

مقایسه کارایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در استان

سیستان و بلوچستان

عبدالرضا پرتابیان

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

صمد فتوحی

گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

حامد ریگی

کارشناس اداره کل راه و شهرسازی استان سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۹

Partabian_reza@science.usb.ac.ir

چکیده

زمین لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که هر ساله باعث خسارات جانی و مالی فراوانی در سراسر جهان می‌گردد. پهنه‌بندی زمین لغزش می‌تواند به شناخت مناطق خطر کمک کرده و در برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه کارایی دو مدل ارزش اطلاعات و تراکم سطح جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان سیستان و بلوچستان مورد آزمایش قرار گرفته است. بدین منظور در ابتدا نقشه زمین لغزش‌های روی داده تهیه شد سپس نقشه‌های مربوط به ده عامل‌های مؤثر در وقوع لغزش تهیه و طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد با استفاده از مدل‌های تراکم سطح و ارزش اطلاعات وزن طبقه‌های هر معیار محاسبه گردید. سپس نقشه‌های خطر زمین لغزش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. این نقشه‌ها عمدتاً مناطق مرتفع با لیتولوژی فیلیشی و مناطقی که در امتداد گسل‌های اصلی قرار دارند را مستعد زمین لغزش و مناطق پست را بدون استعداد نشان می‌دهند. به منظور مقایسه روش‌ها نسبت به یکدیگر و تعیین کارآمدی آن‌ها شاخص‌های مجموع کیفیت (QS) و دقت (P) مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار بالاتر این شاخص‌ها برای مدل ارزش اطلاعات کارایی بیشتر آن را نسبت به مدل تراکم سطح جهت پهنه‌بندی زمین لغزش نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش ارزش اطلاعات، روش تراکم سطح، استان سیستان و بلوچستان

مقدمه

استفاده از روش‌های آماری برای پهنه‌بندی پدیده‌های زمین‌شناسی مانند فروچاله‌ها (کریمی و دیگران، ۱۳۹۱) و زمین لغزش‌ها (Pourghasemi et al., 2012d) به عنوان روشی مناسب به کار گرفته می‌شود. تا به امروز مطالعات علمی متعددی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ایران و دیگر نقاط جهان با این روش گزارش شده است به طور مثال به مواردی مانند (شریعت جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷؛ مصفایی و دیگران، ۱۳۸۸؛ شیرانی و سیف، ۱۳۹۱؛ طیبیا و دیگران ۱۳۹۴؛ کامران زاد، ۱۳۹۴) (Pourghasemi et al., 2012d, Guzzetti et al., 2000, Pourghasemi et al., 2012c, Ercanoglu and Cokceoglu, 2002 و Yilmaz, 2010)، می‌توان اشاره نمود. از جمله مطالعاتی که در آن‌ها به مطالعه کارایی مدل‌های آماری مختلف پرداخته‌اند می‌توان به (شیرانی و سیف، ۱۳۹۱) اشاره کرد که با بهره‌گیری از شاخص‌های مجموع کیفیت و دقت روش ارزش اطلاعات را در پهنه‌بندی منطقه پشت کوه شهرستان فریدون‌شهر مناسب‌تر ارزیابی کردند. (نیک‌اندیش، ۱۳۷۸) با بررسی شاخص‌های صحت یابی، نتایج مدل‌های آماری دومتغیره و چند متغیره را نسبت به دیگر روش‌ها کارا تر ارزیابی کرده است.

زمین لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که همه‌ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد و تاکنون جان تعداد زیادی از انسان‌ها را گرفته است (Pourghasemi et al., 2012d) (شیرانی و سیف، ۱۳۹۰). پیش‌بینی رخداد زمین لغزش در کاهش خسارات ناشی از بروز این امر نقش مؤثری ایفا خواهد کرد (Shirani et al., 2005; Schilirò et al., 2016). از آنجاکه پیش‌بینی زمان رخداد زمین لغزش‌ها امکان‌پذیر نیست، شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر اهمیت این مطالعات را آشکار می‌کند. تاکنون مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ایران و مناطق مختلف دنیا ارائه شده است که کارایی هر کدام از آن‌ها در مناطق مختلف متفاوت است (Conforti et al. 2014; Regmi et al. 2014) (مصفایی و دیگران، ۱۳۸۸). به طور کلی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دو صورت تجربی و آماری اقدام به تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق با سطح خطرپذیری متفاوت طبقه‌بندی و این مناطق را بر اساس پتانسیل خطر ناشی از ایجاد زمین لغزش رتبه‌بندی می‌کنند (شریعت جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷).

جهت شیب: جهت شیب همچون، میزان شیب به عنوان یک فاکتور مؤثر در تحلیل خطر زمین لغزش به کار گرفته می شود (Shahabi et al., 2014). فاکتورهای جوی میزان شیب، نوع خاک، تخلخل، نفوذپذیری، میزان رطوبت، میزان پوشش گیاهی همه تحت تأثیر جهت شیب سطوح هستند. با استفاده از مدل ارتفاع رقومی، جهت شیب در محدوده مورد مطالعه در ۹ طبقه اندازه گیری شده است (جدول ۱ و شکل ۱).

شکل طولی شیب توپوگرافی

یکی دیگر از پارامترهای مؤثر توپوگرافی در پتانسیل ایجاد زمین لغزش شکل طولی شیب است. این عامل به طور مؤثر بر روی چگونگی توزیع بار توپوگرافی بر روی سطح اثر می گذارد و علاوه بر این بر خروج و یا باقی ماندن آب های سطحی نیز مؤثر است (Pourghasemi et al., 2012d). فاکتور شکل طولی شیب توپوگرافی در محیط نرم افزار Arc GIS با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در ۳ طبقه محذب، مقعر و مستقیم طبقه بندی شده است (جدول ۱ و شکل ۱).

زمین شناسی

فاکتورهای مرتبط با خاستگاه زمین شناختی شامل پارامترهای سنگ شناختی و فاصله از گسل به عنوان عوامل ایجاد زمین لغزش در نظر گرفته شده است.

سنگ شناختی

زمین لغزشها به شدت توسط ویژگی های سنگ شناختی سطوح زمین کنترل می شوند. با توجه به وجود واحدهای مختلف سنگ شناختی که مقادیر متفاوتی از وزن کل را در تهیه نقشه مناطق مستعد زمین لغزش به خود اختصاص می دهند، تقسیم بندی این واحدها، نقش مهمی را در تهیه این گونه نقشه ها ایفا می کند. با توجه به وسعت بسیار زیاد محدوده مورد مطالعه که با رقومی سازی نقشه های ۱/۲۵۰۰۰۰ صورت گرفته است و نبود یک سیستم نظام مند برای مشخص کردن واحدهای سنگ شناختی، در این مطالعه سعی شد که با در نظر گرفتن ویژگی های مکانیکی واحدهای سنگ شناختی آنها را یکپارچه سازی نماییم. بر اساس توصیف های صورت گرفته، هجده واحد سنگ شناختی در محدوده مورد مطالعه بر اساس نوع سنگ اصلی تشکیل دهنده واحد معرفی شده است (جدول ۱ و شکل ۱).

گسل ها

گسل ها به صورت مستقیم، با ایجاد شکستگی ها و ناپایدار کردن دامنه ها منجر به ایجاد زمین لغزش می شوند. در این مطالعه فاصله از گسل های اصلی بر اساس کیلومتر و در طبقه های ۰ تا ۱ کیلومتر، ۱ تا ۲ کیلومتر، ۲ تا ۳ کیلومتر و بیشتر از ۳ تا ۴ کیلومتر مشخص شده است (Pourghasemi et al., 2012d). به دلیل آنکه گسل ها به صورت سیستم گسلش و در یک پهنای متغیر به صورت قطعه قطعه می باشند، رعایت حداقل بیشتر را الزامی می نماید (جدول ۱ و شکل ۱).

فاصله از رومرکز زلزله

با توجه به اینکه نیمی از پهنه استان سیستان و بلوچستان در محدوده خطر بالای لرزه ای قرار دارد (پرتابیان و دیگران ۱۳۹۵؛ اسلامی و درخشانی ۱۳۹۳) و به طور کلی دارای فعالیت تکتونیکی بالای است (Partabian et al., 2016) اهمیت لزوم توجه به این پارامتر در خطر زمین لغزش آشکار می شود. زلزله همیشه به عنوان عامل محرک زمین لغزشها مورد توجه بوده است، اما بزرگ ترین مشکل در بررسی نقش آنها در ایجاد زمین لغزش، کمبود اطلاعات زمانی برای تبیین وابستگی لغزش با زلزله بوده است. مطالعات نشان می دهد که با نزدیک شدن به

با توجه به بالا بودن تمرکز رسوبات فلیشی به طور عمده در قسمت شرق و جنوب استان و همچنین باران های شدید موسمی و فعالیت تکتونیکی بالا لزوم توجه و بررسی لغزش در مناطق مختلف آن اهمیت خود را بیش از پیش نشان می دهد. در این پژوهش روش های آماری ارزش اطلاعات و تراکم سطح دو متغیره جهت پهنه بندی استفاده شده است.

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان سیستان و بلوچستان با وسعت ۱۷۸۴۳۱ کیلومتر مربع یکی از پهناورترین استان های کشور است (شکل ۱ و ۲) که از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران در پهنه های مکران و شرق ایران قرار دارد (Stocklin, 1968). پهنه مکران نوعی اشتقاق درون قاره ای، به سن ژوراسیک پسین - کرتاسه پیشین با پی سنگ پوسته اقیانوسی است که با توالی از رسوب های فلیشی و گاه شبه مولاس پوشیده شده است (آقا نیاتی، ۱۳۸۳). پهنه شرق ایران بخشی از سیستم کوهزایی نئوتتیس است که بر اثر همگرایی خردقاره های ایران مرکزی و افغانستان تشکیل شده است. این منطقه اغلب توسط رخساره های فلیشی و توده های آذرین گرانیتی و دیوریتی پوشیده شده است (Stocklin, 1968). دو فرونشست تکتونیکی لوت و جازموریان پست ترین و دو قله تفتان و بزمان مرتفع ترین مناطق منطقه مورد مطالعه را تشکیل می دهند. این استان به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و زمین شناسی و توپوگرافی همواره یکی از نقاط بحرانی و کانونی خطرات زمین شناختی (زلزله، سیل، زمین لغزش و آتش فشان) در کشور بوده است.

مواد و روش ها

در ابتدا اطلاعات تمامی زمین لغزش های رخ داده در استان از سازمان جنگل ها و مراتع استان سیستان و بلوچستان گرفته شد. با بازدیدهای صحرایی و مطالعه تصاویر هوایی و ماهواره ای بانک اطلاعاتی زمین لغزش های استان تهیه شد. تعیین لایه های اطلاعاتی یا عوامل مؤثر در لغزش بر اساس بررسی های میدانی و مرور مطالعات انجام شده در مناطق مشابه صورت گرفته است. این عوامل عبارت اند از متغیرهای مرتبط با جنس، شکل زمین، زلزله، میزان تغییرات جوی، کاربری اراضی و تغییرات ناشی از فعالیت های انسانی. با توجه به مساحت منطقه مورد مطالعه، اطلاعات با بالاترین میزان قدرت مکانی به کار گرفته شده است که در ادامه روش تهیه نقشه هر کدام و طبقه بندی آنها (جدول ۱) پرداخته شده است.

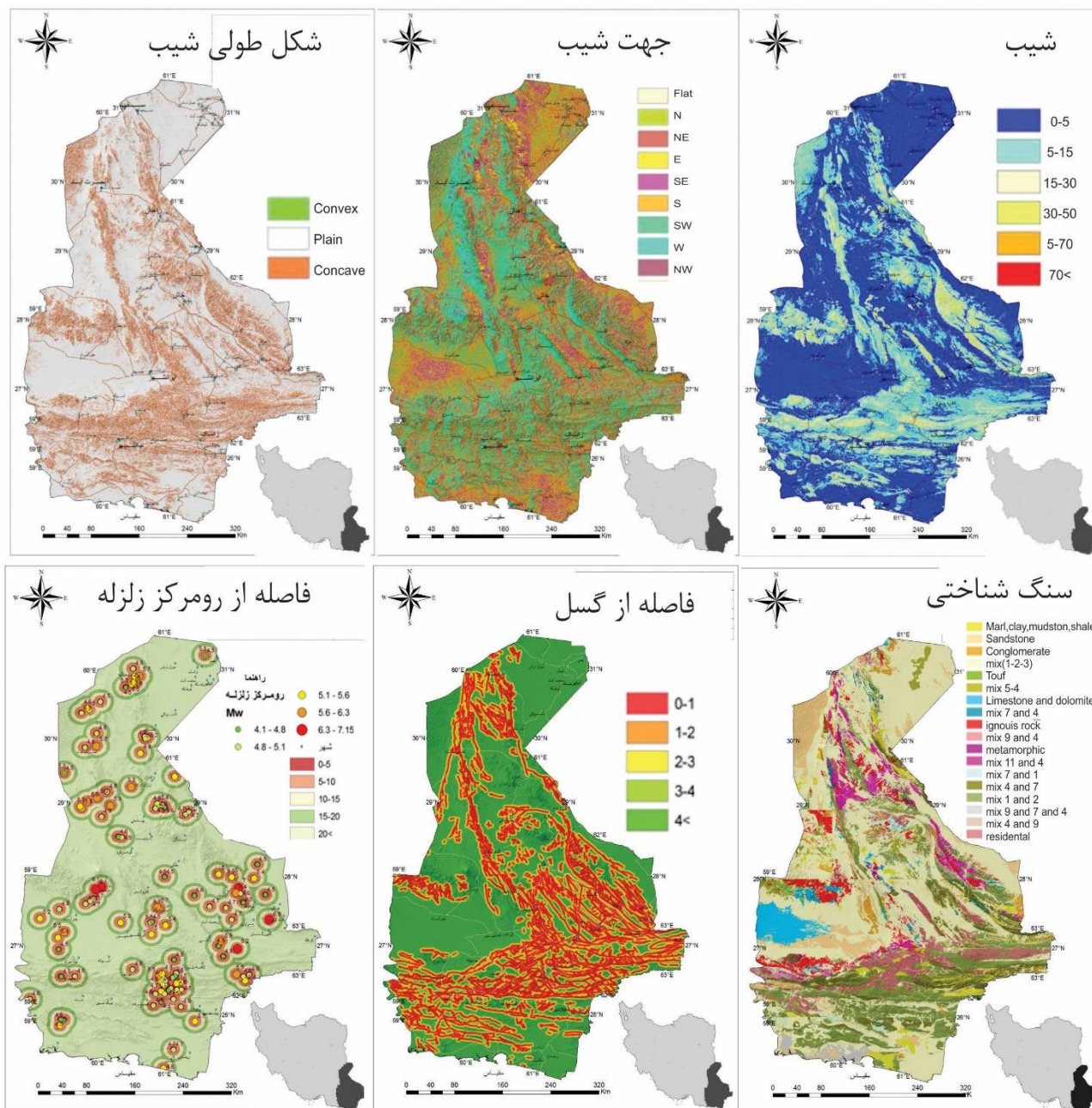
توپوگرافی

در این مطالعه اطلاعات توپوگرافی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر مورد استفاده قرار گرفته است. این اطلاعات توسط موسسه تحقیقات فضایی ایالات متحده تهیه شده است. (<https://earthexplorer.usgs.gov>)

شیب: مهم ترین عامل در بررسی پایداری دامنه ها فاکتور زاویه شیب است. این پارامتر به صورت مستقیم در وقوع زمین لغزش نقش ایفا می کند و به وفور در تهیه نقشه های مناطق مستعد زمین لغزش استفاده شده است (Saha and Gupta 2002; Shahabi et al., 2014). نقشه شیب توپوگرافی در محیط نرم افزار Arc GIS با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه شده است. کمینه مقدار شیب در منطقه صفر درجه و بیشینه مقدار به دست آمده برای این پارامتر هشتاد دو و هفت دهم (۸۲/۷) درجه است. بر این اساس محدوده مورد مطالعه به ۶ طبقه تقسیم بندی شده است (جدول ۱ و شکل ۱).

رومرکز زلزله‌ها را دارند استفاده شده است با توجه به فاصله از رومرکز منطقه به ۵ رده تقسیم شده است. (جدول ۱ و شکل ۱).

رومرکز زلزله‌ها امکان وقوع لغزش نیز بالا می‌رود (Xu et al., 2012) در این مطالعه از رومرکزهای دوباره جای یابی شده که کمترین میزان خطای مکانی در



شکل ۱. طبقه‌بندی لایه‌های شیب، جهت شیب، شکل طولی شیب، سنگ‌شناختی، فاصله از آبراه و میانگین بارش

طریق آن هزاران تن مواد را در سر راه خود فرسایش داده و با خود جابجا می‌کنند و با ایجاد فرسایش منجر به ناپایداری دامنه‌ها می‌شوند. بعد از استخراج نقشه رودخانه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS منطقه بر اساس فاصله از رودخانه به ۵ طبقه تقسیم شد (جدول ۱ و شکل ۲).

حوضه آبریز
یکی دیگر از فاکتور هایی که منجر به ایجاد زمین‌لغزش می‌شوند ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز است که در این میان، فاصله نسبت به رودخانه نقش کلیدی را در ایجاد زمین‌لغزش ایفا می‌کند. رودخانه‌ها انرژی محرکه فراوانی دارند که از

آبوهوا

یکی دیگر از فاکتور هایی که به صورت غیرمستقیم منجر به ایجاد زمین لغزش می شوند ویژگی های آب و هوایی است که در این میان، میزان بارش سالانه و به خصوص بارش های شدید روزانه نقش کلیدی را در ایجاد زمین لغزش ایفا می کنند (Larsen et al., 2001). در این مطالعه اطلاعات ایستگاه های هواشناسی استان طی ۵۰ سال گذشته مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۱ و شکل ۲).

میانگین بارش سالانه

میزان اشباع شدن و حضور آب بر روی دامنه ها می تواند بر روی پایداری آن ها تأثیر بگذارد. میزان بارش به عنوان یک عامل بیرونی در ایجاد زمین لغزش در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در محیط نرم افزار Arc GIS منطقه را بر اساس متوسط بارش سالانه به ۶ طبقه تقسیم شد (جدول ۱ و شکل ۲)

بارش روزانه شدید

بارش سالانه و حضور آب می تواند نقش مهمی را در بلندمدت ایفا کند. ولی در یک منطقه با میانگین بارش سالانه کم مانند استان سیستان و بلوچستان می توان شاهد بارش های شدید در مدت زمان کوتاهی باشیم که بر اثر آن حجم بالایی آب در مدت کوتاهی وارد سیستم می شود (خاکسفتی و دیگران ۱۳۹۸). در این گونه موارد همان طور که در شرق آسیا به وفور مشاهده می شود در اثر این بارش های سنگین لغزش های فراوانی رخ می دهد (Larsen et al., 2001). منطقه بر اساس بارش سنگین روزانه در محیط نرم افزار Arc GIS به ۵ طبقه تقسیم شد. (جدول ۱ و شکل ۲)

کاربری اراضی

ویژگی های فیزیکی زمین همچون میزان پوشش گیاهی می تواند فاکتور هایی چون میزان تخلخل، درجه اشباع و مقاومت مکانیکی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و به صورت مستقیم بر ایجاد زمین لغزش تأثیر داشته باشد (Torkashvand et al., 2014). در این پژوهش از نقشه های ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی برای استخراج کاربری اراضی استفاده شده است که در مجموع با توجه به میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه به ۵ طبقه تقسیم بندی شده است. (جدول ۱ و شکل ۲)

راهها

راهها از جمله ساختارهایی هستند که منجر به ناپایداری دامنه ها می شوند (Kornejady et al., 2014). با ساخت راهها بسیاری از دامنه ها بریده شده و از پایداری آن ها کاسته می شود. علاوه بر این میزان تعادل باربر روی سطوح نیز تغییر می کند. با تهیه نقشه راه های استان که از مرکز آمار ایران گرفته شده است در محیط نرم افزار Arc GIS منطقه بر اساس فاصله از راهها به ۵ طبقه تقسیم شد (جدول ۱ و شکل ۲).

روشها

در این مطالعه از روش های آماری جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده شده است. روش های آماری بر مبنای توزیع مکانی زمین لغزش های رخ داده عمل می کنند بدین معنی که تعداد زمین لغزش های رخ داده در یک طبقه با توجه به مساحت آن طبقه در کل محدوده مقدار وزن آن طبقه را مشخص می کند. این روش به طور کلی به دودسته روش های دومتغیره و چند متغیره تفکیک می شوند. در روش های دومتغیره تنها رخ دادن زمین لغزش های موجود نسبت به فاکتور مورد نظر میزان وزن را مشخص می کنند و میزان وزن هر فاکتور با فاکتور دیگر

یکسان است (Pardeshi et al., 2013). در این مطالعه برای محاسبه وزن هر عامل و تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش از دو روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح استفاده شده است.

روش ارزش اطلاعات

این روش توسط Yin and Yan (1988) برای اولین بار ارائه شده و در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است به طور مثال (صابری چناری و دیگران ۱۳۹۴; Constantin et al., 2010; Teixeira et al, 2015; Meinhardt et al, 2015) در این روش رابطه بین زمین لغزش های موجود و متغیرهای مؤثر به صورت انفرادی بررسی می شود. بر اساس این روش مقدار وزن هر پارامتر از رابطه (۱) به دست می آید.

(رابطه ۱)

$$LnWi = (\text{Densclass} / \text{Densmap}) = Ln[(Npix(si) / Npix(Ni)) / (\sum Npix(si) / \sum Npix(Ni))]$$

که در آن Wi وزن مربوط به یک طبقه از یک متغیر است، Dens class تراکم زمین لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر، Dens map تراکم زمین لغزش در کل محدوده، $Npix(Si)$ مساحت سطح لغزش یافته و $Npix(Ni)$ مساحت طبقه است. پس از مشخص کردن طبقه ها، وزن ها را برای هر طبقه بر اساس رابطه (۱) به دست آوردیم (جدول ۱). در مورد مقدار عددی وزن ها، هر چه عدد منفی تر باشد، نشان دهنده تأثیر کمتر پارامتر مربوطه در رخداد زمین لغزش و عدد مثبت تر نشان دهنده بیشترین تأثیر است. پس از تهیه نقشه های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش، همه آن ها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست آمد سپس نقشه نهایی به ۶ طبقه از استعداد خیلی خیلی کم تا بسیار زیاد طبقه بندی شد (جدول ۱ و شکل ۳).

روش تراکم سطح

این روش نیز همچون روش ارزش اطلاعات از نوع روش های کمی و از نوع روش های آنالیز آماری دومتغیره می باشد (Lee and Kyungduck, 2001; Kornejady et al., 2014). در این روش رابطه بین سطح لغزش یافته در هر طبقه با مساحت کل طبقه نسبت به مساحت کل متغیر برای وزن دهی استفاده می شود که مقدار وزن هر طبقه از رابطه (۲ و ۳) به دست می آید:

(رابطه ۲)

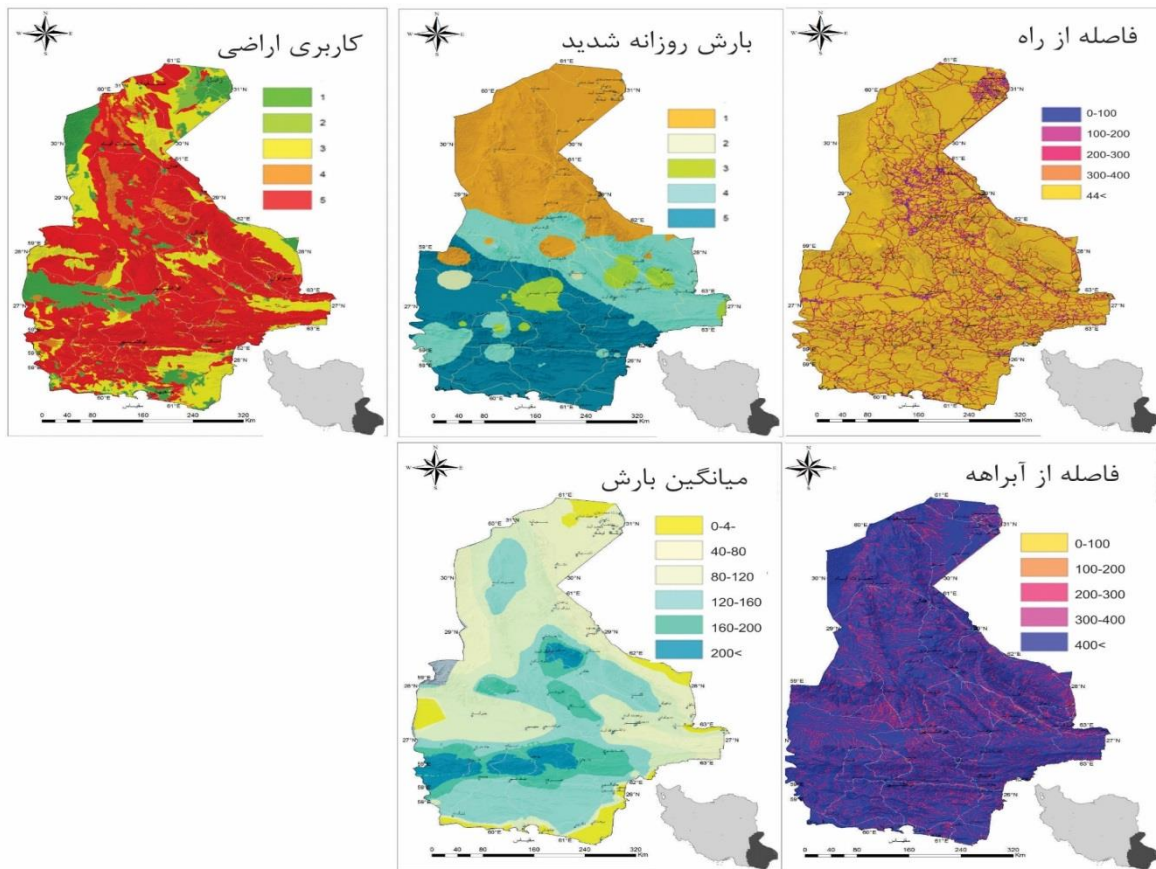
$$Darea = Npix(SXi) / Npix(Xi)$$

(رابطه ۳)

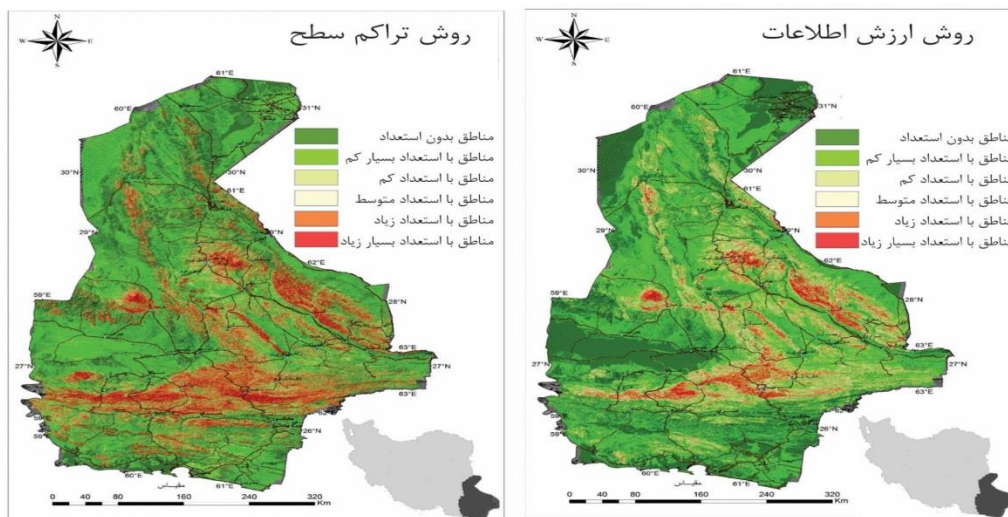
$$Warea = [Darea - \sum Npix(SXi) / \sum Npix(Xi)]$$

که در آن $Npix(Sxi)$ مساحت سطح لغزش یافته در یک طبقه، $Npix(xi)$ مساحت کل طبقه است و W وزن آن طبقه می باشد.

پس از تهیه نقشه های وزنی مربوط به پارامترهای مؤثر در رخداد زمین لغزش، همه آن ها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی به دست آمد سپس نقشه نهایی به ۶ طبقه از استعداد خیلی خیلی کم تا بسیار زیاد طبقه بندی شد (جدول ۱ و شکل ۳).



شکل ۲. طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی فاصله از گسل، بارش روزانه شدید، کاربری اراضی، فاصله از راه و فاصله از رومرکز زلزله



شکل ۳. پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش استان سیستان و بلوچستان بر اساس روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح

جدول ۱. طبقه‌بندی و وزن طبقه‌های لایه‌های اطلاعاتی

عامل	طبقه	مساحت (km2)	% مساحت کل	مساحت لغزش (m2)	% مساحت کل لغزش	Dens class	Dens Map	وزن نهایی ارزش اطلاعات	وزن نهایی تراکم سطح
شیب توپوگرافی	۰-۵	۳۰۲۶/۷۸	۴۰/۰۴	۱۴/۶۹	۱۱/۶۳	۰/۰۰۴۹	۰/۰۱۶۷	-۱/۲۴	-۱۱/۸۶
	۵-۱۵	۳۳۰۸/۷۷	۴۳/۷۷	۵۷/۲۱	۴۵/۲۸	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۶۷	۰/۰۳	۰/۵۸
	۱۵-۳۰	۱۱۰۲/۶۳	۱۴/۵۹	۴۳/۲۳	۳۴/۲۱	۰/۰۳۹۲	۰/۰۱۶۷	۰/۸۵	۲۲/۴۹
	۳۰-۵۰	۱۱۹/۰۶	۱/۵۸	۱۰/۸۲	۸/۵۶	۰/۰۹۰۹	۰/۰۱۶۷	۱/۶۹	۷۴/۱۷
جهت شیب توپوگرافی	plain	۳۱/۳۸	۰/۴۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۶۷	-۲/۳۵	-۱۵/۱۲
	N	۱۰۷۵/۰۴	۱۴/۲۲	۱۶/۹	۱۳/۳۸	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۶۷	-۰/۰۶	-۰/۹۹
	NE	۹۹۴/۳۸	۱۳/۱۵	۱۶/۶۳	۱۳/۱۶	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۶۷	۰	۰/۰۱
	E	۸۹۰/۳۹	۱۱/۷۸	۱۵/۸۴	۱۲/۵۴	۰/۰۱۷۸	۰/۰۱۶۷	۰/۰۶	۱/۰۷
	SE	۹۳۵	۱۲/۳۷	۱۵/۴۳	۱۲/۲۱	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۶۷	-۰/۰۱	-۰/۲۱
	S	۸۸۷/۲۷	۱۱/۷۴	۱۳/۷۱	۱۰/۸۵	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۶۷	-۰/۰۸	-۱/۲۶
	SW	۸۶۷/۷۸	۱۱/۴۸	۱۶/۵۱	۱۳/۰۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶۷	۰/۱۳	۲/۳۱
	W	۸۶۲/۸۷	۱۱/۴۲	۱۴/۶۴	۱۱/۵۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱	۰/۲۵
شکل طولی شیب توپوگرافی	Convex	۱۹۱۷/۸۱	۲۵/۳۷	۴۰/۱۴	۳۱/۷۳۸۸	۰/۰۲۰۹	۰/۰۱۶۷	۰/۲۲۴۶	۴/۲۱۰۲
	Plain	۳۸۳۶/۸۸	۵۰/۷۶	۴۵/۳۳	۳۵/۸۴۲۵	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۶۷	-۰/۳۴۷۳	-۴/۹۰۵۶
	Concave	۱۸۰۹/۳۶	۲۳/۹۴	۴۱	۳۲/۴۱۸۸	۰/۰۲۲۷	۰/۰۱۶۷	۰/۳۰۴	۵/۹۴۰۱
واحدهای سنگ شناختی	۱ Marl,clay,mudston,shale	۳۲۳/۲	۴/۲۵	۱۰/۳۸	۸/۱۸	۰/۰۳۲۱	۰/۰۱۶۷	۰/۶۵۵۱	۱۵/۴۳۵
	۲ Sandstone	۳۸۰/۰۳	۴/۹۹	۳/۸۸	۳/۰۶	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۶۷	-۰/۴۹۱	-۶/۴۷۱۶
	۳ Conglomerate	۵۲/۲۲	۰/۶۹	۱/۱۲	۰/۸۸	۰/۰۲۱۴	۰/۰۱۶۷	۰/۲۵۱۳	۴/۷۶۶۴
	۴ mix(۱-۲-۳)	۲۲۱۸/۲	۲۹/۱۵	۳۷/۸	۲۹/۷۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶۷	۰/۰۲۱۳	۰/۳۵۹۵
	۵ Touf	۲۱/۲	۰/۲۸	۳/۰۱	۲/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۱۶۷	۰/۲۱۴۶	۴/۲۴۱۳
	۶ mix 5-4	۱۶۹/۵۸	۲/۲۳	۳/۷۳	۲/۹۴	۰/۰۲۲	۰/۰۱۶۷	۰/۲۷۶۵	۵/۳۱۴۲
	۷ Limestone and dolomite	۱۵۷/۴۹	۲/۰۷	۳/۳	۲/۶	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶۷	-۰/۲۲۸	۴/۲۷۲۴
	۸ mix 7 and 4	۳۰/۱۷	۰/۴	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۰۲۷۲	۰/۰۱۶۷	۰/۴۸۸۲	۱۰/۴۹۸
	۹ ignouis rock	۴۶۵/۸۸	۶/۱۲	۵/۳۹	۴/۲۵	۰/۰۱۱۶	۰/۰۱۶۷	۰/۳۶۵۹	-۵/۱۱۱۹
	۱۰ mix 9 and 4	۱۳۳/۶۲	۱/۷۶	۱/۵۳	۱/۲۱	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۶۷	۰/۳۷۶۳	-۵/۲۳۱
	۱۱ metamorphic	۳۱/۴۹	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۶۷	۲/۱۶۹۶	-۱۴/۷۷۶
	۱۲ mix 11 and 4	۴۲۰/۲۳	۵/۵۲	۲/۸۷	۲/۲۶	۰/۰۰۶۸	۰/۰۱۶۷	-۰/۸۹۳	-۹/۸۵۱۸
	۱۳ mix 7 and 1	۲۹۹/۷	۳/۹۴	۲/۷۶	۲/۱۷	۰/۰۰۹۲	۰/۰۱۶۷	۰/۵۹۴۱	-۷/۴۷۲۱
	۱۴ mix 4 and 7	۵۴۲	۷/۱۲	۱۳/۴	۱۰/۵۶	۰/۰۲۴۷	۰/۰۱۶۷	۰/۳۹۳۵	۸/۰۴۱۹
	۱۵ mix 1 and 2	۶۹۴/۶۸	۹/۱۳	۱۰/۹	۸/۵۹	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۶۷	۰/۰۶۱۲	-۰/۹۹۰۷
	۱۶ mix 9 and 7 and 4	۴۵/۴۲	۰/۶	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۰۰۹۲	۰/۰۱۶۷	-۰/۵۹	-۷/۴۳۴۳
	۱۷ mix 4 and 9	۱۶۱۸/۳۱	۲۱/۳۷	۲۵/۵۶	۲۰/۱۴	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۶۷	۰/۰۵۴۶	-۰/۸۸۷۱
	۱۸ residential	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۵	-۵۰

ادامه جدول ۱. طبقه‌بندی و وزن طبقه‌های لایه‌های اطلاعاتی

عامل	طبقه	مساحت (km2)	% مساحت کل	مساحت لغزش (m2)	% مساحت کل لغزش	Dens class	Dens Map	وزن نهایی ارزش اطلاعات	وزن نهایی تراکم سطح
فاصله از گسل‌های اصلی	۰-۱	۲۲۸۶/۶۵	۳۰/۲۵	۴۱/۹۷	۳۳/۴۲	۰/۰۱۸۴	۰/۰۱۶۶	۰/۰۹۹۵	۱/۷۳۸۲
	۱-۲	۱۶۰۳/۳۱	۲۱/۲۱	۲۵/۴۱	۲۰/۲۳	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۶۶	۰/۰۴۷۳	-۰/۷۶۷۷
	۲-۳	۱۰۴۳/۹۷	۱۳/۸۱	۱۷/۰۳	۱۳/۵۶	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۸۴	-۰/۳۰۳۴
	۳-۴	۶۵۹/۳۶	۸/۷۲	۱۰/۱۳	۸/۰۷	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۶۶	۰/۰۷۸۴	-۱/۲۵۲۸
	۴<	۱۹۶۵/۷۹	۲۶/۰۱	۳۲/۰۸	۲۵/۵۴	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۶۶	-۰/۰۱۸	-۰/۲۹۷
فاصله از رودخانه	۰-۱۰۰	۵۳۹/۷۶	۷/۱۴	۱۷	۱۳/۳۶	۰/۰۳۱۵	۰/۰۱۶۶	۰/۶۲۶۲	۱۴/۶۵۷۵
	۱۰۰-۲۰۰	۴۶۴/۹۳	۶/۱۵	۱۴/۰۶	۱۱/۰۵	۰/۰۳۰۲	۰/۰۱۶۶	۰/۵۸۵۶	۱۳/۴۰۳۱
	۲۰۰-۳۰۰	۵۱۲/۱۸	۶/۷۸	۱۳/۱۲	۱۰/۳۱	۰/۰۲۵۶	۰/۰۱۶۶	۰/۴۱۹۶	۸/۷۷۸
	۳۰۰-۴۰۰	۴۴۳/۴۷	۵/۸۷	۱۳/۷۸	۱۰/۸۳	۰/۰۳۱۱	۰/۰۱۶۶	۰/۶۱۲۷	۱۴/۲۳۵۱
	۴۰۰<	۵۵۹۸/۷۵	۷۴/۰۷	۶۹/۳۲	۵۴/۴۶	۰/۰۱۲۴	۰/۰۱۶۶	۰/۳۰۷۴	-۴/۴۵۶۷
بارش سالمه	>۸۰	۱۰۴/۶۴	۱/۳۸۴۲۹۳۶	۰/۳۴	۰/۱۸۹۶۷۸۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۱۶۷	۱/۹۸۷۶	-۱۴/۴۴۵۲
	۸۰-۱۲۰	۱۱۵۴/۵۲	۱۵/۲۷۳۲۶۷	۱۴/۲۹	۱۱/۲۹۳۷۶۴	۰/۰۱۲۴	۰/۰۱۶۷	۰/۳۰۱۹	-۴/۳۶۱۳
	۱۲۰-۱۶۰	۲۲۶۲/۹	۲۹/۹۳۶۱۴۳	۱۵/۵۵	۱۲/۲۸۹۵۷۶	۰/۰۰۶۹	۰/۰۱۶۷	۰/۸۹۰۳	-۹/۸۶۷۱
	۱۶۰-۲۰۰	۱۴۹۱/۷۲	۱۹/۷۳۴۱۲۱	۲۵/۴۵	۲۰/۱۱۳۸۰۷	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۹۱	۰/۳۲۲۱
	۲۰۰-۲۵۰	۲۵۴۵/۳۱	۳۳/۶۷۲۱۷۵	۷۱	۵۶/۱۱۳۱۷۵	۰/۰۲۷۹	۰/۰۱۶۷	۰/۵۱۰۷	۱۱/۱۵۵۷
بارش سنگین روزانه	۳۵-۵۵	۲۸۶۹	۳۷/۹۶	۲۷/۹۸	۲۲/۱۲	۰/۰۰۹۸	۰/۰۱۶۸	۰/۵۴۶۴	-۷/۰۸۹
	۵۵-۷۵	۱۱۴۱	۱۵/۱	۳۷/۵۹	۲۹/۷۱	۰/۰۳۲۹	۰/۰۱۶۸	۰/۶۷۰۶	۱۶/۰۹۱۱۰۹
	۷۵-۹۵	۲۹۹۰	۳۹/۵۵	۵۰/۹۵	۴۰/۲۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۱۹	۰/۲۰۲۲
	۹۵<	۵۱۶/۱	۶/۸۳	۱۰/۰۶	۷/۹۵	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۶۸	۰/۱۴۶۲	۲/۶۵۰۹۰۳۱
کاربری اراضی	۱	۶۵۳/۴۳	۸/۶۴	۰/۴	۰/۳۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۶۷	-۳/۳۰۸۴	-۱۶/۱۲۵۳
	۲	۲۱/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۰۱۰۴	۰/۰۱۶۷	-۰/۴۷۷۱	-۶/۳۵۰۳
	۳	۳۰۸/۴۱	۴/۰۸	۲/۸۴	۲/۲۴	۰/۰۰۹۲	۰/۰۱۶۷	-۰/۵۹۷۵	-۷/۵۲۸۹
	۴	۱۴۸۴/۵۹	۱۹/۶۴	۲۵/۵۳	۲۰/۱۸	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۶۷	۰/۰۲۷۱	۰/۴۵۹۲
	۵	۵۰۹۱/۴۸	۶۷/۳۶	۹۷/۵۳	۷۷/۰۹	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۶۷	۰/۱۳۴۹	۲/۴۱۸۱
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۶۰۹/۳۵	۸/۱۱	۱۱/۱۱	۸/۷۸	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۶۸	۰/۰۷۹۹	۱/۴۰۰۴
	۱۰۰-۲۰۰	۳۱۲/۴	۴/۱۶	۵/۶۴	۴/۴۶	۰/۰۱۸۱	۰/۰۱۶۸	۰/۰۷۰۱	۱/۲۲۱۶
	۲۰۰-۳۰۰	۳۴۷/۵۵	۴/۶۲	۴/۶۵	۳/۶۸	۰/۰۱۳۴	۰/۰۱۶۸	۰/۲۲۹۶	-۳/۴۵۲۸
	۳۰۰-۴۰۰	۲۷۹/۹۳	۳/۷۲	۳/۷۳	۲/۹۵	۰/۰۱۳۳	۰/۰۱۶۸	۰/۲۳۳۷	-۳/۵۰۷۴
	۴۰۰<	۵۹۶۷/۳۲	۷۹/۳۹	۱۰/۱۴	۸۰/۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۹۴	۰/۱۵۸۷
فاصله از رود مرکز زلزله	۰-۵	۳۲۹/۲	۴/۳۷۹۶۶۳	۶/۳۸	۵/۰۴۹۴۶۵۸	۰/۰۱۹۴	۰/۰۱۶۸	۰/۱۴۲۳	۲/۵۷۰۸
	۵-۱۰	۸۹۵/۲۵	۱۱/۹۱۰۳۶۹	۱۴/۹۲	۱۱/۸۰۸۴۶۹	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۸۶	-۰/۱۴۳۸
	۱۰-۱۵	۱۳۱۶/۶۹	۱۷/۵۱۷۱۸۹	۲۱/۷۴	۱۷/۲۰۶۱۷۳	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۷۹	-۰/۲۹۸۵
	۱۵-۲۰	۱۴۳۵/۱۲	۱۹/۰۹۲۷۷۶	۲۳/۹۶	۱۸/۹۶۳۱۹۷	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۶۸	-۰/۱۱۴۱
	۲۰<	۳۵۴۰/۳	۴۷/۱۰۰۰۰۳	۵۹/۳۵	۴۶/۹۷۲۶۹۵	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۴۵۴

مدل‌های مختلف استفاده می‌شود (Kumar et al., 2005). شاخص نسبت تراکمی یا Dr به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Gee, 1992).

ارزیابی کارایی مدل‌ها

برای ارزیابی و مقایسه بین پهنه‌بندی‌های ارائه شده از شاخص نسبت تراکمی بین طبقه‌های هر مدل و شاخص‌های مجموع کیفیت و دقت برای مقایسه

باشد، روش از درستی یا مطلوبیت یا به عبارتی کارایی بیشتری در تفکیک برخوردار است.

شاخص دقت یا P نیز از رابطه ۶ به دست می‌آید (Jade and Sarkar, 1993).

$$P = KS/S \quad (\text{رابطه ۶})$$

که KS مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های زیاد و بسیار زیاد به مساحت کل این پهنه‌ها می‌باشد.

استفاده از شاخص نسبت تراکمی (Dr) به منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر (طبقات هر عامل) در هر روش و شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت P برای مقایسه روش‌ها نسبت به همدیگر و تعیین کارآمدی آن‌ها نسبت به هم کاربرد دارد. به عبارت دیگر، شاخص مجموع کیفیت Qs و دقت P، مدل مناسب منطبق با منطقه مورد بررسی و شاخص نسبت تراکم Dr دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا طبقه‌های خطر در هر روش از مدل‌های پهنه‌بندی را معرفی می‌کند (کنزادی و دیگران ۱۳۹۲؛ Sarkar et al., 2008) جدول ۲ میزان شاخص‌های فوق را برای هر مدل ارائه می‌دهد.

$$Dr = (Si / Ai) / \sum_i^n Si / \sum_i^n Ai \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن Si مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر طبقه خطر، Ai مساحت i مین طبقه خطر است. در یک روش (نقشه) پهنه‌بندی، تراکم لغزش طبقه با $Dr = 1$ معادل با میانگین تراکم لغزش در کل منطقه و طبقه دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با دو برابر تراکم لغزش منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین طبقه‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش (نقشه) از دقت یا بیشترین مطلوبیت برخوردار است. مجموع کیفیت یا Qs از رابطه ۵ به دست می‌آید (Gee, 1992).

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 \times S \quad (\text{رابطه ۵})$$

که S نسبت مساحت هر طبقه است. مقدار مجموع کیفیت Qs که توسط رابطه ۵ محاسبه می‌شود، نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر رانش زمین در منطقه است. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای این شاخص وجود ندارد ولی معمولاً مقدار آن برای روش‌های مختلف در محدوده صفر و ۰/۷ متغیر است. در ارزیابی روش‌ها هرچه مقدار مجموع کیفیت Qs بیشتر

جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی تراکم سطح Dr، شاخص کیفیت Qs و شاخص دقت P برای روش‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح

مدل	طبقه خطر	مساحت	نسبت مساحت	%مساحت	مساحت لغزش	%مساحت لغزش	Dr	Q	Qs	P
ارزش اطلاعات	۱	۹۱۰/۸۷	۰/۱۲۰۴۹۸	۱۲/۰۵	۳/۴	۲/۶۵	۰/۲۲۰	۰/۰۷۳	۰/۶۶۰	۰/۰۳۸
	۲	۱۷۴۸/۱۳	۰/۲۳۱۲۵۸	۲۳/۱۳	۷/۱۴	۵/۵۷	۰/۲۴۱	۰/۱۳۳		
	۳	۱۴۷۲/۵۱	۰/۱۹۴۷۹۷	۱۹/۴۸	۱۸/۲۸	۱۴/۲۶	۰/۷۳۲	۰/۰۱۴		
	۴	۱۶۶۴/۸۲	۰/۲۲۰۲۳۷	۲۲/۰۲	۳۲/۳۷	۲۵/۲۵	۱/۱۴۷	۰/۰۰۵		
	۵	۱۲۱۰/۴۲	۰/۱۶۰۱۲۵	۱۶/۰۱	۳۸/۱	۲۹/۷۲	۱/۸۵۶	۰/۱۱۷		
	۶	۵۵۲/۴۶	۰/۰۷۳۰۸۴	۷/۳۱	۲۸/۸۹	۲۲/۵۴	۳/۰۸۴	۰/۳۱۷		
		۷۵۵۹/۲۱		۱۰۰/۰۰	۱۲۸/۱۸	۱۰۰/۰۰	۱/۰۰۰			
تراکم سطح	۱	۹۶۳/۸۵	۰/۱۲۷۵۰۷	۱۲/۷۵	۴/۷۳	۳/۶۹	۰/۲۸۹	۰/۰۶۴	۰/۶۶۰	۰/۰۳۰
	۲	۱۵۸۰/۹۵	۰/۲۰۹۱۴۲	۲۰/۹۱	۵/۳۴	۴/۱۷	۰/۱۹۹	۰/۱۳۴		
	۳	۱۰۲۱/۰۶	۰/۱۳۵۰۷۵	۱۳/۵۱	۹/۱۴	۷/۱۳	۰/۵۲۸	۰/۰۳۰		
	۴	۶۴۴/۳۱	۰/۰۸۵۲۳۵	۸/۵۲	۹/۵۳	۷/۴۳	۰/۸۷۲	۰/۰۰۱		
	۵	۲۷۵۵/۲۷	۰/۳۶۴۴۹۲	۳۶/۴۵	۶۷/۹۷	۵۳/۰۳	۱/۴۵۵	۰/۰۷۵		
	۶	۵۹۳/۷۷	۰/۰۷۸۵۴۹	۷/۸۵	۳۱/۴۷	۲۴/۵۵	۳/۱۲۶	۰/۳۵۵		
		۷۵۵۹/۲۱		۱۰۰/۰۰	۱۲۸/۱۸	۱۰۰/۰۰	۱/۰۰۰			

در هر دو روش عمدتاً همین مناطق را به عنوان پهنه‌هایی مستعد برای لغزش معرفی می‌کنند. در کنار این عوامل فعال بودن منطقه از لحاظ تکنیکی به صورت فعالیت گسل‌ها و لرزش‌های ناشی از زلزله باعث شده که قسمت‌هایی که در امتداد گسل‌های فعال منطقه قرار گرفته‌اند مستعد زمین‌لغزش باشند. مناطقی پست مانند چاله جازموریان و دشت زابل و کویر لوت که در قسمت شمال و غرب استان قرار دارند به علت ارتفاع کم و هموار بودن به طور عمده فاقد استعداد زمین‌لغزش می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

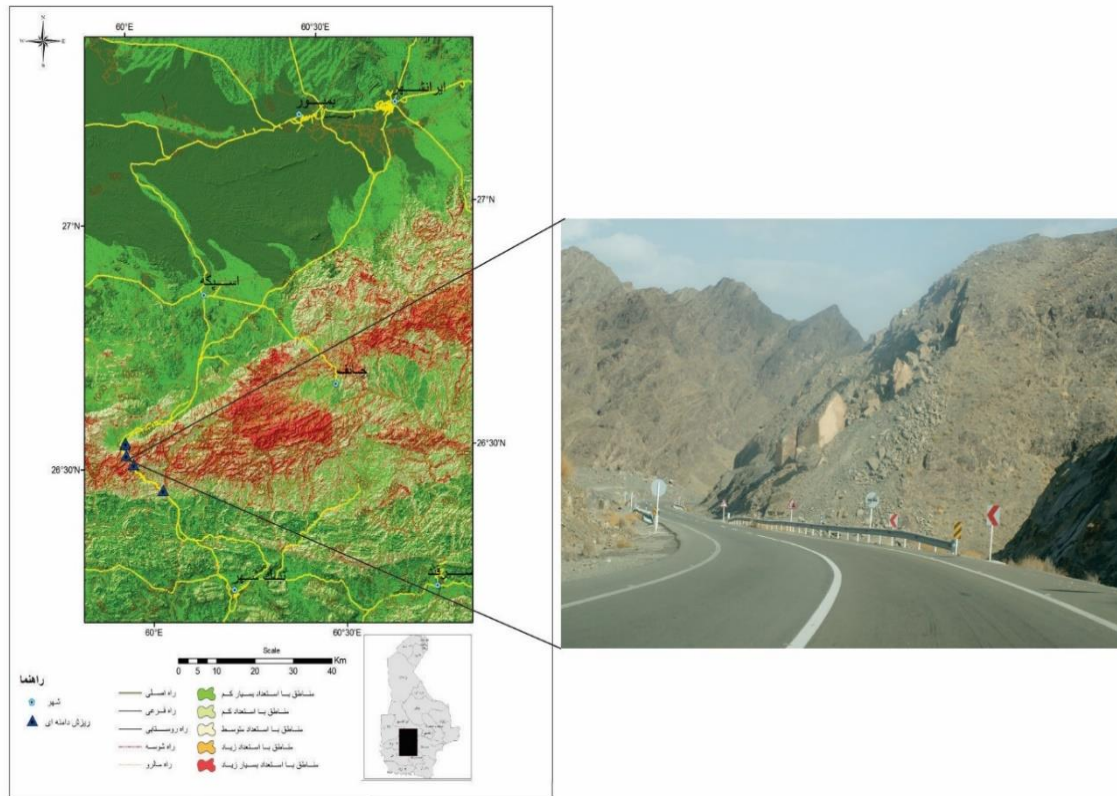
نتایج به دست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد که ۷۴٪ از وسعت استان در روش ارزش اطلاعات و ۶۷٪ در روش تراکم سطح در پهنه‌های با استعداد بسیار کم زمین‌لغزش قرار دارند که با توجه به وضعیت توپوگرافی استان و بارش کم در استان نتیجه قابل قبولی است. با مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی و لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش، لایه‌های فلیشی جنوب استان به همراه میزان بارش‌های سنگین روزانه، پهنه‌هایی مستعد برای لغزش می‌باشند که

مستعد زمین لغزش در استان سیستان و بلوچستان مدل ارزش اطلاعات است. این نقشه می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده جهت شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و معرفی راهکار مناسب به منظور مدیریت و کاهش خطرات احتمالی مورد استفاده قرار گیرد.

به منظور بررسی نتایج به دست آمده از این مطالعه لغزش‌های رخ داده در دو منطقه با نقشه‌های پهنه‌بندی مقایسه می‌شود.

در مسیر ارتباطی ایرانشهر به نیکشهر در محدوده تنگ سرچه به خصوص در فصل بارندگی به وفور لغزش‌ها و ریزش‌های دامنه‌ای باعث قطع راه ارتباطی می‌شود (شکل ۴). همچنان که در این تصویر مشاهده می‌شود در جایی که جاده از محدوده‌های با استعداد زیاد و خیلی زیاد (روش ارزش اطلاعات) عبور می‌کند شاهد ریزش‌ها و لغزش‌های دامنه‌ای هستیم.

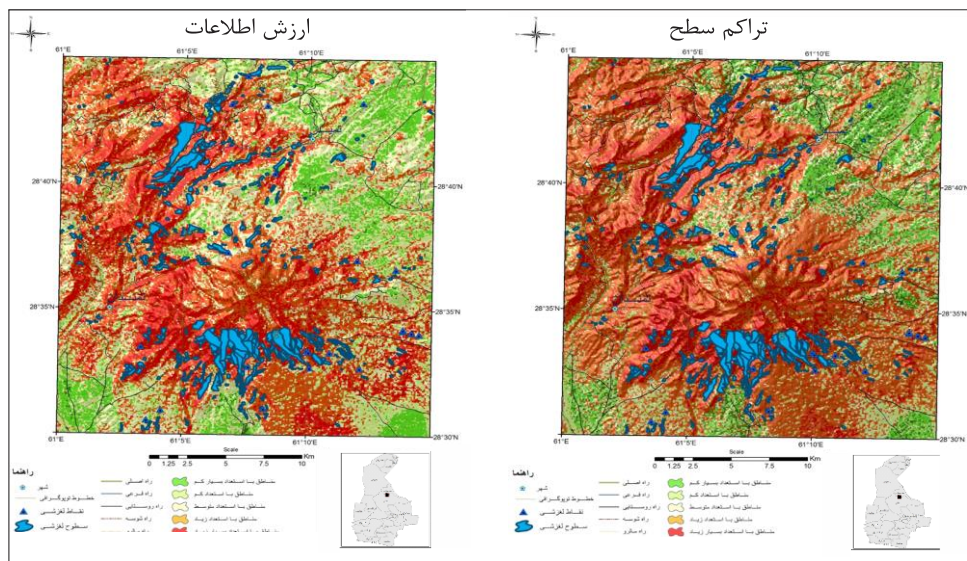
شاخص نسبت تراکم برای مدل ارزش اطلاعات نشان می‌دهد که بیشینه میزان تراکم متعلق به طبقه با استعداد بسیار بالا و در حدود ۳ است که به تدریج با کاهش میزان استعداد کاهش می‌یابد اما نکته قابل توجه در این میان کاهش پله‌ای این شاخص است که در طبقه با استعداد کمتر بعدی مقدار آن به ۱/۸ و در طبقه بعدی به ۱/۴ و در طبقه با استعداد کم به ۰/۷ می‌رسد که این مسئله به خوبی گویای قدرت تفکیک بالای روش ارزش اطلاعات می‌باشد. در مورد روش تراکم سطح نیز بیشینه مقدار این شاخص تقریباً برابر با ۳/۱ است که با کاهش میزان استعداد به صورت پله‌ای کاهش می‌یابد که این نشان می‌دهد که روش تراکم سطح نیز به خوبی توانسته است پهنه‌بندی مناسبی را ارائه دهد. با بررسی شاخص کیفیت هر دو مدل مقدار کیفیت بالای ۰/۶۶ را از خود نشان می‌دهند. میزان شاخص دقت برای روش ارزش اطلاعات برابر با ۰/۳۸ و در روش تراکم سطح ۰/۰۳ است. مقایسه این شاخص در دو مدل ارائه شده نشانگر دقت بیشتر روش ارزش اطلاعات از روش تراکم سطح است. از این رو بهترین مدل برای پهنه‌بندی مناطق



شکل ۴. ریزش و لغزش دامنه‌ای در امتداد راه ارتباطی ایرانشهر به نیک شهر در محدوده تنگ سرچه

و تراکم سطح در ناحیه با استعداد خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که نشانگر کارایی مدل‌های ارائه شده است.

مورد دوم منطقه‌ای در محدوده آتش‌فشان تفتان است که همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود زمین لغزش‌های متعددی (مناطق آبی رنگ) در آن رخ داده است. در این قسمت لغزش‌های رخ داده بر روی نقشه‌های پهنه‌بندی پلات شده که همان طور که مشاهده می‌شود سطوح لغزشی به خوبی در دو مدل ارزش اطلاعات



شکل ۵. تطابق بین پهنه‌بندی ارائه شده و زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده آتش‌فشان تفتان.

دارای کارایی بهتری است. مقایسه نقشه‌های خطر به دست آمده با مطالعات میدانی نیز نشان‌دهنده قرار گرفتن قسمت عمده مناطق لغزش یافته در پهنه‌های با استعداد خطر خیلی زیاد و زیاد می‌باشد که گویای کارآمد بودن مدل‌های ارائه شده است.

با توجه به اطلاعات به دست آمده به نظر می‌رسد که هر دو مدل کارایی مناسبی را در ایجاد یک نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان را داشته‌اند به خصوص اینکه توانسته‌اند به خوبی طبقات خطر را از یکدیگر تفکیک کنند. با این وجود روش ارزش اطلاعات با شاخص دقت بهتر نسبت به روش تراکم سطح

منابع:

- اسلامی، س.س، درخشانی، ر، کاربرد روش‌های عددی در شناسایی چشمه‌های لرزه‌ای: مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. دوره ۴، شماره ۱۴، صفحه ۶۰-۶۴
- آقاناتی، ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ ص
- پرتابیان، ع، فتوحی، ص. ریگی، ح. ۱۳۹۵. استفاده از روش احتمالاتی در پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای استان سیستان و بلوچستان. دوره ۵، شماره ۸، ص ۱-۱۶.
- خاکسفیدی، ع، نورا، ن، بیرویدیان، ن، نجفینژاد، ع. ۱۳۸۹ الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد هفدهم، شماره اول ص ۴۵-۶۱
- شریعت جعفری، م، غیومیان، ج. ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل آنالیز آماری دومتغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش. مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۴، ص ۷۳۱-۳۴۱.
- شیرانی، ک، سیف، ع، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری منطقه پیشکوه، شهرستان فریدو نهر. فصلنامه علوم زمین، سال بیست و دوم، شماره ۸۵، ص ۱۴۹-۱۵۸.
- شیرانی، ک، و سیف، ع، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدونشهر)، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۵، پاییز ۱۳۹۱، ص ۱۴۹-۱۵۸.
- صابری چناری، ک، سلمانی، ح، محمدی، م، ۱۳۹۴. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش مطالعات و LNRFL. اکو هیدرولوژی، دوره ۲ شماره ۱ ص ۱۰۵-۱۱۶
- طیبا، ع، داداشی، م، نوربخش، س. ف، جمالی، ع، حسن‌آبادی، ع. ۱۳۹۴. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهرستان بن استان چهارمحال و بختیاری. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی سال ۲۶ پاییز ۲۷ شماره ۱ ص ۱۰۵-۱۱۶.
- کامران زاد، ف، محصل افشار، ع، مجرب، م، حسن، م. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی. فصلنامه علوم زمین سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، ص ۱۰۱-۱۱۴.
- کزندآی، آ، اونق، م، سعدالدین، ا. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین‌لغزش مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز زیارت، استان گلستان. دو فصل‌نامه علمی پژوهشی مدیریت بحران شماره هفتم، ص ۵۱-۶۲
- کریمی، ج، گرایبی، پ، توکلی، م، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر وقوع فروچاله با استفاده از رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی، فروچاله های ریزش دشت جابر استان ایلام)، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، ص ۶۲-۵۳.

- مصفايي، ج.، اونق، م.، مصداقي، م.، محسن شريعت، ج.، ۱۳۸۸. مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آب خیز الموت رود). مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک جلد شانزدهم، شماره چهارم، ص ۴۱-۶۱.
- نيک‌اندیش، ن.، ۱۳۷۸. بررسی نقش عوامل هیدرو اقلیم در وقوع حرکات توده‌ای با توجه به نقش رسوب زایی آن‌ها در حوضه کارون. پایان‌نامه دکتری هیدرو اقلیم. دانشگاه اصفهان، ۱۸۱ ص.
- Conforti, M., Pascale, S., Robustelli, G. & Sdao, F. 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena*, 113, 236–250.
- Constantin M, Bednarik M, Jurchescu MC, Vlaicu M. 2010, Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania), *Environmental Earth Science*, 63:397-406.
- Ercanogla, M. Cokceoglu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide pron area north of yenic, NW turkey by fuzzy Approach. *Environmental geology*. 41: 720-730.
- Gee, M. D., 1992. Classification of landslides hazard Zonation methods and a test of predictive capability, Bell, Davi, H (Ed.), *Proceedings 6th International Symposium on Landslide*, 48-56.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P. Carrara, A., 2000. Comparing landslide map: A case study in the upper Tiber river basin, central Italy. *Environmental management*. 25: 247-263.
- Jade, S. Sarkar, S., 1993 Statistical models for Slope Instability classifications *Engineering Geology*, 36, 91-98.
- Kornejady, A., Kohzad, H., Sarparast, M., Khosravi, G., Mombeini, M., 2014. Performance assessment of two “LNRF” and “AHP-Area Density” models in landslide susceptibility zonation. *Journal of Life Science and Biomedicine*, 4 (3), 169-176.
- Kumar K, Sati D, Goyal N, Mathur S. 2005. Landslide hazard potential analysis using GIS, Patalganga Valley, Garhwal, Western Himalayan region of India. *European Journal of Scientific Research*. 45(3):346–366
- Larsen, M.C., Wiczorek, G.F., Eaton, L.S., Torres-Sierra, H., Morgan, B.A., 2001. Venezuelan debris flow and flash flood disaster of 1999 studied. *Eos. Trans. Am. Geophys. Union* 82 (47)572–573.
- Lee, S. kyungduck, M., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea. *Enviromented geology*. 40:1095–1113.
- Meinhardt M, Fink M, Tünschel H .2015. Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics. *Geomorphology* 234:80–97
- Pardeshi, S.D., Autade, S.E., Pardeshi, S.S., 2013. Landslide hazard assessment: recent trends and techniques. *Springerplus* 2, 523.
- Partabian, A., Nourbakhsh, A. and Ameri, S., 2016. GIS-based evaluation of geomorphic response to tectonic activity in Makran Mountain Range, SE of Iran. *Geosciences Journal*, 20(6), pp.921-934.
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B., 2012d. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood basin, Iran. *Catena* 97, 71–84.
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., 2012c. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*. 10.1007/s11069-012-0217-2
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., McDonald, E.V. & Vitek, J.D. 2014. A comparison of logistic regression-based models of susceptibility to landslides in western Colorado, USA. *Landslides*, 11, 247–262.
- Saha, A.K., Gupta, R.P., Arora, M.K., 2002. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. *Int. J. Remote Sens*. 23, 357–369.
- Sarkar, S, Kanungo. D, P, Patra. A. K., Kumar. P, 2008. GIS based spatial data analysis for landslide susceptibility mapping, *Journal of Mountain Science*. 1. 52–62.
- Schilirò L, Montrasio L, Scarascia G.M, 2016 Prediction of shallow landslide occurrence: Validation of a physically-based approach through a real case study., *Science of the Total Environment* 569–570 .134–144
- Shahabi H, Khezri S, Ahmad BB, Hashim M., 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: a comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *CATENA* 115:55–70
- Shirani, K., Ghayomian, J. and Mokhtari, A., 2005. Evaluation of bivariate and multivariate statistical methods in landslide hazard zonation, *Journal of Water and Watershed, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, 36-48.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, A review. *American. Association Petroleum Geology*. 52, 1229-1258.
- Teixeira, M., Bateira, C., Marques, F Vieira, B. 2015. Physically based shallow translational landslide susceptibility analysis in Tibo catchment, NW of Portugal *Landslides* 12,455–468
- Torkashvand, A. M., Irani, A., & Sorur, J. (2014). The preparation of landslide map by Landslide Numerical Risk Factor (LNRF) model and Geographic Information System (GIS). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), 159-170.
- Xu, C., Dai, F., Xu, X., Lee, Y.H., 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. *Geomorphology*. .2011.12.040.
- Yilmaz, I., 2010. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine. *Environmental Earth Sciences* 61 (4), 821–836.
- Yin, K. J. Yan, T. Z., 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks, *Proceedings 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland*. 2, 1269-1272.