoo.com

²- Associate professor, Desert and Natural Resources College, Yazd University, Iran.

³- Assistant professor, Desert and Natural Resources College, Yazd University, Iran.

⁴- Assistant professor, Agriculture College, Ilam University, Iran.

⁵- M.Sc. RS&GIS, Arid Land and Desert Research Center, Yazd University, Iran.