

ارزیابی مدل LNRF در تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از GIS در حوزه آبخیز زیارت گرگان

• کاظم صابر چناری

دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول)

• واحد بردی شیخ

دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

• حسین سلمانی

دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

Email: K.saberchenari@gmail.com

چکیده

شناسایی نواحی مستعد زمین لغزش از طریق پهنه بندی خطر با مدل‌های مناسب، یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر است. هدف از این مطالعه تهیه نقشه خطر زمین لغزش حوزه آبخیز زیارت استان گلستان با استفاده از مدل LNRF در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. در ابتدا با استفاده از گزارشات موجود و عکس‌های هوایی نقاط لغزشی موجود در حوزه ثبت و برای تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش وارد نرم افزار GIS شد. از کل نقاط لغزشی ۷۰ درصد آن (۳۵ نقطه) برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر و ۳۰ درصد آن (۱۵ نقطه) برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شد. سپس نقشه‌های ۱۳ عامل موثر بر زمین لغزش از قبیل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحنای سطح، خطوط هم باران، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از غسل، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت پذیری توپوگرافیکی، شاخص حمل رسوب، شاخص قدرت رودخانه در محیط سامانه داده‌های مکانی تهیه گردید. سپس نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل LNRF تهیه گردید. سرانجام برای ارزیابی مدل از روش سطح زیر منحنی و ROC استفاده گردید. نتایج ارزیابی منحنی ROC دقت ۸۰/۴ درصد را نشان داد. ارزیابی مدل نشان داد که LNRF دقت خیلی خوبی برای تحلیل خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، LNRF، خطر، حوزه آبخیز زیارت، استان گلستان.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 112 pp: 14-23

Assessment of LNRF model in landslide Hazard mapping using GIS at Ziarat watershed, Gorgan

By: K. Saber Chenari: PhD, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (Corresponding Author). V. Berdi Sheikh: Associate Professor, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. H. Salmani: PhD student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Recognition of regions susceptible to Landslide event is one of the basic measures taken to decrease the possible risk, and hazard management. The main purpose of this study was to produce landslide hazard mapping by LNRF model based on geographic information system (GIS) for the Ziarat watershed, Golestan province, Iran. At first, a landslide inventory map was prepared by using earlier reports and aerial photographs, and a total of 50 landslides were mapped and out of which 35 (70%) were randomly selected for building landslide Hazard model, while the remaining 15 (30%) were used for validating the model. Thirteen input data layers were employed as landslide conditioning factors in the landslide Hazard modeling. These factors are slope percent, slope aspect, altitude, plan curvature, precipitation amount, lithology, land use, distance from faults, distance from rivers, distance from roads, topographic wetness index (TWI) and stream power, CTI (Sediment Transport Index) and stream power index (SPI). Afterward, landslide susceptibility map was produced using LNRF model. For verification, receiver operating characteristics curve (ROC) and area under the curve (AUC) approaches were used. Verification results showed 82.15% accuracy. According to the results of the AUC (area under curve) evaluation, the map produced exhibits satisfactory properties.

Keywords: landslide, LNRF, Hazard, Ziarat watershed, Golestan Province.

در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام گرفته است. از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به گوپتا و جوشی (۱۹۹۰) اشاره کرد که مدل LNRF را ارائه کردند. در این روش پس از بررسی عوامل موثر در لغزش و با استفاده از روش LNRF لایه‌های ترسیم شده با نرم افزار GIS وزن دهی می‌شود و سپس با جمع تمامی لایه‌ها نقشه نهایی پهنه بندی خطر بدست می‌آید. از دیگر تحقیقات صورت گرفته درباره زمین لغزش در خارج از کشور می‌توان به تحقیقات خولار و همکاران (۲۰۰۰)، تحلیل خطر زمین لغزش ناحیه میزوراندن شمال هند، گکسنوقلو در منطقه سیواس ۲ ترکیه (۲۰۰۵)، دومان و همکاران (۲۰۰۶) حرکات توده‌ای رخ داده در طی طوفان سال ۲۰۰۴ نیوزلند، دایموند و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه وانگانویی نیوزلند، نئوهانسر و ترهورست (۲۰۰۶) در جنوب غربی آلمان، لی (۲۰۰۷) در چین، یالسین (۲۰۰۸) در ترکیه و سعادت خواه و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه هولو کالنگ ۳ مالزی اشاره نمود. اما در ایران شادفر و یمانی (۱۳۸۶) اقدام به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه جلسیان با مدل LNRF نمودند و به این نتیجه دست یافتند که این مدل کارایی بسیار خوبی برای بررسی و پهنه بندی نواحی مرطوب تا نیمه مرطوب دارد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۱) پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز النگ دره با استفاده از روش‌های AHP، LNRF و FAHP انجام دادند. پس از مقایسه سه روش LNRF

مقدمه

حرکات توده‌ای و زمین لغزش یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد. رشد روز افزون جمعیت موجب افزایش فشار بر منابع طبیعی شده که پیامد آن تشدید وقوع خطرات طبیعی مانند حرکات توده‌ای و بویژه زمین لغزش است. وقوع این پدیده باعث بروز مشکلاتی می‌شود که به هم خوردن تعادل منابع آب و خاک در طبیعت، تخریب جاده‌ها، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و افزایش رسوبزایی در طبیعت از پیامدهای ناشی از این پدیده طبیعی است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). از جمله خسارت مهم زمین لغزش می‌توان به فاجعه دفن شدن روستای فتک در خرداد ماه ۶۹ در رودبار، زمین لغزش‌های سال ۷۳ ناشی از بارندگی‌های شدید در استان گیلان با ۶ کشته و تخریب ۱۶ خانه مسکونی (مرتضوی و حق نظر، ۱۳۸۸)، اشاره نمود. لذا برنامه‌ریزی به منظور جلوگیری از این خسارت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پهنه‌بندی عبارت است از تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه بندی براساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش است (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط با استفاده از این نقشه می‌توانند مناطق حساس به زمین لغزش را شناسایی و در مورد برنامه‌های مورد نظر تصمیم گیری کنند (گرایی و کریمی، ۱۳۸۹). تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور

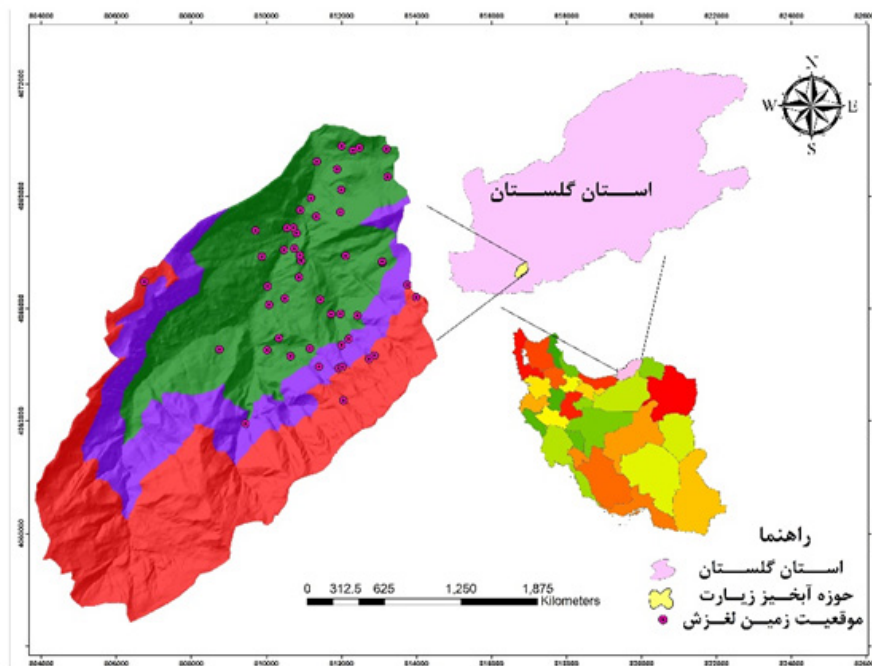
محرک بر روی زمین لغزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زیارت در جنوب شهرستان گرگان در محدوده جغرافیایی $36^{\circ}36'58''$ تا $36^{\circ}46'11''$ عرض شمالی و $54^{\circ}23'55''$ تا $54^{\circ}10'13''$ طول شرقی واقع شده است. از مغرب به حوزه آبخیز شصت کلاته، از مشرق به حوزه آبخیز چهار باغ، از جنوب به ارتفاعات لره کوه و از شمال به رودخانه قره‌سو محدود می‌گردد. مساحت کل حوزه مورد بررسی تقریباً ۷۸۰۰ هکتار است. پایین‌ترین نقطه آن ۶۴۸ متر و بالاترین نقطه آن ۲۹۱۰ متر ارتفاع دارد. متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز زیارت ۵۷۵ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه ۵/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۱) (رحیمی نسب و همکاران، ۱۳۹۱).

به عنوان مدل برتر پیشنهاد کردند. رحیمی نسب و همکاران (۱۳۹۱) ارزیابی کارایی مدل‌های آماری تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی، در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز زیارت گرگان با ۹ فاکتور: شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و بارش در محیط ArcGIS انجام دادند. نتایج نشان داد که ترکیب دو مدل در تشخیص کلاس‌های با خطر بالا نسبت به کلاس‌های با خطر پایین خوب عمل نموده‌اند. همچنین می‌توان به مطالعات احمدی و محمد خان (۱۳۸۱) در حوزه آبخیز طالقان، فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) در منطقه رودبار، پورقاسمی (۱۳۸۶) و (۲۰۱۳)، زارع و همکاران (۱۳۹۰)، شیرانی و سیف (۱۳۹۰) و جوادی و همکاران (۱۳۹۲)، در زیر حوزه پهنه کلا در جنوب شهرستان ساری اشاره کرد. هدف از این مطالعه ارزیابی مدل LNRF در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز زیارت گرگان با استفاده از ۱۳ پارامتر زمینه‌ساز و



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

کاربری، زمین‌شناسی، هم باران، شیب، جهت شیب، هیپسومتری، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص حمل رسوب، شاخص قدرت رودخانه، انحنا سطح و شاخص رطوبت توپوگرافیکی در محیط GIS تهیه و براساس مطالعات گذشته طبقه بندی شدند. در مرحله بعد نقشه هر یک از عوامل موثر در محیط GIS با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تلفیق و تعداد لغزش در هر طبقه به دست آمد. به منظور تعیین نقشه‌های شاخص توان آبراهه (SPI۴)، شاخص حمل رسوب (STI۵) و شاخص رطوبت پذیری توپوگرافیکی

روش تحقیق

با استفاده از گزارشات قبلی و عکس هوایی (34:Row, 162:Path) نقاط لغزشی حوزه ثبت و وارد نرم افزار ArcGIS گردید (شکل ۱). همچنین نقشه پستی و بلندی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه کاربری اراضی منطقه از طریق تصاویر ماهواره‌ای ETM+ مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه خطوط هم بارش منطقه نیز از میان یابی ایستگاه‌های درون و مجاور حوزه به دست آمد. نقشه‌های

کمی برآورد می‌کند (سویتز، ۱۹۸۸). سطح زیر منحنی ROC (AUC) بیانگر مقدار پیش بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است. برای رسم ROC، قبل از کلاسه بندی نقشه وزن نهایی، نقاط لغزشی را که برای ارزیابی در نظر گرفته شده بود، روی نقشه انداخته و وزنی که در هر نقطه لغزشی به دست آمده را یادداشت می‌کنیم. به همین تعداد نیز نقاطی به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب کرده و وزن آن‌ها را نیز یادداشت می‌کنیم. براساس روابط موجود برای روش ROC وزن‌های به دست آمده استاندارد شده و وزن نقاط لغزشی به عنوان وزن‌های صحیح در محور عمودی و وزن بقیه نقاط که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند را در محور افقی وارد می‌کنیم. سطح زیر منحنی که به دست می‌آید بیانگر دقت مدل است.

جدول ۱- وزن مربوط به مدل LNRF

وزن (weight)	مقدار LNRF	ردیف
۰	$LNRF < 1$	۱
۱	$1 < LNRF < 2$	۲
۲	$LNRF > 2$	۳

نتایج

نقشه پراکنش لغزش‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تأثیر گذار بر رخداد زمین لغزش تلفیق شده و تراکم لغزش‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیر گذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاسه‌ها با مدل LNRF به دست آمد. نتایج بدست آمده در جدول ۲ ارائه شده است. پس از محاسبه وزن‌ها و ترکیب آن‌ها نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با بهره گیری از مدل LNRF به دست آمد که براساس شکستگی‌های طبیعی در ۵ طبقه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد (شکل ۲).

همان‌طور که بیان شد برای ارزیابی مدل از منحنی ROC استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی تقسیم بندی ۱-۰/۹، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف، را برای آن ارائه کرده‌اند (نفیسلو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸). سطح زیر منحنی در این تحقیق با $AUC = 0/804$ مطابق شکل ۳ در طبقه خیلی خوب قرار می‌گیرد.

(TWI) از روابط ۱ و ۲ و ۳ استفاده شد (مور و همکاران، ۱۹۹۱؛ نفیسلو اوغلو و همکاران ۲۰۰۸ و لی و همکاران، ۲۰۱۲).

$$SPI = A_s \cdot \tan\beta \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

$$LS = \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن A_s : مساحت حوزه آبخیز، β : گرادیان شیب بر حسب درجه و STI بیانگر شاخص حمل رسوب و یا به عبارتی عامل LS مدل AUSLE8 است که مدل مذکور اصلاح شده معادله جهانی تلفات خاک (USLE9) می‌باشد.

وزن دهی پارامترها براساس روش LNRF

این روش به مدل گوپتا و جوشی معروف است و توسط آن دو ارائه گردید (نادری کریمی، ۱۳۹۰). به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از مطالعات میدانی و نیز بررسی متغیرهای موثر، از مدل LNRF به عنوان مهمترین ابزار مفهومی تحقیق استفاده شده است. تکنیک کار، رقومی کردن و لایه بندی کردن متغیرها در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بوده است. در این مرحله نقشه‌های عوامل لیتولوژی، شیب و نظایر آن با نقشه پراکنش زمین لغزش انطباق داده می‌شود و با استفاده از رابطه LNRF (رابطه ۴)، وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی ساخته شد. به منظور تعیین وزن هر پارامتر ابتدا تعداد زمین لغزش در هر واحد بر میانگین تعداد کل واحدهای آن نقشه تقسیم و شاخص فوق تعیین می‌گردد. و از جمع جبری نقشه‌های فوق براساس روش شکستگی‌های طبیعی ۱۰ پهنه بندی انجام پذیرفته است (زارع و همکاران، ۱۳۹۰).

$$LNRF = \frac{\text{لغزش رخ داده در یک واحد از نقشه عامل}}{\text{میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه عامل}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

با توجه به رابطه ۴، وزن هر یک از طبقات عوامل مختلف از جدول (۱) به دست می‌آید.

ارزیابی روش پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل ROC

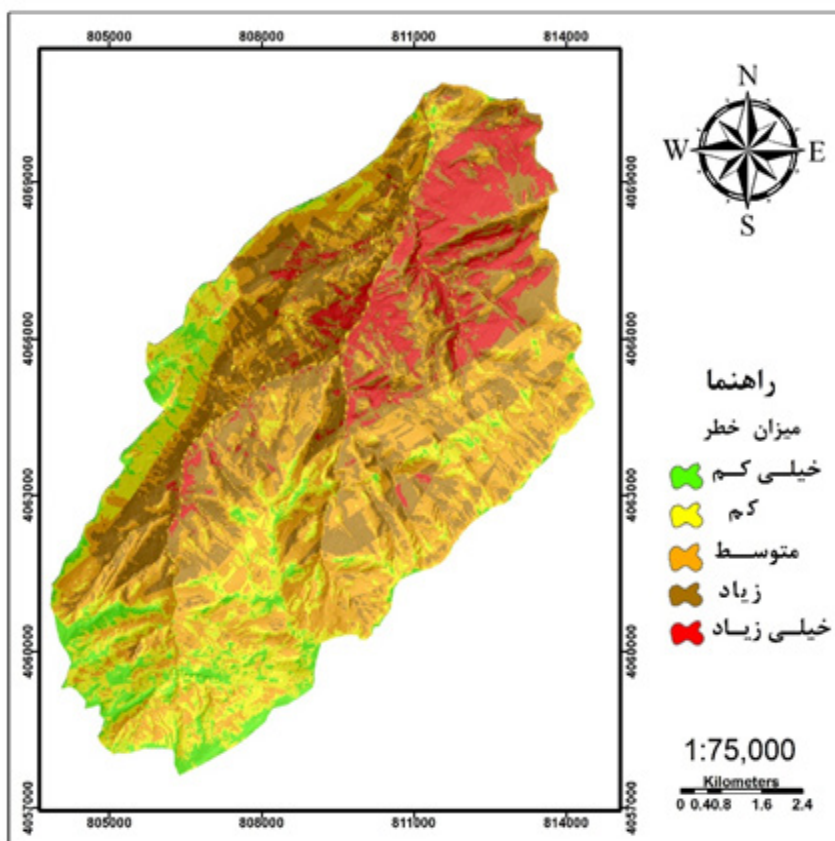
با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه بندی استفاده شده‌اند (کوماک، ۲۰۰۶)، از بین تعداد ۵۰ نقطه لغزشی، تعدادی از نقاط برای مدل سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی (با نسبت ۷۰ به ۳۰) مورد استفاده قرار گرفت (کنستانتین، ۲۰۱۰). سپس با استفاده از منحنی ROC (نفیسلو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸ و رگمی و همکاران، ۲۰۱۰) صحت نقشه پهنه بندی تهیه شده ارزیابی شد. این منحنی کارآمدترین روش‌ها در پیش بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت

جدول ۲- مقادیر حاصل از ارتباط عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها

عامل	طبقه	پیکسل‌های لغزشی		نرخ	وزن
		مقدار	درصد		
سنگ شتاسی	روته	۰	۰	۰	۰
	کرتاسه بالایی	۰	۰	۰	۰
	خوش ییلاق	۶	۱۷/۱۴	۱/۵۴	۱
	درود	۳	۸/۵۷	-۰/۷۷	۰
	شمشک	۸	۲۲/۸۶	۲/۰۶	۲
	لار	۱	۲/۸۶	-۰/۲۶	۰
	نهبشته های آپرفتی	۴	۱۱/۴۳	۱/۰۳	۱
	گایروی دگرگون شده	۰	۰	۰	۰
	میارک	۱۳	۳۷/۱۴	۳/۳۴	۲
کاربری اراضی	جنگل ضعیف	۹	۲۵/۷۱	۱/۸	۱
	جنگل متوسط	۱	۲/۸۳	-۰/۲	۰
	جنگل انبوه	۱۸	۵۱/۴۳	۳/۶	۲
	زراعت آبی	۵	۱۴/۳۹	۱	۱
	زراعت دیم	۰	۰	۰	۰
	مناطق مسکونی	۲	۵/۷۱	-۰/۴	۰
	مرتع	۰	۰	۰	۱
فاصله از رودخانه (متر)	<۱۰۰	۲۴	۶۸/۵۷	۳/۴۳	۲
	۱۰۰-۲۰۰	۹	۲۵/۷۱	۱/۲۹	۱
	۲۰۰-۳۰۰	۱	۲/۸۶	-۰/۱۴	۰
	۳۰۰-۴۰۰	۰	۰	۰	۰
	>۴۰۰	۱	۲/۸۶	-۰/۱۴	۰
درصد شیب	۰-۱۵	۰	۰	۰	۰
	۱۵-۳۰	۷	۲۰	۱	۱
	۳۰-۴۵	۷	۲۰	۱	۱
	۴۵-۶۰	۷	۲۰	۱	۱
	>۶۰	۱۴	۴۰	۲	۱
جهت شیب	صاف	۰	۰	۰	۰
	شمال	۲	۵/۷۱	-۰/۵۱	۰
	شمال شرقی	۵	۱۴/۳۹	۱/۲۹	۱
	شرقی	۵	۱۴/۳۹	۱/۲۹	۱
	جنوب شرقی	۲	۵/۷۱	-۰/۵۱	۰
	جنوب شرقی	۱	۲/۸۶	-۰/۲۶	۰
	جنوب غربی	۳	۸/۵۷	-۰/۷۷	۰
	غرب	۴	۱۱/۴۳	۱/۰۳	۱
	شمال غربی	۱۳	۳۷/۱۴	۳/۳۴	۲

ادامه جدول ۲- مقادیر حاصل از ارتباط عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها

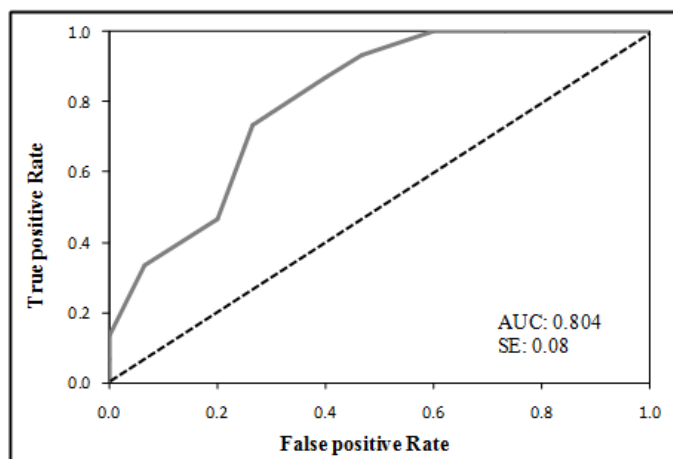
انحنا	مقعر	۲۰	۳۷/۱۴	۳/۳۴	۳
	صاف	۳	۵۷/۱۴	۱/۷۱	۱
	محدب	۱۲	۸/۵۷	۰/۲۶	۰
شاخص رطوبت پذیری	>۸	۱۴	۴۰	۱/۲	۱
	۸-۱۲	۱۹	۵۴/۲۹	۱/۶۳	۱
	>۱۲	۲	۵/۷۱	۰/۱۷	۰
ارتفاع (متر)	۶۴۸-۱۲۱۴/۲۵	۱۸	۵۱/۴۳	۲/۵۷	۳
	۱۲۱۴/۲۵-۱۶۰۲/۷۷	۷	۲۰	۱	۱
	۱۶۰۲/۷۷-۲۰۰۰/۲۵	۶	۱۷/۱۴	۰/۸۶	۰
	۲۰۰۰/۲۵-۲۳۸۸/۸۸	۴	۱۱/۴۳	۰/۵۷	۰
	۲۳۸۸/۸۸-۲۹۱۰	۰	۰	۰	۰
فاصله از گسل (متر)	<۱۰۰	۷	۲۰	۱	۱
	۱۰۰-۲۰۰	۴	۱۱/۴۳	۰/۵۷	۰
	۲۰۰-۳۰۰	۱	۲/۸۶	۰/۱۴	۰
	۳۰۰-۴۰۰	۱	۲/۸۶	۰/۱۴	۰
	>۴۰۰	۲۲	۶۲/۸۶	۳/۱۴	۳
شاخص قدرت رودخانه	۰-۳۰۰	۱	۲/۸۶	۰/۱۴	۰
	۳۰۰-۶۰۰	۶	۱۷/۱۴	۰/۸۶	۰
	۶۰۰-۹۰۰	۷	۲۰	۱	۱
	>۹۰۰	۲۱	۶۰	۳	۳
طول شیب (متر)	۰-۲۵	۱	۲/۸۶	۰/۱۱	۰
	۲۵-۵۰	۷	۲۰	۰/۸	۰
	۵۰-۷۵	۱۱	۳۱/۴۳	۱/۲۶	۱
	>۷۵	۱۶	۴۵/۷۱	۱/۸۳	۱
خطوط همباران (میلی متر)	۳۵۰>	۰	۰	۰	۰
	۳۵۰-۴۵۰	۳	۸/۵۷	۰/۴۳	۰
	۴۵۰-۵۵۰	۱۳	۳۷/۱۴	۱/۸۶	۱
	۵۵۰-۶۵۰	۱۸	۵۱/۴۳	۲/۵۷	۳
	۶۵۰-۷۵۰	۱	۲/۸۶	۰/۱۴	۰
فاصله از جاده (متر)	>۱۰۰	۱۲	۳۴/۲۹	۱/۷۱	۱
	۱۰۰-۲۰۰	۱۲	۳۴/۲۹	۰/۸۶	۰
	۲۰۰-۳۰۰	۶	۱۷/۱۴	۰/۷۱	۰
	۳۰۰-۴۰۰	۵	۱۴/۲۹	۰/۴۳	۰
	>۴۰۰	۳	۸/۵۷	۱/۲۹	۱



شکل ۲- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز زیارت با استفاده از مدل LNRF

۰/۵-۰/۶، ضعیف، را برای آن ارائه کرده‌اند (نفیس‌لو اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸). سطح زیر منحنی در این تحقیق با $AUC = 0.804$ مطابق شکل ۳ در طبقه خیلی خوب قرار می‌گیرد.

همان‌طور که بیان شد برای ارزیابی مدل از منحنی ROC استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی تقسیم بندی ۱-۰/۹، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و



شکل ۳- منحنی ROC و سطح زیر منحنی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش مدل LNRF

در ایجاد فشار هیدرواستاتیک ناپایدارتر است (پورقاسمی، ۱۳۸۶). هر چه مقدار این SPI بیشتر باشد تعداد لغزش‌های بیشتری در منطقه ایجاد می‌گردد؛ لذا در مناطق پرشیب و اطراف رودخانه‌های اصلی لغزش‌های بیشتری دیده شده است که اثر این عامل را به خوبی نشان می‌دهد. همچنین با افزایش LS رطوبت بیشتری در پایین دامنه تجمع یافته که زمینه را برای زمین لغزش فراهم می‌کند. TWI در حقیقت نشان دهنده رطوبت خاک و جریان‌های آب زیر زمینی می‌باشد. مناطقی که TWI بیشتری دارند رطوبت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند بنابراین حساسیت آن‌ها به زمین لغزش بیشتر است. منطقه مورد مطالعه در مجموع پتانسیل بالایی برای وقوع زمین لغزش دارد و این پدیده همواره ساکنان منطقه، مسافران، زمین‌های کشاورزی را تهدید می‌کند. جهت کنترل زمین لغزش قبل از هر کاری باید این پدیده را مطالعه و مناطق مستعد آن را شناسایی کنیم. لذا پهنه‌بندی زمین لغزش اولین گام در مدیریت و کاهش خسارات این پدیده است.

یاورقی‌ها

1. Landslide nominal risk factor
2. Sivas
3. Hulu Kelang
4. Stream Power Index
5. Sediment Transport Index
6. Topographic Wetness Index
7. Length and Slope
8. Adapted Universal Soil Loss Equation
9. Universal Soil Loss Equation (USLE)
10. Natural Breaks
11. Receiver Operating Characteristics (ROC)
12. Area under Curve (AUC)

منابع مورد استفاده

- ۱- پورقاسمی، ح. ر. (۱۳۸۶). ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۹۲ ص.
- ۲- جوادی، م. ر.، صدیقی، م.، و غلامی، ش. ۱۳۹۲. ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در زیرحوزه پهنه کلا. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۲۸، شماره ۱، ۱۶۲-۱۵۳ ص.
- ۳- رحیمی نسب، ع.الف.، عبقری، ه.، عرفانیان، م.، و ندیری، ع. ۱۳۹۱. بررسی و تحلیل مدل هیبرید AHP و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۵)، ۱-۱۱ ص.
- ۴- زارع، م.، احمدی، ح.، و غلامی، ش. ۱۳۹۰. پهنه بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی، مجله علوم مهندسی و آبخیزداری

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز زیارت با استفاده از مدل LNRNF توسط ۱۳ پارامتر موثر انجام گرفت. نتایج ارزیابی مدل LNRNF با استفاده از منحنی ROC نشان داد که نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حاصل از مدل دقت خیلی خوبی دارد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۱) در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز النگ‌دره و شادفر و یمانی (۱۳۸۶) در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه جلیسیان به این نتیجه رسیدند که مدل LNRNF کارایی بسیار خوبی برای بررسی و پهنه بندی خطر زمین لغزش دارد که با نتیجه تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. کاربری جنگل و زراعت دارای بیشترین حساسیت به وقوع زمین لغزش هستند که با نتایج مطالعات شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) هم‌خوانی دارد. کاربری زراعت به دلیل دخالت‌های انسان در محیط و همچنین آبیاری نقش مهمی در وقوع زمین لغزش دارد. کاربری‌های جنگل نیز با توجه به شیب زیادی که دارند در مناطقی که از روش‌های بهره برداری نامناسب استفاده می‌شود مناطق مستعد زمین لغزش را فراهم می‌سازد. از بین سازندهای زمین شناسی سازند مبارک بیشترین حساسیت به زمین لغزش را از خود نشان داد. بررسی ارتفاع از سطح دریا نشان می‌دهد که ارتفاع ۶۴۸-۱۲۱۴/۲۵ متر بیشترین میزان لغزش را دارد. افزایش ارتفاع باعث کاهش لغزش شده است که این امر می‌تواند به دلیل بارش‌های برفی در بالادست و همچنین در امان بوده از دخالت انسان باشد. این نتایج با یافته‌های محمدی (۱۳۸۶) و پورقاسمی (۱۳۸۶) هم‌خوانی دارد. مناطق با فاصله کم از آبراهه و جاده دارای بیشترین حساسیت به زمین لغزش هستند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۶)، شادفر و همکاران (۱۳۸۴)، دومن و همکاران (۲۰۰۶)، لی (۲۰۰۷) و یالسین (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. با توجه به اینکه این فاکتورها از عوامل محرک زمین لغزش محسوب می‌شوند، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد. احداث جاده معمولاً همراه با خاک‌برداری و خاکریزی بوده و تعادل طبیعی منطقه را بهم می‌زند. وجود آبراهه‌ها نیز موجب زیر شویی و خطر زمین لغزش را افزایش می‌دهند. همچنین بیشترین لغزش‌ها در محدوده بارش ۶۵۰-۵۵۰ میلی می‌توان مشاهده کرد که با نتایج مطالعات زارع و همکاران (۱۳۹۰) و گکسنوقلو (۲۰۰۵) مطابقت می‌کند. دامنه‌های شمال غربی بیشترین حساسیت به لغزش نشان می‌دهد. این موضوع ناشی از آن است که در این دامنه‌ها به دلیل زاویه و طول مدت کمتر تابش خورشیدی در نیمکره شمالی دارای بیشترین رطوبت خواهند بود؛ بنابراین شرایط مهیاتری برای رخداد زمین لغزش در این دامنه‌ها وجود خواهد داشت که با نتایج تحقیق شیرانی و سیف، (۱۳۹۰) هم‌خوانی دارد. مناطق با مقادیر بالای SPI، TWI، STI و شکل انحنای مقعر بیشترین حساسیت به زمین لغزش را از خود نشان می‌دهند. این نتایج با یافته‌های سعادت خواه و همکاران (۲۰۱۴)، پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۲ و ۲۰۱۳)، استوکینگ (۱۹۷۲) هم‌خوانی دارد. به طور کلی دامنه محدب باثبات تر می‌باشد زیرا پخش رواناب به سمت پایین دست شیب دامنه متعادل انجام می‌شود در حالی که دامنه مقعر به علت تمرکز آب در پایین‌ترین نقطه شیب و کمک

- 17-Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H., Duman, T., Can, T., 2005. The 17 March 2005Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity, *Engineering Geology* 81: 65-83.
- 18-Gupta, R. P and Joshi. B. C. 1990. Landslide Hazard Zoning using the GIS Approach a Case study from the Ramang Catchment Himalayas, *Engineering Geology*, 28, 119-131.
- 19-Komac, M.A. 2006. Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. *Geomorphology-74*: 17-28.
- 20-Khullar, V.K., Sharam, R.P., and Paramanik, K., 2000. A GIS approach in the landside zone of lawngthlia in southern Mizoran, *Landslide: proceeding of the 8th international symposium on landslides*, v.3, p.1461-1472.
- 21-Lee, S., Hwang, J. and Park, I. 2012. Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea, 100: 15-30.
- 22-Lee, S., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, v. 52, p. 615-623.
- 23-Moore, ID and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *J Soil Water Conserv* 47:423-428.
- 24-Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., and Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), *Geomorphology*, v. 94, p.401-418.
- 25-Neuhauser, B., and Terhorst, B., 2007. Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany), *Geomorphology*, v. 86, p. 12-24.
- 26-Pourghasemi, H.R., Pradhan, B and Gokceoglu, C. 2012, Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, *Nat Hazards* (2012) 63:965-996, DOI 10.1007/s11069-012-0217-2.
- 27-Pourghasemi, H.R., Jirandeh, A.G., Pradhan, B., Xu, C and Gokceoglu, C. 2013, Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province, Iran, *Journal of Earth System* ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز واز)، ۵(۱۷)، ۲۲-۱۵ ص.
- ۵- شادفر، ص.، و یمانی، م. ۱۳۸۶. پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز جلیسبان با استفاده از مدل LNRF، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۲، ۲۳-۱۱ ص.
- ۶- شریعت جعفری، ح. ۱۳۷۵. زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی). انتشارات سازه، ۱۴۸ ص.
- ۷- شیرانی، ک.، و سیف، ع. ۱۳۹۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روشهای آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون شهر)، مجله علوم زمین، سال ۲۲، شماره ۸۵، ۱۵۸-۱۴۹ ص.
- ۸- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، تشنه لب، م.، و اشقلی فراهانی، ع.، ۱۳۸۴. بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۱(۱)، ۴۳-۶۴ ص.
- ۹- قهرمانی، ن.، خاشعی، ع.، و دخیلی، ر. ۱۳۹۱. بررسی روش های تحلیل سلسله مراتبی LNRF، AHP و FAHP در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی حوزه آبخیز النگ دره)، سنجش از دور و GIS ایران، ۴(۱)، شماره اول، ۶۵-۷۹ ص.
- ۱۰- گرایبی، پ. و کریمی، ح. ۱۳۸۹. تعیین مناسب ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سد ایلام، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۶، ۱۰۱-۱۲۸ ص.
- ۱۱- محمدی، م.، ۱۳۸۶. تحلیل حرکات توده‌ای و ارائه مدل منطقه ای مناسب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۷۹ ص.
- ۱۲- مرتضوی چمچالی، م.، و حق نظر، ش.، ۱۳۸۸. بررسی خطر حرکات دامنه ای و زمین شناسی مهندسی روستای دولت آباد در شمال شرق رودبار، فصلنامه تخصصی زمین و منابع، سال ۱(۲)، ۱۰۳-۸۷ ص.
- ۱۳- نادری، ف.، و کریمی، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی دو روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا و جوشی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز تلخاب ایلام، پژوهش های آبخیزداری، شماره ۹۲، ص ۹۵-۱۰۳.
- 14-Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., and Vlaicu, M., 2010. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania), *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-010-0724-y, 10p.
- 15-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*, v.51, p.241-256.
- 16-Dymond, J.R., Ausseil, A.G., Shepherd, J.D., and Buettner, I., 2006. Validation of a region wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui Region of New Zealand. *Geomorphology*, v.74, p.70-79.

30-Stocking, M.A. 1972. Relief analysis and soil erosion in Rhodesia using multivariate techniques. In: Zetschr. f. Geomorphologie 16: 432-443.

31-Swets, J.A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems, Science, v. 240, p. 1285-1293.

32-Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. Catena 72: 1-12.

Science, 122(2), pp.349-369.

28-Regmi, N.R., Giardino J.R., and Vitek, J.D., 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA, Geomorphology, v.115, p.172-187.

29-Saadatkah, N., Kassim, A. and Min Lee, L. 2014, Qualitative and Quantitative Landslide Susceptibility Assessments in Hulu Kelang area, Malaysia, EGJE journal, Vol. 19, Bund. C, pp: 545-563.

