

پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه

حمیدرضا پورقاسمی^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*}، مجید محمدی^۱

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور
۲- دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۸/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۳

چکیده

زمین لغزش از جمله بلایای طبیعی است که همه ساله باعث کشته و مجروح شدن صدها هزار نفر و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها انسان در سراسر جهان می‌شود. هدف از تحقیق حاضر، پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و مدل احتمالاتی Weight of Evidence در بخشی از حوزه آبخیز هزار در استان مازندران است. به این منظور با استفاده از بازدیدهای صحرایی و تفسیر عکس‌های هوایی، ۷۸ نقطه لغزشی در منطقه شناسایی شد و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، شکل شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص رطوبت و شاخص حمل رسوب به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش منطقه شناسایی شدند، و نقشه‌های مربوط نیز در محیط GIS رقومی گردید. با استفاده از تئوری احتمالات، ارتباط هر یک از عوامل و نقاط لغزشی مشخص شد و نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش برای منطقه تهیه گردید. ارزیابی مدل با استفاده از یک‌سوم نقاط لغزشی، شاخص SCAI و منحنی ROC صورت گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین نقشه خطر مورد نظر و نقشه پراکنش زمین لغزش وجود دارد و دقت مدل احتمالی تهیه شده در منطقه، ۷۹/۸۷ درصد (خیلی خوب) برآورد گردید. مهم‌ترین نوآوری این تحقیق در مقایسه با دیگر پژوهش‌های انجام شده، استفاده از فاکتورهای شکل شیب، شاخص رطوبت، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و به‌کارگیری همزمان دو روش مهم ارزیابی مدل (شاخص SCAI و منحنی ROC) است.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، تئوری احتمالات، سامانه اطلاعات مکانی، شاخص SCAI، منحنی ROC.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: مازندران، نور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی. تلفن: ۰۱۲۲۶۲۵۳۱۰۱

۱- مقدمه

زمین لغزش از جمله بلایای طبیعی است که هر ساله باعث کشته و مجروح شدن صدها هزار نفر و بی خانمان شدن میلیون ها فرد در سراسر جهان می شود. خسارت وارد به مناطق مسکونی، زیربنای اقتصادی و همچنین تلفات انسانی ناشی از زمین لغزش ها در سراسر جهان هر دم در حال افزایش است. براساس مطالعات انجام شده طی سال های ۲۰۰۴-۱۹۰۳، زمین لغزش به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را در بر می گیرند که بیشترین میزان خسارت آن در اروپا - سالانه ۱۷ میلیون دلار - برآورد گردیده است [۱]. در ایران نیز مطالعات و بررسی هایی در مورد خسارات ناشی از حرکات توده ای صورت پذیرفته است. طبق گزارش جمع بندی اطلاعات و خسارات مربوط به ۴۹۰۰ زمین لغزش مندرج در بانک اطلاعاتی، تا پایان شهریورماه ۱۳۸۶، میزان خسارات ناشی از زمین لغزش ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد شده است [۲]. با توجه به تلفات جانی، خسارات مالی و تأثیرات زیست محیطی، زمین لغزش ها از مهم ترین بلایای طبیعی در جهان و به ویژه در کشور ما به شمار می آیند که هر ساله تأثیرات عمده ای در تخریب جاده های ارتباطی، تخریب مراعات، باغ ها، مناطق مسکونی، ایجاد فرسایش و تولید حجم بالای رسوب در حوزه آبخیز کشور دارند. بنابراین تعیین حساسیت به لغزش برای مناطق مستعد زمین لغزش در ایران بسیار مهم و حیاتی است. مدل Weight of Evidence به عنوان یکی از مدل های نظریه بیسی-ین^۱ شناخته شده است. یکی از مزایای استفاده از این نظریه، امکان استفاده از داده های کمی و کیفی متغیر و دیدگاه های کارشناسی^۲ در سیستم های پیچیده است که این امر، بالقوه در مدیریت منابع طبیعی ارزشمند است، به ویژه در شرایطی که در قابل اعتماد بودن و حتی در دسترس و موجود بودن داده های مربوط به منابع طبیعی، محدودیت به چشم می خورد [۳]. از این رو در پهنه بندی خطر زمین لغزش نیز مطالعات مختلفی با مدل های احتمالاتی صورت گرفته، که عبارت اند از:

لی^۳ و همکاران (۲۰۰۲) که از تئوری احتمالاتی Weight of Evidence در تحلیل حساسیت زمین لغزش استفاده کردند. در این تحقیق از ۱۳ عامل مؤثر برای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل مذکور دقت بالایی در منطقه مورد مطالعه دارد [۴]. Neühauser و Terhorst (۲۰۰۷) در جنوب شرقی آلمان به منظور ارزیابی حساسیت زمین لغزش از مدل Weight of Evidence استفاده کردند. در این تحقیق خاک، زمین شناسی، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل، درجه شیب و شکل شیب به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش انتخاب شدند و نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰ تهیه گردید. نتایج ارزیابی بیانگر دقت بالای (۹۰ درصد) مدل تهیه شده بود [۵]. Bui و همکاران (۲۰۰۸) برای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه جانچون کشور کره از تئوری احتمالاتی Weight of Evidence استفاده کردند. در این تحقیق با توجه به پنج عامل - درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی و پوشش گیاهی - نقشه خطر زمین لغزش تهیه گردید [۶].

Song و همکاران (۲۰۰۸) به منظور تعیین پتانسیل زمین لغزش در کشور ژاپن از دو مدل Weight of Evidence و رگرسیون لجستیک استفاده کردند. عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در این تحقیق عبارت اند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل شیب، کاربری اراضی و Contributing Area. نتایج ارزیابی مدل با سه رویکرد (استفاده از تمامی عوامل، حذف عوامل Contributing Area و استفاده از سه عامل کاربری اراضی، ارتفاع و شکل شیب) با به کارگیری منحنی ROC، نشان داد که رویکرد دوم و سوم مدل سازی با مدل احتمالاتی دارای دقت بیشتری بوده است [۷]. Wang و Zhu (۲۰۰۹)

1. Bayesian
2. Expert knowledge
3. Lee

زمره مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودهای استان مازندران است و از لحاظ اقتصادی به دلیل داشتن بیش از ۳۵ کارگاه پرورش ماهی و آبیاری مزارع در سطح جلگه، اهمیت زیادی دارد. تحقیق حاضر درصدد شناسایی و تعیین مناطق حساس به زمین لغزش با استفاده از روش مذکور است تا با شناسایی مناطق مذکور اقدامات اجرایی برای کنترل در منطقه، سمت و سویی منطقی بیابند و از اتلاف انرژی و سرمایه جلوگیری شود. مهم‌ترین نوآوری تحقیق حاضر در مقایسه با دیگر تحقیقات انجام شده در داخل کشور، استفاده از فاکتورهای شکل شیب، شاخص رطوبت^۱ (CTI)، شاخص توان آبراهه^۲ (SPI) و شاخص حمل رسوب^۳ (STI) است که در شکل ۱ ارائه گردیده، و ارتباط آن با زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.

به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از دو مدل ارزش اطلاعات و مدل احتمالاتی وزن واقعه (تئوری بیزی‌ین) استفاده کردند. نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عوامل فاصله از گسل، زمین‌شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که به ترتیب ۹۳/۲ و ۹۲/۲ درصد از لغزش‌ها در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد برای هر یک از مدل‌های ارزش اطلاعات و وزن واقعه قرار گرفته‌اند [۸]. هدف از تحقیق حاضر کاربرد سامانه اطلاعات مکانی و مدل احتمالاتی Weight of Evidence در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در بخشی از حوزه آبخیز هراز در استان مازندران است. حوزه آبخیز هراز به دلیل موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناختی یکی از مناطق مستعد بروز حرکات توده‌ای است. رود هراز در

جدول ۱. ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالی Weight of Evidence

کلاس	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد لغزش	درصد لغزش	W ⁺	W ⁻	C	S ² (W ⁺)	S ² (W ⁻)	S(C)	C/S(C)
۰-۵	۱۳۸۵۱	۱/۲۱	۱	۱/۸۲	۰/۴۱	۰/۰۰	۰/۴۱	۱	۰/۰۲	۱/۰۱	۰/۴۱
۶-۱۵	۶۴۲۶۸	۵/۶۲	۲	۳/۶۴	-۰/۴۳	۰/۰۲	-۰/۴۵	۰/۵	۰/۰۲	۰/۷۲	-۰/۶۳
۱۶-۳۰	۱۵۵۶۰۲	۱۳/۵۹	۱۰	۱۸/۱۸	۰/۲۹	-۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۱	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۹۹
۳۰-۵۰	۳۴۳۶۳۴	۳۰/۰۳	۱۹	۳۴/۵۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۷۳
۵۰-۷۰	۲۶۲۱۱۷	۲۲/۹۱	۱۰	۱۸/۱۸	-۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۲۹	۰/۱	۰/۰۲	۰/۳۵	-۰/۸۳
۷۰ <	۳۰۴۸۰۹	۲۶/۶۴	۱۳	۲۳/۶۴	-۰/۱۲	۰/۰۴	-۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۳۲	-۰/۵۰
شمال	۱۴۹۹۹۷	۱۳/۱۲	۵	۹/۰۹	-۰/۳۷	۰/۰۵	-۰/۴۱	۰/۲	۰/۰۲	۰/۴۷	-۰/۸۸
شمال شرقی	۱۹۵۳۰۱	۱۷/۰۷	۹	۱۶/۳۶	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۳۶	-۰/۱۴
شرق	۱۲۹۱۶۷	۱۱/۲۹	۲	۳/۶۴	-۱/۱۳	۰/۰۸	-۱/۲۲	۰/۵	۰/۰۲	۰/۷۲	-۱/۶۹
جنوب شرقی	۱۷۱۱۴۴	۱۴/۹۵	۱۶	۲۹/۰۹	۰/۶۷	-۰/۱۸	۰/۸۵	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۳۰	۲/۸۵
جنوب	۱۳۵۶۷۷	۱۱/۸۵	۳	۵/۴۶	-۰/۷۸	۰/۰۷	-۰/۸۵	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۵۹	-۱/۴۳
جنوب غربی	۱۳۱۷۱۸	۱۱/۵۱	۹	۱۶/۳۶	۰/۳۵	-۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۳۶	۱/۱۲
غرب	۷۹۹۷۹	۶/۹۹	۷	۱۲/۷۳	۰/۶۰	-۰/۰۶	۰/۶۶	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۴۰	۱/۶۴
شمال غربی	۱۵۱۲۹۸	۱۳/۲۲	۴	۷/۲۷	-۰/۶۰	۰/۰۷	-۰/۶۶	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۵۲	-۱/۲۸

جدول ۱. ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالی Weight of Evidence (ادامه)

کلاس	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد لغزش	درصد لغزش	W ⁺	W ⁻	C	S ² (W ⁺)	S ² (W ⁻)	S(C)	C/S(C)
------	---------------------------	----------------------	------------	-----------	----------------	----------------	---	----------------------------------	----------------------------------	------	--------

1. (CTI) Compound Topographic Index or Topographic Witness Index
2. (SPI) Stream Power Index
3. (STI) Sediment Transport Index

سال اول • شماره دوم • زمستان ۱۳۹۲

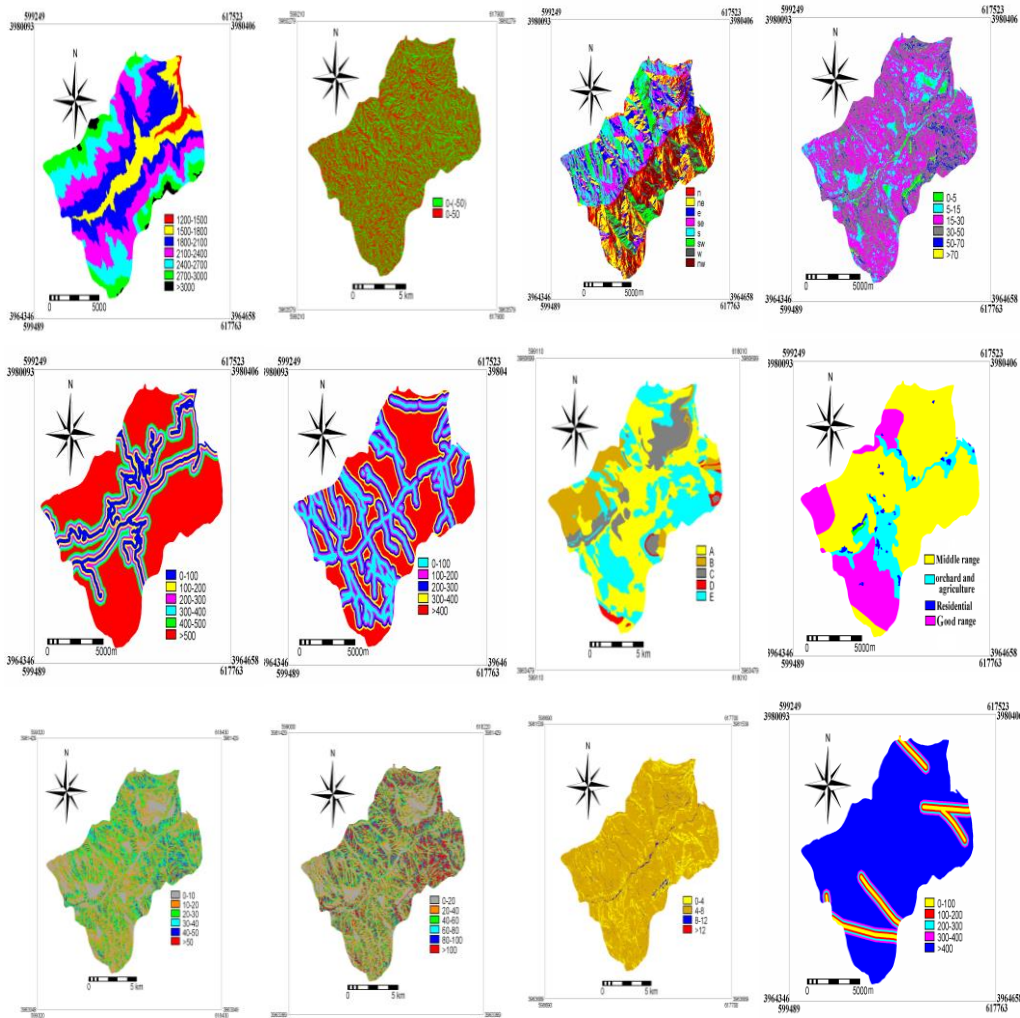
										۲/۴۹	۲۸۴۶۳	۱۲۰۰-۱۵۰۰	کلاس ارتقاعی
∞	∞	۰/۰۲	∞	۰	۰/۰۳	∞	۰	۰	۰	۱۳/۷۲	۱۵۷۰۱۸	۱۵۰۰-۱۸۰۰	
۴/۲۳	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۱/۲۰	-۰/۲۸	۰/۹۲	۳۴/۵۴	۱۹	۱۹	۲۶/۴۸	۳۰۳۰۵۸	۱۸۰۰-۲۱۰۰	
۲/۲۴	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۶۲	-۰/۲۰	۰/۴۱	۴۰	۲۲	۲۲	۲۶/۷۳	۳۰۵۸۴۴	۲۱۰۰-۲۴۰۰	کلاس ارتقاعی
-۲/۲۷	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۱۴	-۰/۹۲	۰/۱۷	-۰/۷۴	۱۲/۷۳	۷	۷	۱۸/۲۰	۲۰۸۳۲۱	۲۴۰۰-۲۷۰۰	
-۱/۳۸	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۱۷	-۰/۶۰	۰/۰۹	-۰/۵۱	۱۰/۹۱	۶	۶	۱۰/۹۶	۱۲۵۳۸۴	۲۷۰۰-۳۰۰۰	کلاس ارتقاعی
-۱/۸۸	۱/۰۱	۰/۰۲	۱	-۱/۸۹	۰/۱۰	-۱/۸۰	۱/۸۲	۱	۱	۱/۴۲	۱۶۱۹۳	۳۰۰۰<	
∞	∞	۰/۰۲	∞	۰	۰/۰۱	∞	۰	۰	۰	۴۰/۱۹	۴۵۹۹۱۴	A	لیتولوژی
۲/۱۴	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۵۸	-۰/۲۷	۰/۳۱	۵۴/۵۰	۳۰	۳۰	۱۳/۴۳	۱۵۳۶۲۱	B	
-۱/۶۷	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۳۳	-۰/۹۹	۰/۰۹	-۰/۹۰	۵/۴۵	۳	۳	۱۲/۸۸	۱۴۷۳۸۶	C	
-۱/۹۰	۰/۷۲	۰/۰۲	۰/۵	-۱/۳۷	۰/۱۰	-۱/۲۶	۳/۶۴	۲	۲	۱/۷۲	۱۹۶۵۵	D	
∞	∞	۰/۰۲	∞	۰	۰/۰۲	∞	۰	۰	۰	۳۱/۷۸	۳۶۳۷۰۵	E	
۰/۷۳	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۲۰	-۰/۰۷	۰/۱۳	۳۶/۳۶	۲۰	۲۰	۲۱/۵۵	۲۴۶۶۰۱	مرتفع خوب	کاربری اراضی
۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۱	۲۱/۸۲	۱۲	۱۲	۱۳/۳۳	۱۵۲۵۱۸	مخلوط باغ و کشاورزی	
۴/۶۸	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۱/۳۱	-۰/۳۱	۱/۰۰	۳۶/۳۶	۲۰	۲۰	۰/۳۰	۳۴۵۰	مسکونی	فاصله از گسل
۱/۸۰	۱/۰۱	۰/۰۲	۱	۱/۸۱	-۰/۰۲	۱/۸۰	۱/۸۲	۱	۱	۶۴/۸۲	۷۴۱۷۱۲	مرتفع متوسط	
-۳/۶۹	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۵	-۱/۰۲	۰/۵۳	-۰/۴۸	۴۰	۲۲	۲۲	۳/۹۳	۴۴۹۴۲	۰-۱۰۰	فاصله از آبراهه
۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۳۴	-۰/۰۲	۰/۳۳	۵/۴۵	۳	۳	۳/۷۷	۴۳۱۳۲	۱۰۰-۲۰۰	
۱/۳۴	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۶۹	-۰/۰۴	۰/۶۶	۷/۷۷	۴	۴	۳/۷۷	۴۳۱۴۴	۲۰۰-۳۰۰	
۲/۶۳	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۱۷	۱/۱۴	-۰/۰۸	۱/۰۶	۱۰/۹۱	۶	۶	۳/۶۲	۴۴۹۱۴	۳۰۰-۴۰۰	
-۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۰۲	۰/۵	-۰/۰۸	۰/۰۳	-۰/۰۸	۳/۶۴	۲	۲	۸۴/۶۱	۹۶۸۱۴۹	۴۰۰<	
-۲/۳۹	۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۰۳	-۰/۷۲	۰/۵۷	-۰/۱۵	۷۲/۷۳	۴۰	۴۰	۲۳/۰۳	۲۶۳۵۸۴	۰-۱۰۰	فاصله از آبراهه
۵/۸۶	۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۰۳	۱/۶۱	-۰/۶۵	۰/۹۶	۶۰	۳۳	۳۳	۱۷/۹۸	۲۰۵۷۵۹	۱۰۰-۲۰۰	
-۱/۶۷	۰/۴۷	۰/۰۲	۰/۲	-۰/۷۸	۰/۱۰	-۰/۶۸	۹/۰۹	۵	۵	۱۳/۹۷	۱۵۹۸۰۱	۲۰۰-۳۰۰	
-۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۱۴	-۰/۱۱	۰/۰۱	-۰/۰۹	۱۲/۷۳	۷	۷	۱۱/۴۹	۱۳۱۴۲۰	۳۰۰-۴۰۰	
-۱/۳۷	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۳۳	-۰/۸۱	۰/۰۷	-۰/۷۴	۵/۴۵	۳	۳	۳۳/۵۳	۳۸۳۷۱۷	۴۰۰<	
-۳/۰۷	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۱۴	-۱/۲۴	۰/۲۷	-۰/۹۷	۱۲/۷۳	۷	۷	۱۱/۹۰	۱۳۶۲۲۸	۰-۱۰۰	فاصله از جاده
۶/۱۱	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۱/۶۷	-۰/۴۱	۱/۲۶	۴۱/۸۲	۲۳	۲۳	۹/۶۴	۱۱۰۲۸۳	۱۰۰-۲۰۰	
-۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۰۳	۰/۲۵	-۰/۳۱	۰/۰۳	-۰/۲۸	۷/۷۷	۴	۴	۸/۱۷	۹۳۴۴۰	۲۰۰-۳۰۰	
۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۰۲	۰/۲	۰/۱۲	-۰/۰۱	۰/۱۱	۹/۱۰	۵	۵	۷/۳۳	۸۳۸۷۶	۳۰۰-۴۰۰	
-۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۳۳	-۰/۳۲	۰/۰۲	-۰/۳۰	۵/۴۵	۳	۳	۶/۵۲	۷۴۶۲۶	۴۰۰-۵۰۰	
-۰/۳۲	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۳۳	-۰/۱۹	۰/۰۱	-۰/۱۸	۵/۴۵	۳	۳	۵۶/۴۴	۶۴۵۸۲۸	۵۰۰<	شاخص رطوبت
۹/۰۳	۰/۴۷	۰/۲	۰/۰۲	۴/۲۴	-۲/۲۶	۱/۹۷	۹۰/۹۱	۵۰	۵۰	۱۲/۶۳	۱۴۴۵۲۹	۰-۴	
-۸/۳۹	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۲۵	-۴/۳۶	۱/۸۹	-۲/۴۷	۷/۲۷	۴	۴	۸۵/۹۶	۹۸۳۶۲۱	۴-۸	
۰/۲۶	۱/۰۱	۰/۰۲	۱	۰/۲۶	-۰/۰۰۴	۰/۲۶	۱/۸۲	۱	۱	۱/۴۰	۱۶۰۷۷	۸-۱۲	
∞	∞	۰/۰۲	∞	۰	۰/۰۰۰۵	∞	۰	۰	۰	۰/۰۰۵	۵۴	۱۲<	
۰/۶۹	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۲۱	-۰/۰۵	۰/۱۶	۲۷/۲۷	۱۵	۱۵	۲۳/۳۳	۲۶۶۹۶۲	۰-۲۰	شاخص توان آبراهه
-۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۰۸	-۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۰۷	۲۱/۸۲	۱۲	۱۲	۲۳/۴۲	۲۶۷۹۲۶	۲۰-۴۰	
-۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۱۳	-۰/۱۷	۰/۰۳	-۰/۱۴	۱۴/۵۵	۸	۸	۱۶/۷۲	۱۹۱۳۲۵	۴۰-۶۰	
-۰/۱۲	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۱۷	-۰/۰۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۵	۱۰/۹۱	۶	۶	۱۱/۴۲	۱۳۰۶۸۰	۶۰-۸۰	
-۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۲۵	-۰/۰۶	۰/۰۰۴	-۰/۰۵	۷/۲۷	۴	۴	۱۷/۴۴	۱۹۹۶۰۸	۱۰۰<	

جدول ۱. ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالی Weight of Evidence (ادامه)

عمل	کلاس	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد لغزش	درصد لغزش	W ⁺	W ⁻	C	S ² (W ⁺)	S ² (W ⁻)	S(C)	C/S(C)
شاخص حمل رسوب	۰-۱۰	۲۷۱۹۶۶	۲۳/۷۷	۱۶	۲۹/۰۹	۰/۲۰	-۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۹۲
	۱۰-۲۰	۳۶۲۲۵۵	۳۱/۶۶	۱۷	۳۰/۹۱	۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۹	-۰/۱۲
	۲۰-۳۰	۲۶۷۶۱۹	۲۳/۳۹	۱۲	۲۱/۸۲	۰/۰۷	۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۳۳	-۰/۲۷
	۳۰-۴۰	۱۳۹۵۸۲	۱۲/۲۰	۵	۹/۰۹	۰/۲۹	۰/۰۳	-۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۰/۴۷	-۰/۷۰
	۴۰-۵۰	۵۸۷۳۲	۵/۱۳	۴	۷/۲۷	۰/۳۵	۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۵۲	۰/۷۲
۵۰<	۴۴۱۲۷	۳/۸۵	۱	۱/۸۲	۰/۷۵	۰/۰۲	-۰/۷۷	۱	۱	۰/۰۲	۰/۷۷	

مقعر	۵۵۳۲۲۷	۴۸/۳۵	۲۱	۳۸/۱۸	-۰/۲۴	۰/۱۸	-۰/۴۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۸	-۱/۵۰
محدب	۵۹۱۰۵۴	۵۱/۶۵	۳۵	۶۱/۸۲	۰/۱۸	-۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۲۸	۱/۵۰

P_d و TR_{el} ، J_s ، J_d ، J_1 ، K_t ، K_2 ؛ E ؛ PE_f و PE_z ؛ D ؛ E_k^{BY} و Q_k^{IV} ؛ C ؛ Q^b و Q^{lu} ، Q^{ta} ، Q^{ag} ؛ B ؛ Q_1^t و Q_2^t ، Q^{SC} ؛ A



شکل ۱. به ترتیب از راست به چپ نقشه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص رطوبتی، توان آبراهه و حمل رسوب

عوامل یاد شده، به همراه دیگر عوامل در پهنه‌بندی

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد که خود بخشی از زیرحوزه رودخانه هراز است. مقطع انتخابی، بخشی از مسیر جاده ارتباطی بین شهرهای آمل و تهران به

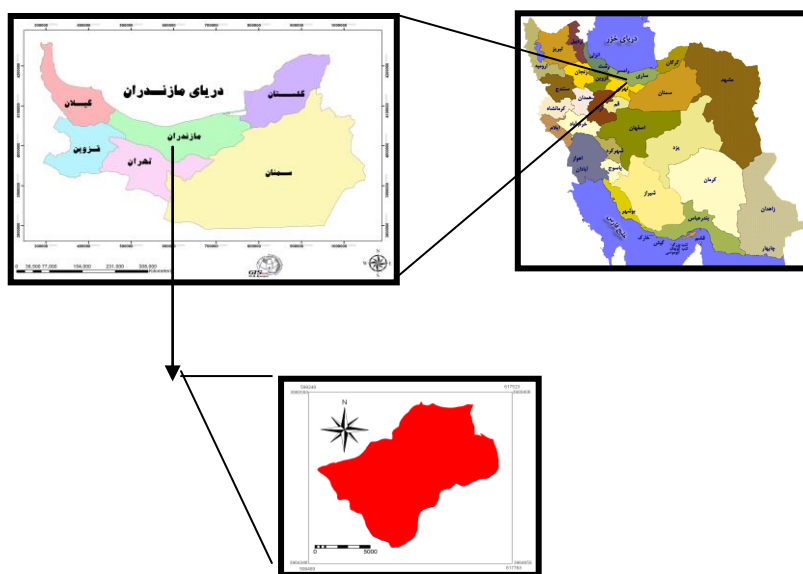
حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به کارگیری شاخص‌های ارزیابی SCAI و منحنی ROC نخستین بار است که در ایران صورت می‌پذیرد و دقت مدل مذکور به صورت کیفی - و به ویژه کمی - بیان می‌گردد. در مقایسه با تحقیقات انجام شده در خارج از کشور نیز عوامل بیشتری در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش به کار رفته و از هر دو شاخص ارزیابی

مساحت ۱۱۴ کیلومترمربع است. این منطقه در دو شیت ۱:۱۵۰۰۰۰ به نام‌های سنگلده و رینه قرار می‌گیرد، که بین طول‌های جغرافیایی $52^{\circ}06'38''$ تا $52^{\circ}17'24''$ شرقی و عرض‌های $35^{\circ}49'39''$ تا $35^{\circ}57'11''$ شمالی قرار دارد. ارتفاع حداکثر در منطقه ۳۲۹۰ متر و حداقل ۱۲۰۰ متر است (شکل ۲).

۲-۲- روش تحقیق

به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و مدل احتمالاتی Weight of Evidence، ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرایی، ۷۸ نقطه لغزشی در منطقه شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه شناسایی و نقشه‌های

مربوط به آن به ترتیب از راست به چپ (نقشه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص رطوبت، شاخص توان آبراهه و شاخص حمل رسوب) در محیط GIS رقومی، کلاسه‌بندی (شکل ۱) و با نقشه پراکنش زمین‌لغزش تلفیق گردیدند. به منظور تعیین نقشه‌های شاخص رطوبت (CTI)، شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص حمل رسوب (STI) از روابط (۱) تا (۳) استفاده شد [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]. آن‌گاه بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته (قضیه بیز) و روابط (۴) و (۵) وزن هر عامل مربوط به آن تعیین گردید.



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه

شیب برحسب درجه و STI توان حمل آبراهه و یا به عبارتی عامل LS^1 مدل $AUSLE^2$ را مشخص می‌سازد، و مدل مذکور اصلاح شده معادله جهانی تلفات خاک (USEL³) است.

$$w_i^+ = \log_e [P(B_i|S) / P(B_i|\bar{S})] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$CTI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$SPI = A_s \cdot \tan \beta \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$STI = \left(\frac{A_s}{22/13} \right)^{0.6} \times \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1/3} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن A_s : مساحت حوزه آبخیز، β : گرادیان

C: تفاضل وزن‌های مثبت (W^+) و منفی (W^-)؛ و S_c : انحراف استاندارد، که جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است.

۲-۳- ارزیابی مدل

در روش Weight of Evidence برای وزن‌دهی به لایه‌های مختلف اطلاعاتی از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه استفاده شد. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی براساس روابط مدل، نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش تهیه شد و براساس شکستگی‌های طبیعی^۴ به چهار کلاس طبقه‌بندی گردید. بدین ترتیب، نمی‌توان برای ارزیابی نقشه مورد نظر، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوزه استفاده کرد [۱۸]. به‌منظور حل این مشکل تعدادی از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به ترتیب ۲/۳ و ۱/۳) مورد استفاده قرار گرفت [۱۹، ۲۰]؛ و آن‌گاه با استفاده از شاخص SCAI^۵ [۱۴]، و منحنی ROC^۶ [۲۱] صحت نقشه تهیه شده تأیید گردید.

۳- نتایج

نتایج حاصل از ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی Weight of Evidence در جدول ۲ ارائه شده‌اند. دقت در جدول ۲ نشان می‌دهد که کلاس شیب ۳۰-۱۶ درجه، جهت جنوب شرقی و غرب، کلاس ارتفاعی ۱۸۰۰-۱۵۰۰، لیتولوژی A (Q_1^t ، Q_2^t ، Q^{sc})، کاربری اراضی مخلوط باغ و کشاورزی، فاصله ۳۰۰-۲۰۰ متری از گسل، فاصله کمتر از ۱۰۰ متری از آبراهه و جاده، شاخص رطوبتی ۴-۰، شاخص توان آبراهه ۲۰-۰، شاخص حمل رسوب ۱۰-۰ و شکل شیب محدب (۵۰-۰) به ترتیب بیشترین وزن‌ها (۰/۹۹، ۰/۸۵، ۰/۲۳، ۰/۴، ۰/۴۸، ۰/۶۳،

$$w_i^- = \log_e [P(\bar{B}_i | S) / P(\bar{B}_i | \bar{S})] \quad (۵)$$

به منظور درک هر چه بهتر روابط و سهولت کار، به‌ویژه در محیط GIS، مدل براساس جدول ۲ و به صورت رابطه‌های (۶) و (۷) و (۸) ارائه می‌گردد و در نهایت وزن نهایی برای هر عامل به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت [۱۷].

جدول ۲. چهار حالت پتانسیل ایجاد زمین‌لغزش [۳]

عوامل ایجاد زمین لغزش		
زمین لغزش	حضور	عدم حضور
حضور	N_{pix1}	N_{pix2}
عدم حضور	N_{pix3}	N_{pix4}

رابطه (۶)

$$W_i^+ = \log_e \left[\left(\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}} \right) / \left(\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}} \right) \right]$$

رابطه (۷)

$$W_i^- = \log_e \left[\left(\frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}} \right) / \left(\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}} \right) \right]$$

که در آن:

N_{pix1} : تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس،
 N_{pix2} : (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) - (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)،
 N_{pix3} : (تعداد پیکسل‌های یک کلاس) - (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)،
 N_{pix4} : (تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه) - (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی یک نقشه) - (تعداد پیکسل‌های یک کلاس) + (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس).

$$W_{final} = C / S_c \quad (۸)$$

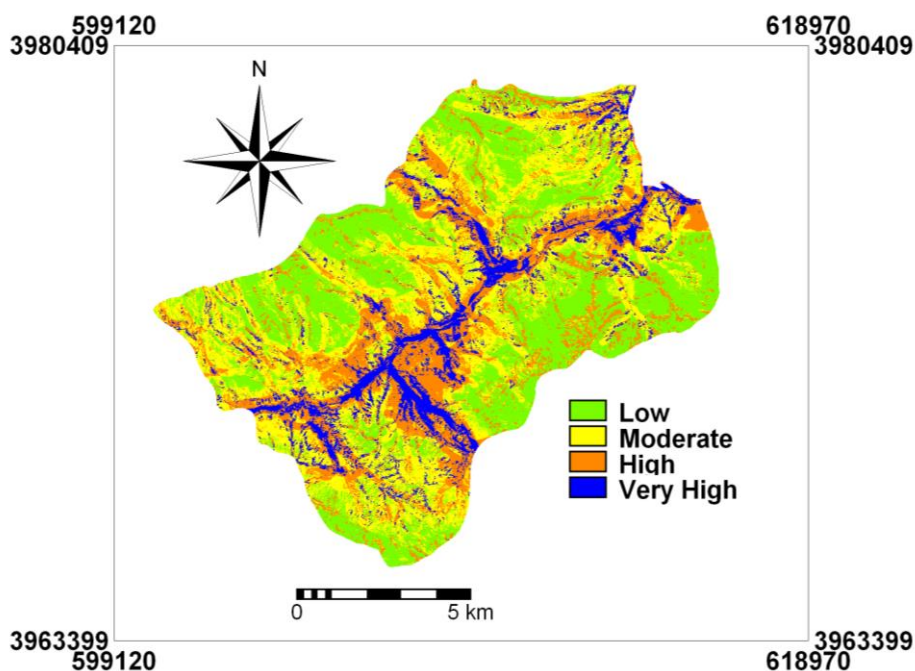
که در آن، W_{final} : وزن نهایی استاندارد شده؛

4. Natural Breaks
 5. Seed Cell Area Index
 6. Relative Operating Characteristics Curve

1. Length and Slope
 2. Adapted Universal Soil Loss Equation
 3. Universal Soil Loss Equation

ارائه می‌کند و بیانگر صحت یا سقم نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با توجه به مقدار SCAI است (منظور از صحت یعنی کاهش مقدار SCAI از کلاس خطر کم به سمت کلاس خطر زیاد است). دقت در جدول ۳ نشان می‌دهد که با پیش رفتن هر چه بیشتر از کلاس خطر کم به سمت کلاس خطر خیلی زیاد، مقدار SCAI کاهش می‌یابد که با دیدگاه‌های [۲۳، ۲۲، ۱۴] مبنی بر کاهش مقدار SCAI و به‌ویژه در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد کاملاً مطابقت دارد و نشان‌دهنده همبستگی بالای نقشه حساسیت تهیه شده با نقاط لغزشی موجود و بازدیدهای صحرایی منطقه مورد مطالعه است.

۹/۰۳، ۰/۶۹، ۰/۹۲ و ۱/۵۰) را گرفته‌اند و بنابراین بیشترین حساسیت را در برابر لغزش در منطقه مورد مطالعه دارند. نتایج پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل Weight of Evidence (شکل ۳) نشان می‌دهند که به ترتیب ۳۲/۲۹، ۳۲/۰۹، ۲۴/۶۱ و ۱۱/۰۱ درصد از منطقه مورد مطالعه در کلاس خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. نتایج ارزیابی و کالیبره کردن مدل با استفاده از شاخص SCAI در جدول ۳ نشان داده شده است. شاخص SCAI در حقیقت نسبت درصد مساحت هر یک از کلاس‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده (۲۳ نقطه لغزشی) در هر کلاس است. روش مذکور دقت مدل را به صورت کیفی



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل Weight of Evidence

هر مقدار احتمالی از برش‌هاست.^۲ سطح زیرمنحنی ROC (AUC)^۳، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیرمنحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰/۵-۱ است.

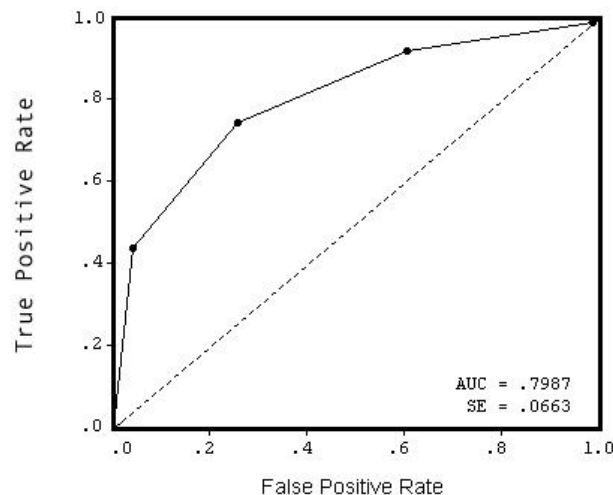
به‌علاوه، با استفاده از منحنی ROC میزان دقت مدل به صورت کمی نیز برآورد گردید. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست [۲۴]. در حقیقت منحنی ROC نمایشی گرافیکی از موازنه^۱ بین نرخ خطای منفی و مثبت برای

خوب؛ ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۶-۰/۵، ضعیف) [۲۱].
براساس نتایج منحنی ROC، مقدار سطح زیرمنحنی منطقه مورد مطالعه (۰/۷۹۸۷ یا ۷۹/۸۷ درصد) با انحراف استاندارد ۰/۰۶۶۳ برآورد گردیده است. شکل ۴ نشان‌دهنده ارزیابی خیلی خوب مدل احتمالی Weight of Evidence برای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش است.

چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند، مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد، بهترین دقت را از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده نشان می‌دهد. همبستگی کیفی - کمی سطح زیرمنحنی و ارزیابی تخمین بدین صورت است:
(۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸،

جدول ۳. نتایج ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص SCAI

SCAI	درصد Seed	درصد Area	کلاس خطر
۳/۷۱	۸/۷	۳۲/۲۹	کم
۱/۸۵	۱۷/۳۹	۳۲/۰۹	متوسط
۰/۸۱	۳۰/۴۳	۲۴/۶۱	زیاد
۰/۲۵	۴۳/۴۸	۱۱/۰۱	خیلی زیاد



شکل ۴. منحنی ROC و سطح زیرمنحنی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش

1. Trade off
2. Cut off
3. Area Under Curve

۴- نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و مدل احتمالی Weight of Evidence انجام شد. با توجه به نتایج به دست آمده از ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط لغزشی شناسایی شده (نقشه پراکنش زمین لغزش) می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که کلاس شیب ۳۰-۱۶ درجه، جهت جنوب شرقی و غرب، کلاس ارتفاعی ۱۸۰۰-۱۵۰۰، لیتولوژی A (Q_1^t و Q_2^t ، Q^{sc})، کاربری اراضی مخلوط باغ و کشاورزی، فاصله ۲۰۰-۳۰۰ متری از گسل، فاصله کمتر از ۱۰۰ متری از آبراهه و جاده، شاخص رطوبتی ۴-۰، شاخص توان آبراهه ۲۰-۰، شاخص حمل رسوب ۱۰-۰ و شکل شیب محدب (۵۰-۰) به ترتیب بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص می‌دهند و بنابراین بیشترین حساسیت را به لغزش در منطقه مورد مطالعه دارند. براساس نتایج ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش می‌توان بیان کرد که همبستگی بالایی بین نقشه حساسیت تهیه شده با نقاط لغزشی موجود و بازدیدهای صحرائی منطقه مورد مطالعه وجود دارد و می‌توان آن را برای هر گونه اقدامات مدیریتی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت.

۵- منابع

- [4] Lee, S., Choi, J. and Min, K., Retrieved from www.adpc.net/casita/case-studieo 2002. Landslide Susceptibility Analysis and Verification Using the Bayesian Probability Model. *Environmental Geology*, 43, 120-131.
- [5] Neuhäuser, B. and Terhorst, B., 2007. Landslide Susceptibility Assessment using "Weights-of-evidence" Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany). *Geomorphology*, 86, 12-24.
- [6] Bui, H.B., Nguyen, Q. and Nguyen, V.T., 2008. GIS-based Weight of Evidence Modeling for Landslide Susceptibility Mapping at Jaechon Area, Korea. In: *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*.
- [7] Song, R.H., Hiromu, D., Kazutoki, A., Usio, K. and Sumio, M., 2008. Modeling the Potential Distribution of Shallow-seated Landslides Using the Weights of Evidence Method and a Logistic Regression Model: A Case Study of the Sabae Area, Japan. *International Journal of Sediment Research*, 23, 106-118.
- [8] Zhu, C. and Wang, X., 2009. Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison of Information and Weights-of Evidence Methods in Three Gorges Area. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, IEEE, DOI 10.1109/ESIAT.2009.187, 342-346.
- [9] Moore, I.D., Gessler, P.E., Neslesn, G.A. and Peterson, G.A., 1993. Soil Attribute Prediction using Terrain Analysis. *Soil Science Society of American Journal*, 57(2), 443-452.
- [10] Yesilnacar, E. and Hunter, G.J., 2004. Application of Neural Networks for Landslide Susceptibility Mapping in Turkey. In: *J.P. van Leeuwen and H.J.P. Timmermans*, eds., *Recent Advances in Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, 3-18.
- [1] Koehorst, B.A.N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J.G. and Akkerman, G.J., 2005. Work Package 6, Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters. *Assessing socio-economic Impact in Europe*, p.173.
- [2] Landslide Working Party, 2007. *Iranian Landslides List, Forest, Rangeland and Watershed Association*, p.60.
- [3] Shahabi, M. and Sadoddin, A., 2009. Bayesian Decision Network Approach for Predicting Impacts of Drought Management Actions in Dry Land Wheat Areas of Golestan Province. In: *5Th National Conference of watershed management, Iran*, 3140-3149.

- [11] Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y. and Can, T., 2005. The March 17, 2005 Kuzulu Landslide (Sivas, Turkey) and Landslide Susceptibility Map of Its Near Vicinity. *Eng Geo*, 181(1):65–83.
- [12] Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C. and Sonmez, H., 2008. An Assessment on the Use of Logistic Regression and Artificial Neural Networks with Different Sampling Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Engineering Geology*, 97, 171–191.
- [13] Yilmaz, I., 2009. Landslide Susceptibility Mapping using Frequency Ratio, Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study from Kat Landslides (Tokat-Turkey). *Comp Geosc*, 35 (6), 1125-1138.
- [14] Akgun, A. and Needet, T., 2010. Landslide Susceptibility Mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its Vicinity by Multi Criteria Decision Analysis. *Environ Earth Science*, 61, 595–611.
- [15] Poudyal, C.P., Chang, C., Oh, H.J. and Lee, S., 2010. Landslide Susceptibility Maps Comparing Frequency Ratio and Artificial Neural Networks: A case Study from the Nepal Himalaya. *Environ Earth Sci*, 61, 1049–1064.
- [16] 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*, 115, 172–187.
- [17] Van Western, C.J., 2002. *Use of Weights of Evidence Modeling for Landslide Susceptibility Mapping*, [lecture notes], Retrieved from www.adpc.net/casita/case-studies p. 21.
- [18] Remendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A. and Chung, C., 2003. Validation of Landslide Susceptibility Maps, Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain, *Natural Hazard*, 437-449.
- [19] Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Mohammadi, M. and MahdaviFar, M.R., 2009. Landslide Hazard Susceptibility Mapping and its Evaluation Using the Fuzzy Operators. *Journal Science and Technology Agriculture and Natural Resources*, 12(46A), 375-390.
- [20] Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R. Fatemi Aghda, S.M. MahdaviFar, M.R. and Mohammadi, M., 2009. Landslide Hazard Assessment Using Fuzzy Multi Criteria Decision- Making Method. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 3(8), 51-63.
- [21] Yesilnacar, E.K., 2005. *The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey*. Ph.D. Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, p. 423.
- [22] Suzen, M.L. and Doyuran, V., 2004. A Comparison of the GIS based Landslide Susceptibility Assessment Method: Multivariate Versus Bivariate. *Environmental Geology*, 71, 303-321.
- [23] Kincal, C., Akgun, A. and Koca, M.Y., 2009. Landslide Susceptibility Assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) City Center and Its Near Vicinity by the Logistic Regression Method. *Environmental Earth Science*, Doi: 10.1007/s12665-009-0070-0.
- [24] Swets, J.A., 1988. Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, 240, 1285-1293.



Landslide Susceptibility Zoning, Using Weight of Evidence Probabilistic Model

Pourghasemi H.R.¹, Moradi H.R.^{*2}, Mohammadi M.¹

1- Ph.D. Candidate, Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Mazandaran

2- Associate Prof., Dep. of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University

Abstract

Landslide is among the natural disasters which cause many damages such as killing and wounding many peoples and lead to homelessness millions of households every year all over the world. The main objective of this research is making landslides susceptibility zoning, using Geospatial Information System (GIS) and probability model "weight of evidence" in limited areas of Haraz watershed located in Mazandaran province. Due to the mentioned objective, by using the field trip and aerial photographs interpretation, 78 landslide points were found and mapping of these landslides were prepared. The data informations about layers of slope, aspect, altitude, slope curvature, lithology, landuse, distance of river, distance of road, distance of fault, index of stream power, wetness index and sediment transport index were considered as effective factors on landslide events; and then theirs maps were digitized in GIS field. By using the laws of probability, relations among factors and landslides were considered and mapping of landslide sensitivity areas in region was prepared. Model assessment was carried out by one third of landslide points, SCAI index and ROC curve. The results showed a high correlation between dangerous map and landslide distribution. The probability model precision was estimated as very well (79.87 %) in study area. The most important innovation of this research, comparing to other researches conducted, is using the factors such as slope curvature, index of stream power, wetness index and sediment transport index, as well as simultaneous employing of two important methods for evaluating the model (SCAI index and ROC curve).

Keywords: Landslide, Probability Theory, GIS, SCAI Index, ROC Curve.

* Correspondence Address: College of natural resources and marine science, Tarbiat Modares University (T.M.U), Noor, Mazandaran .Tel: 01226253101
Email: Morady5hr@yahoo.com