

ارزیابی پتانسیل زمین لغزش در مخزن سد خاکی پلرود با رویکرد چند معیاره فازی

مریم دهبان ایوان استخری^{۱*}، محمد غفوری^۲، غلامرضا لشکری پور^۳، مجتبی زارع صفت^۳، امیر سیار^۴

پذیرش مقاله: ۹۲/۰۵/۰۲

دریافت مقاله: ۹۱/۰۹/۲۱

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی پتانسیل زمین لغزش در مخزن سد خاکی پلرود با استفاده از رویکرد چند معیاره فازی می باشد. پس از بررسی و بازدید میدانی و با توجه به اطلاعات موجود، ده متغیر شامل شیب زمین، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، بارش باران، شتاب افقی زلزله، شاخص پوشش گیاهی و انحنا دامن جهت ارزیابی پتانسیل وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شد. با استفاده از مدل احتمالی نسبت فراوانی سطح همبستگی بین نقاط لغزشی موجود و هریک از عوامل مؤثر تعیین گردید. نتایج به دست آمده نشان می دهد که مدل نسبت فراوانی، مدل ساده و خوبی برای محاسبه شاخص حساسیت زمین لغزش متغیرها می باشد. با محاسبه مقدار LSI (شاخص حساسیت زمین لغزش) برای متغیرهای گوناگون، مشخص شد که جهت شیب دارای بیشترین مقدار LSI می باشد. در این مطالعه از دو نوع تابع (user define, Gaussian) جهت فازی کردن متغیرها استفاده شده است. با استفاده از وزن های به دست آمده از روش AHP و پنج عملگر فازی نقشه های حساسیت زمین لغزشی تولید شده است. با در نظر گرفتن مقادیر Q_1 و کارایی خوب عملگر Gamma جهت پهنه بندی، نقشه تولید شده با تابع User define و عملگر Gamma 0.95 دارای بهترین کیفیت است.

کلید واژه ها: زمین لغزش، پلرود، رویکرد چند معیاره فازی، شاخص حساسیت زمین لغزش

۱. کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد mdehban84@gmail.com

۲. استاد، زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. کارشناس ارشد ژئوهیدرولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. کارشناس ارشد پترولوژی، شرکت مهتاب قدس

* مسئول مکاتبات

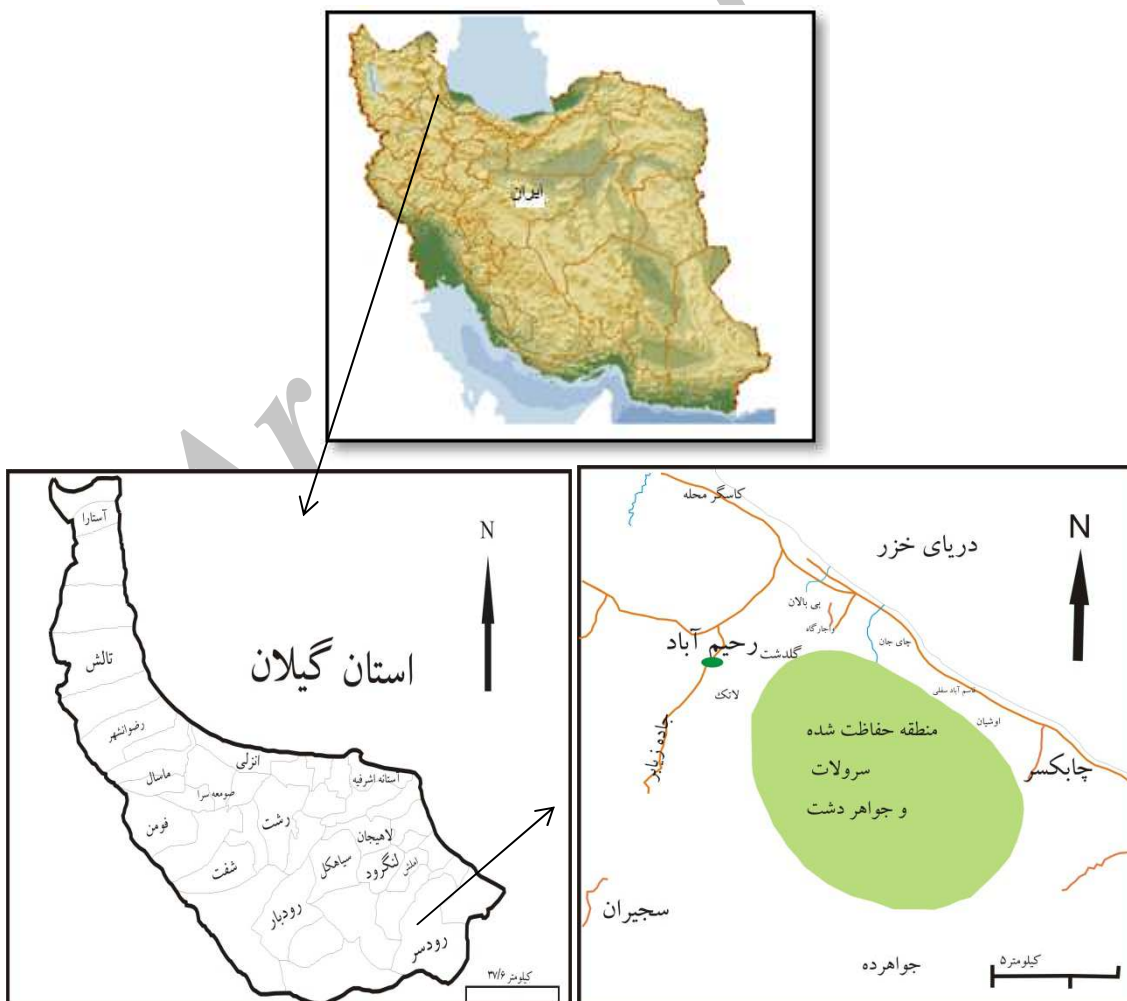
۱. مقدمه

زمین لغزش عبارت از کلیه‌ی حرکات و گسیختگی‌های شیبی یا دامنه‌ای کند تا سریع است که با کاهش ناگهانی ضریب اطمینان به سطح پایین‌تر از واحد تحت تأثیر غلبه نیروهای مخرب، محرک یا مهاجم بر نیروهای مقاوم در سطح شیب‌دار به وقوع می‌پیوندد (معماریان ۱۳۸۳). با توجه به اینکه وقوع پدیده‌هایی چون زمین لغزش در محدوده مخزن یک سد مخاطرات زیادی مانند افزایش رسوب ورودی به سد و از بین رفتن حجم مفید مخزن و احتمال ایجاد امواج آب با ارتفاع زیاد را به دنبال خواهد داشت، لذا بررسی دامنه‌های مشرف به مخزن یک سد از نظر پتانسیل لغزش همواره در دستور کار مجریان طرح‌های عمرانی قرار داشته است. در سال‌های اخیر ارزیابی خطر زمین لغزش در مقیاس متوسط و منطقه‌ای تبدیل به یک موضوع مهم برای متخصصان رشته‌های مختلفی همچون زمین‌شناسی مهندسی، مهندسی ژئوتکنیک و ... شده است. این وضعیت در نتیجه افزایش تأثیر رخداد زمین لغزش بر شهرسازی، فعالیت‌های مهندسی و فعالیت‌های وابسته به اقتصاد اجتماعی در نواحی مستعد زمین لغزش می‌باشد (Murat and Candan, 2004). از این جهت، تولید نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش در مرحله قبل از ارزیابی زمین لغزش، دارای یک اهمیت شاخص برای ایمنی و برنامه‌های اقتصادی است. مهم‌ترین مشخصه عمل‌کننده یک نقشه حساسیت لغزش (LSM)، قابلیت اعتماد و دقت احتمالات آینده است (Sorters and Van Weston, 1996). درجه دقت نقشه به طور اساسی به کمیت و کیفیت داده‌های در دسترس، مقیاس نقشه، روش تحلیل و مدل‌سازی وابسته است (Yalcin, 2008). تکنیک‌های نقشه‌برداری حساسیت زمین لغزشی به دو گروه کیفی و کمی تقسیم می‌شوند. تکنیک‌های کیفی مانند رویکردهای ابتکاری، نقشه‌برداری ژئومورفولوژیکی مستقیم و... در میان جامعه زمین‌شناسی مهندسی و ژئومورفولوژیست تا پایان دهه ۱۹۷۰ خیلی معمول بود. تکنیک‌های کمی همچون روش‌های آماری، جبری، فازی و... به توسعه کامپیوتر و تکنولوژی سیستم اطلاعات

جغرافیایی وابسته است (Murat and Candan, 2004). ایده منطق فازی اجسام فضایی روی یک نقشه را به صورت عضوهایی از یک مجموعه مورد رسیدگی قرار می‌دهد. در تئوری مجموعه کلاسیک، یک شیء در صورتی که مقدار عضویت ۱ داشته باشد یک عضو از یک مجموعه محسوب و در غیر این صورت آن شیء عضو مجموعه نبوده و مقدار عضویت آن صفر می‌باشد (Zadeh, 1965). در تئوری مجموعه فازی، هر مقدار بین ۰ و ۱ منعکس‌کننده درجه قطعیت آن عضویت می‌باشد. روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) توسط (Saaty, 1980) بر اساس تحلیل فکری انسان برای مسائل پیچیده ارائه شده است. در یک مسئله AHP، در بالاترین سطح هدف قرار دارد و در سطوح میانی معیارهای اصلی و فرعی به ترتیب در سطوح جداگانه قرار می‌گیرند. در این تحقیق کوشش شده است تا با در نظر گرفتن مزایای هر دو روش به پهنه‌بندی منطقه به لحاظ وقوع زمین لغزش پرداخته شود. از آنجایی که در روش فازی، ترکیب متغیرهای مختلف توسط عملگرهای فازی به صورت یکسان انجام می‌شود، لذا جهت برطرف کردن این نقص، هر متغیر در وزن‌هایی که از روش AHP به دست آمده است، ضرب شده و پس از این مرحله متغیرهای مختلف توسط عملگرهای فازی ترکیب می‌شوند. Saboya and et al. (2006) به ارزیابی پتانسیل لغزش دامنه‌های خاکی در شهر Itaperuna با استفاده از منطق فازی پرداختند و دریافتند که پیاده‌سازی مدل‌های هوشمند با استفاده از منطق فازی در مهندسی ژئوتکنیک کاملاً برای منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد. (Gorsevski and Jankowski, 2010) در استفاده از فیلتر Kalman و مجموعه‌های فازی در ارزیابی حساسیت زمین لغزشی اظهار داشتند که در مقایسه با تکنیک Fuzzy/AHP، روش فازی نتایج پیش‌بینی بهتری را برای هر دو مدل حساسیت زمین لغزشی RR (زمین لغزش‌های مرتبط با جاده) و NRR (زمین لغزش‌های غیرمرتبط با جاده) به نمایش گذارده است. فاطمی‌عقدا و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی، پهنه‌بندی حساسیت

(Tangestani, 2009) منطق فازی و فاکتورهایی همچون زاویه شیب، ارتفاع توپوگرافی، جهت شیب، عمق هوازدگی، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از جاده را جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه کاکان استفاده نموده و پیشنهاد می‌کند که مقادیر متفاوتی از گاما (عملگر فازی) را امتحان کنیم و نتایج را بر اساس روابط بین زمین لغزش‌های شناسایی شده و زون‌های حساسیت ارزیابی کنیم. هدف از این مطالعه بررسی منطقه به لحاظ پتانسیل استعداد داری زمین لغزش با رویکرد چند معیاره فازی (Fuzzy/AHP) برای دو مدل تابع Gaussian, User define و مقایسه این دو گروه نقشه به لحاظ کیفی میباشد. در انتها مناطق با حساسیت بالا شناسایی خواهد شد.

زمین لغزش را در منطقه رودبار گیلان انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که به کارگیری ریاضیات و منطق فازی در ارزیابی حساسیت زمین لغزش طبیعت و ماهیت این پدیده و داده‌های مورد استفاده در ارزیابی آن را که همواره با نوعی ابهام و عدم قطعیت همراه است را به دلیل قابلیت فرموله نمودن دانش بشری در قالب ریاضی، تبدیل به ابزاری سودمند در ارزیابی حساسیت زمین لغزش می‌نماید. (Murat and Candan, 2004) در پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازی جهت تولید نقشه پتانسیل زمین لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) به این نتیجه رسیدند که به دلیل پیچیده بودن ماهیت پدیده‌ی زمین لغزش و دخالت عوامل متعدد در رخداد آن، به کار بردن روابط فازی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش از سایر روش‌ها بهتر و به واقعیت نزدیک‌تر است. تنگستانی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲. منطقه مورد مطالعه

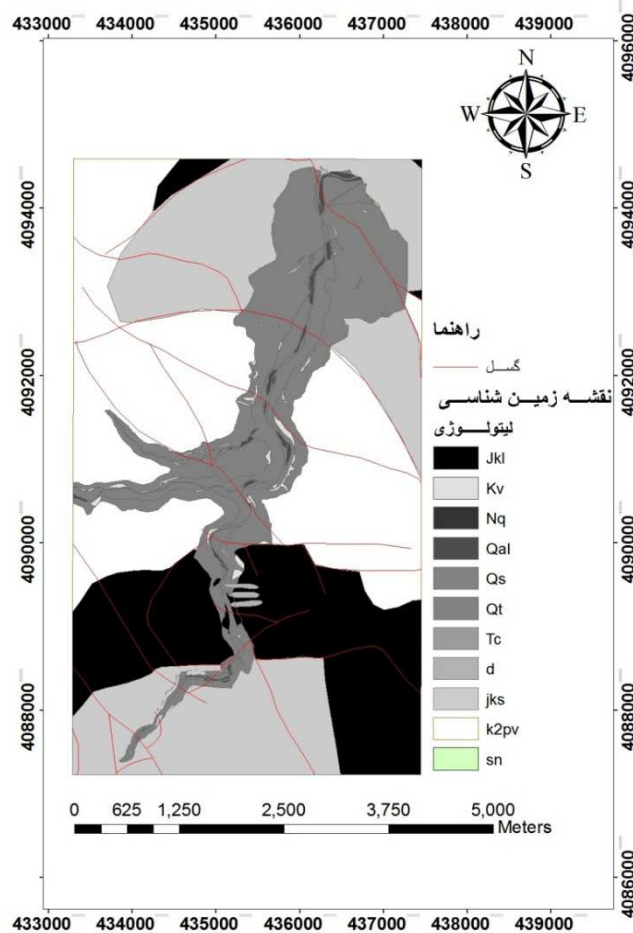
ساختمان سد خاکی پلرود در منتهی‌الیه جنوب شرقی استان گیلان با مختصات $48^{\circ} 58' 36''$ عرض شمالی و $50^{\circ} 17' 6''$ طول شرقی در فاصله ۲۹ کیلومتری جنوب شهر رودسر بر روی رودخانه پلرود قرار گرفته است. گستره طرح در بخشی از ارتفاعات حاشیه شمالی رشته کوه البرز که به کوهستان اشکور مشهور می‌باشد، قرار دارد. به لحاظ تقسیمات کشوری در دهستان رحیم‌آباد از بخش رحیم‌آباد شهرستان رودسر واقع می‌گردد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مخزن سد پلرود با روند شمالی - جنوبی در میان واحدهای رسوبی و آتشفشانی دوران دوم قرار گرفته است (شکل ۲). محدوده مخزن به لحاظ ریخت‌شناسی دره و تکیه‌گاه‌ها متنوع می‌باشد که این امر بیش از هر چیز ناشی از تأثیر ساختار زمین‌شناسی محدوده است. مرز واحدهای چینه‌شناسی نیز در این محدوده با عوارض ریخت‌شناسی توأم است. این عوارض شامل آبراهه‌ها و محدوده‌های ریزشی و رانشی می‌باشد که شرایط اقلیمی نیز در شکل‌گیری آنها مؤثر بوده است. گسترش مخزن سد پلرود حدود ۲/۶ کیلومتر مربع می‌باشد. درازای محور اصلی دریاچه ۶/۲ کیلومتر است که دو شاخه فرعی نیز در ساحل چپ با درازای ۱/۶ و ۱/۵ کیلومتر به ترتیب در رودخانه‌های پرشو و سوگوا بر پیشرفته است.

۳. مواد و روش‌ها

مرحله اول هر ارزیابی استعداد دارای زمین‌لغزش، جمع‌آوری همه اطلاعات قابل دسترس برای ناحیه مورد مطالعه را شامل می‌شود (Aleotti and Chowdhury, 1999). این مرحله ممکن است مهم‌ترین قسمت کار برای کاهش حساسیت باشد. در منطقه مورد مطالعه پس از بررسی و بازدید میدانی و با توجه به اطلاعات موجود، ده متغیر برای ارزیابی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. متغیرهای ژئومورفولوژیکی شامل شیب زمین، جهت شیب، انحنای دامنه و متغیرهای زمین‌شناسی شامل لیتولوژی، فاصله از گسل، شتاب افقی زلزله و سایر متغیرها شامل فاصله از جاده، فاصله

از آبراهه، بارش باران و شاخص پوشش گیاهی می‌باشند. با توجه به اینکه مقیاس نقشه‌های خروجی ۱/۲۵۰۰۰ است، اندازه پیکسل‌ها 10×10 انتخاب شده است. نقشه پراکندگی زمین‌لغزش در منطقه، توسط بازدیدهای میدانی، نقشه‌های موجود و استفاده از GPS تهیه شده است (شکل ۳). جهت تولید نقشه شیب، جهت شیب و انحناء با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه، مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با استفاده از سه روش درون‌یابی تهیه شده است. در ادامه با استفاده از DEM تولید شده با روش IDW، نقشه شیب، جهت شیب و انحنای دامنه منطقه تهیه گردید. زاویه شیب یکی از پارامترهای توپوگرافیکی خیلی مهم در کنترل رخداد زمین‌لغزش است و به این دلیل، این داده تقریباً در همه مطالعات حساسیت زمین‌لغزش و ارزیابی حساسیت و ریسک استفاده شده است (i.e., Atkinson and Massari, 1998; Can et al., 2005; Nefeslioglu et al., 2008; Yilmaz, 2010; Akgun and Turk, 2010; Nefeslioglu et al., 2010; pradhan et al., 2010). حقیقت انحنای مورفولوژیکی و توپوگرافیکی منطقه را نمایش می‌دهد (Wilson and Gallant, 2000). جهت شیب با توجه به سیستم باران‌زا و همچنین هم‌جهتی شیب دامنه با شیب لایه‌بندی دارای اهمیت می‌باشد.

جهت افزایش دقت کار و تولید نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ (شکل ۲)، از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ جواهرده (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۰۰۳) و هفت شیت با مقیاس (۱/۲۵۰۰) تولید شده توسط شرکت مهتاب قدس استفاده گردید. جهت تولید نقشه فاصله از جاده، نقشه فاصله از گسل و نقشه فاصله از آبراهه‌ها در محیط Arc GIS 10 از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ جواهرده استفاده شده است. نقشه تراز هم‌باران با استفاده از آمار ۱۳ ایستگاه هواشناسی (طول‌لات، موسی‌کلایه، شاه‌شهیدان، پیرکوه، شلمان، لاهیجان، کیاکلایه، بیجار، شیرو، کاکرود، بی‌بالان، دیلمان، دیارجان، هراتبر) تهیه شده و سپس محدوده مورد نظر از آن جدا گردیده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گیلان ۱۳۷۸-۱۳۸۹).



راهنا سنگ شناسی

Jkl: آهک توده ای تا نازک لایه کرم تا خاکستری رنگ در بعضی جا ها با لایه ها یا ندول های چرتی

Kv: کوه رفت

Nq: کنگلومرای ننوزن

Qal: آبرفت های سست هولوسن

Qs: واریزه های کوهی و سنگ افتان ها

Qt: تراس آبرفتی قدیمی

Tc: تراکیت

D: سیل و دایک متوسط تا باریک

Jks: تئوب آهک ماسه ای، ماسه سنگ، شیل و آهک یا عضو آتشفشانی

K2pv: سنگ های آتشفشانی باریک با ساختار بالشی با بافت بادامکی و میان لایه هایی از سنگ های آنزآوری

Sn: سنینت

شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

قابلیت انعکاس سطحی است و یک تخمین کمی از رشد گیاهان و توده زنده را به دست می آورد (Hall et al, 1995). مقادیر خیلی کم از NDVI (۰/۱) و کمتر) منطبق با نواحی بایر، ماسه ای یا برفی است. مقدارهای متوسط (۰/۲-۰/۳) علفزارها و بوته زارها را نشان می دهد. درحالی که مقادیر بالا (۰/۶-۰/۸) جنگل های بارانی گرمسیری و معتدل دلالت می کند (Weier and Herring, 2005). شاخص پوشش گیاهی از طریق رابطه ی (۱) قابل محاسبه است.

با توجه به اینکه دو محدوده زمین لغزشی مهم در مجاورت شاخه امتداد لغز گسل بیناکسر قرار گرفته اند، مقدار شتاب افقی زلزله در رابطه با اثر فعالیت این گسل در نقاطی با فاصله حداقل ۶ کیلومتری از طریق فرمول بزرگنیا و کمپل (۱۹۹۴) محاسبه و نقشه ی شتاب افقی زلزله تهیه شده است، سپس محدوده مورد نظر از آن جدا گردیده است. در این مطالعه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به صورت یک پارامتر محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. NDVI یک مقدار از

تقسیم نسبت مناطق لغزش (پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) محاسبه و شاخص حساسیت لغزشی براساس رابطه (۲) تعیین گردید (Lee, 2007).

$$LSI = \sum Fr \quad (2)$$

که در این رابطه LSI: شاخص حساسیت زمین لغزش (Lee, 2007) و Fr نسبت فراوانی هر کلاس از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش می‌باشد. در رابطه (۲) اگر $Fr > 1$ باشد همبستگی عامل مؤثر با زمین لغزش بسیار زیاد و اگر $Fr < 1$ باشد، این همبستگی بسیار ضعیف است. به منظور تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی، بین صفر و یک نرمال‌سازی گردید. (Lee, 2007; Chi et al., 2002). نرمال‌سازی بر اساس رابطه (۳) انجام شده است.

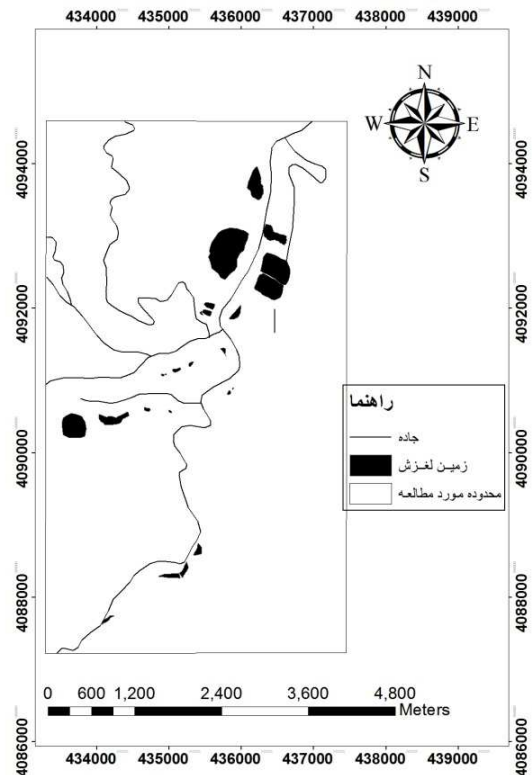
(۳)

$$membership\ degree = \frac{Fr_i - Fr_{min}}{Fr_{max} - Fr_{min}}$$

در رابطه (۳) مقدار نسبت فراوانی برای هر کلاس متغیر است. سپس بر اساس درجات عضویت در محیط ArcGIS10 متغیرهای مختلف فازی شده و با آزمون و خطا بهترین تابع برای فازی کردن نقشه‌های عوامل مختلف انتخاب گردیدند. در این مطالعه از دو نوع تابع Gaussian (شکل ۴) و تابع User define (شکل ۴) استفاده شده است. جهت تولید نقشه‌هایی با تابع User define (این نوع از تابع به کاربر امکان می‌دهد تا درجه عضویت هر عضو از مجموعه را تعیین کند) از نرم‌افزار Idrisi استفاده شده است و سپس نقشه‌های فازی متغیرها به محیط Arc GIS10 با فرمت رستری انتقال داده شده است. بعد از این مراحل نقشه هر عامل در وزن‌هایی که برای هر کدام از آنها از طریق نرم‌افزار Expert choice توجه به مقادیر شاخص حساسیت زمین لغزش (LSI) بدست آمده، ضرب شده است و در انتها با استفاده از عملگرهای فازی Or, Gamma و Sum (روابط ۴ تا ۶)، نقشه عوامل مختلف هم پوشانی داده شدند تا نقشه حساسیت زمین لغزش برای هر دو نوع تابع تولید گردد. فلوجارت روش کار در شکل ۵ به نمایش در آمده است.

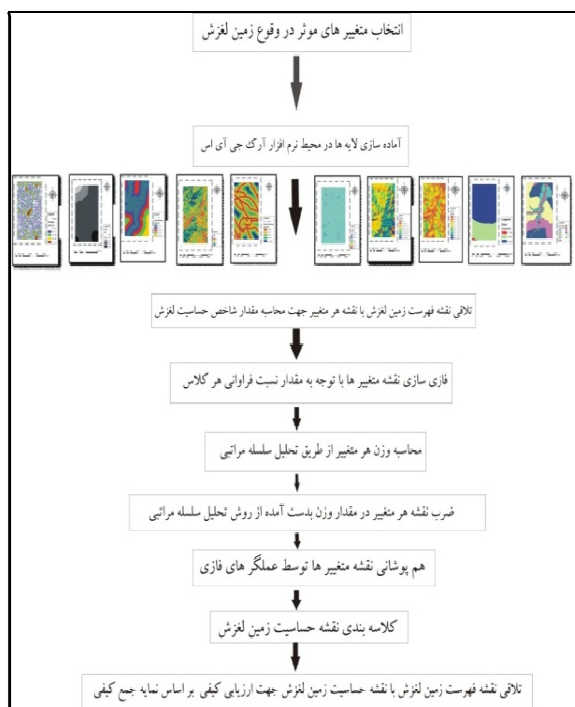
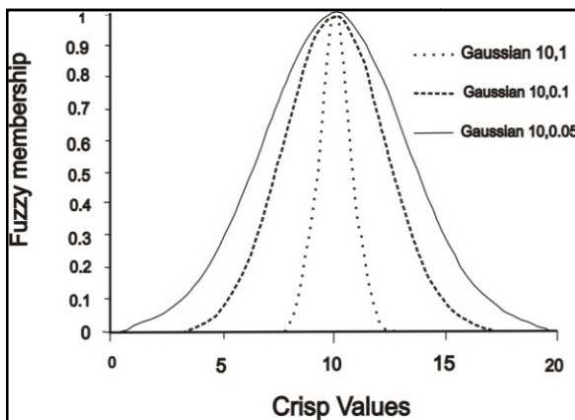
$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \quad (1)$$

که در این رابطه IR طول موج مادون قرمز و R طول موج نور قرمز می‌باشد. جهت محاسبه NDVI از تصویر ماهواره‌ای IRS (۲۰۰۶) و نرم‌افزار Idrisi استفاده شده است (باند ۳ و ۲ تصویر ماهواره‌ای IRS).



شکل ۳. نقشه فهرست زمین لغزش

ارزیابی روابط بین رخداد زمین لغزش و پارامترهای مؤثر، برای نقشه‌برداری استعداد داری زمین لغزش خیلی مهم است. زمانی که مدلی برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش به کار برده می‌شود، تعریف درجات کنترلی شاخص حساسیت (LSI) برای هر عامل مهم می‌باشد. بدین منظور با استفاده از مدل احتمالی نسبت فراوانی سطح همبستگی بین نقاط لغزشی موجود و هریک از عوامل مؤثر تعیین گردید. برای محاسبه نسبت فراوانی هریک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه هر متغیر با نقشه فهرست زمین لغزش جهت محاسبه درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه قطع داده شد و نهایتاً نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از



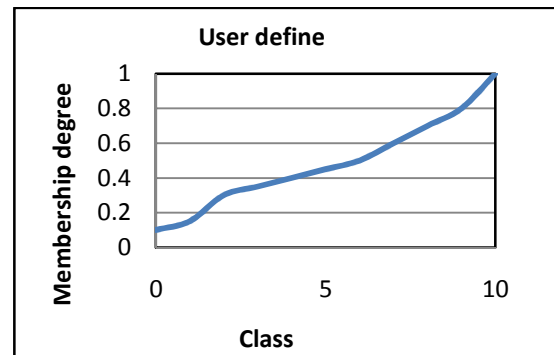
شکل ۵. فلو چارت روش کار در این مطالعه

در این مطالعه نقشه های فازی برای پنج عملگر فازی تولید شده است. ولی به دلیل اینکه تنها نقشه های عملگرهای OR، Sum، Gamma0.95 و Gamma0.98 دارای درجات عضویت بالاتر ۰/۲ بودند، مورد ارزیابی کیفی قرار گرفتند. درجات عضویت ۰/۲۵-۰ در رده حساسیت پایین، ۰/۲۵-۰/۵۰ در رده حساسیت متوسط، ۰/۵۰-۰/۷۵ در رده حساسیت بالا و ۰/۷۵-۱ در رده حساسیت خیلی بالا دسته بندی شده است. اشکال ۶ و ۷ نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش را با تابع User define و عملگرهای فازی Gamma0.95 و OR را به نمایش گذاشته است.

(۴): عملگر Gamma

$$\mu_{combination} = (Fuzzy\ lg\ ebraic\ sum)^\gamma * (Fuzzy\ lg\ ebraic\ product)^{1-\gamma}$$

بر طبق رابطه (۴) اگر $\gamma = 1$ باشد نقشه خروجی همان نقشه حاصل از Fuzzy Sum خواهد بود و اگر $\gamma = 0$ باشد نقشه خروجی، نقشه حاصل از Fuzzy Product خواهد بود.



شکل ۴. تصویر تابع Gaussian در محیط Arc GIS10 و تابع

عضویت User define

بنابراین محدوده تغییرات μ بین صفر و یک می باشد (Bonham-Carter, 1994; Lee, 2007).

(۵): عملگر Sum

$$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i)$$

در اپراتور sum (رابطه ۵)، متمم ضرب متمم مجموعه ها محاسبه می شود. در این رابطه μ_i ، درجه عضویت متغیر i است.

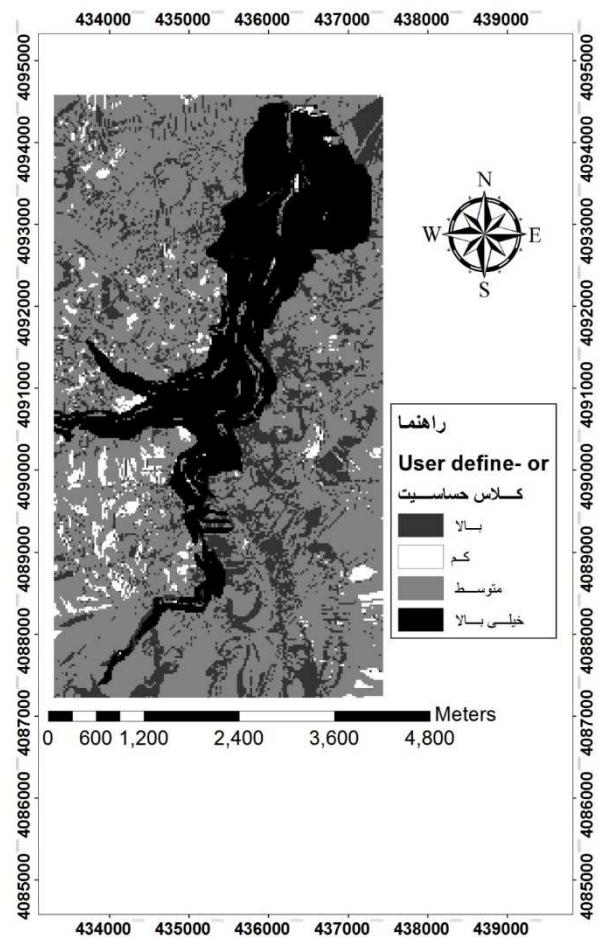
(۶): عملگر Or

$$\mu_{combination} = Max(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots)$$

در رابطه بالا μ_A : درجه عضویت متغیر A، μ_B : درجه عضویت متغیر B و ... می باشد. اپراتور فازی Or (رابطه ۶)، عملگر اجتماع مجموعه هاست (Bonham-Carter, 1994; Lee, 2007).

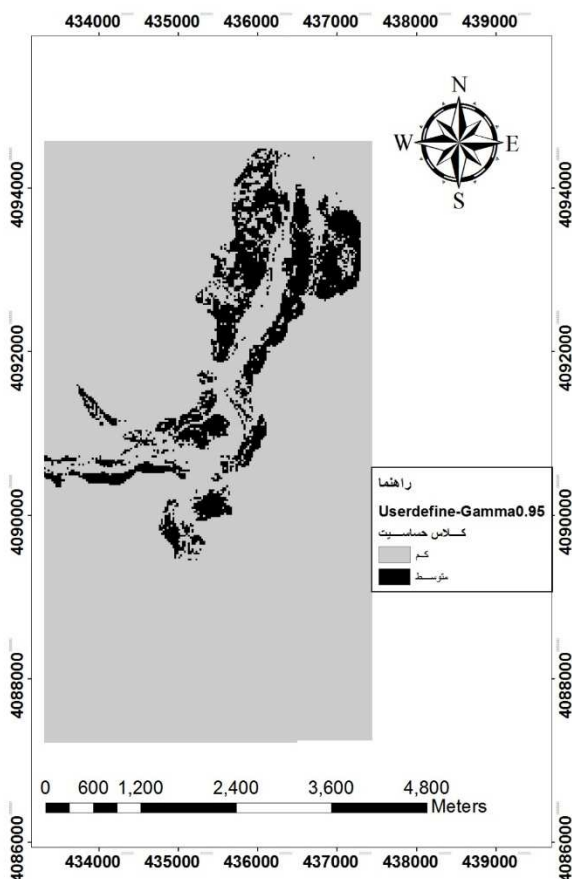
زمین لغزش‌ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین لغزش محاسبه میگردد. مقدار Dr مساوی یک برای رده حساسیت خاص بیانگر آن است که تراکم زمین لغزش مساوی تراکم زمین لغزش در کل منطقه است (پورقاسمی، ۱۳۸۶).

در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه استعداد داری تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار جمع کیفی (Q_s) نقشه‌های صحیح‌تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی نمود. یک نقشه‌ی استعداد داری خوب، نقشه‌ای است که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین لغزش ایجاد نماید. Q_s بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده‌های حساسیت گوناگون است (میرصانعی، ۱۳۸۲، Gee, ۱۹۹۱).



شکل ۶. نقشه حساسیت زمین لغزش با تابع userdefine و

عملگر OR



شکل ۷. نقشه حساسیت زمین لغزش با تابع userdefine و

عملگر Gamma0.95

۴. ارزیابی عملگرها با استفاده از نمایه جمع کیفی (Q_s) نتیجه حاصله از انجام پهنه‌بندی پتانسیل زمین لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که رده‌های مختلف حساسیت در منطقه نشان میدهد. بسته به تعداد رده‌های حساسیت در منطقه با عباراتی نظیر بدون حساسیت، حساسیت بسیار کم، حساسیت کم، حساسیت متوسط، حساسیت زیاد و یا بسیار زیاد معرفی می‌گردد (پورقاسمی، ۱۳۸۶). برای مقایسه رده‌های مختلف حساسیت از تراکم زمین لغزش‌ها با نسبت تراکمی (Dr) در هر یک از رده‌های حساسیت استفاده می‌شود. تراکم زمین لغزش در نقشه‌های حساسیتی که به طور صحیح تهیه شده‌اند از رده حساسیت کم تا رده‌های با حساسیت بالا به صورت صعودی است. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین لغزش در رده حساسیت خاص به تراکم متوسط

جدول ۱. نتایج ارزیابی کیفی نقشه های تولید شده با عملگر های مختلف برای دو تابع Gaussian و Userdefine

Gaussian-or	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۰/۱۳	۳/۹۶	۰/۰۳۲۸	۰/۰۳۷
۰/۲۵-۰/۵۰		۱۶/۸۲	۵۷/۹۶	۰/۲۹۰	۰/۲۹۲
۰/۵۰-۰/۷۵		۶/۱۸	۱۷/۸۷	۰/۳۴۵	۰/۰۷۶۴
۰/۷۵-۱		۷۶/۸۶	۲۰/۲	۳/۸۰۴	۱/۵۸۹
جمع کل QS					۱/۹۹۴۴
Gaussian-sum	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۰	۰	۰	۰
۰/۲۵-۰/۵۰		۰	۰/۱۹۲	۰	۰/۰۰۱۹۲
۰/۵۰-۰/۷۵		۴/۴۳	۲۴/۱۲۷	۰/۱۸۳	۰/۱۶۰
۰/۷۵-۱		۹۵/۵۶	۷۵/۶۸	۱/۲۶	۰/۰۵۲۲
جمع کل QS					۰/۲۱۴۹
Gaussian-gamma0.98	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۰	۰/۱۵۷	۰	۰/۰۰۱۵۷
۰/۲۵-۰/۵۰		۱۲/۸	۵۸/۵۶	۰/۲۱۸۵	۰/۳۵۷
۰/۵۰-۰/۷۵		۸۷/۱۳	۴۱/۲۷	۲/۱۱۱	۰/۵۰۹
جمع کل QS					۰/۶۸
Gaussian-gamma0.95	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۲۱/۵	۷۶/۶	۰/۲۸	۰/۳۹۷
۰/۲۵-۰/۵۰		۷۲/۸۴	۲۳/۳	۳/۱۲۶	۱/۰۵۳
جمع کل QS					۱/۴۵
Userdefine-sum	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۰	۰	۰	۰
۰/۲۵-۰/۵۰		۰/۱۵۶	۵/۵۶	۰/۰۲۸	۰/۰۵۲۵
۰/۵۰-۰/۷۵		۷/۹۶	۵۲/۲	۰/۱۵۲	۰/۳۷۵
۰/۷۵-۱		۹۱/۸۸	۴۲/۱۷	۲/۱۷۸	۰/۵۸۵
جمع کل QS					۱/۰۱۳۴
Userdefine-or	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۰	۱/۰۱	۰	۰/۰۱۰
۰/۲۵-۰/۵۰		۱۹/۴۳	۶۹/۱۵	۰/۲۸	۰/۳۵۸
۰/۵۰-۰/۷۵		۴/۳۷	۱۴/۱۵	۰/۳۰۸۸	۰/۰۶۷۶
۰/۷۵-۱		۷۶/۱۸	۱۵/۶۷	۴/۸۶۱	۲/۳۳۶
جمع کل QS					۲/۷۲
Userdefine-gamma0.95	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۴۲/۲۶	۹۰/۱۰	۰/۴۶۹	۰/۲۵۴۰
۰/۲۵-۰/۵۰		۵۷/۷	۹/۸۹	۵/۸۳۸	۲/۳۱۴
جمع کل QS					۲/۵۶۸
Userdefine (gamma0.98)	کلاس حساسیت	زمین لغزش %	مساحت پهنه حساسیت %	DR	$(DR-1)^2 \times A$
۰-۰/۲۵		۱۳/۱۱	۵۴/۸	۰/۲۳۹	۰/۳۱۷
۰/۲۵-۰/۵۰		۲۰/۳۹	۳۱/۵۳	۰/۶۴۶	۰/۰۳۹۳
۰/۵۰-۰/۷۵		۶۶/۴۹	۱۳/۶۲	۴/۸۸۱	۲/۰۵۲
جمع کل QS					۲/۴۰۸

مساحت لغزش در هر رده حساسیت به مساحت هر یک از پهنه های حساسیت به نسبت مساحت کل زمین لغزش به سطح حوزه مورد مطالعه، S ؛ نسبت مساحت هر پهنه حساسیت به مساحت کل منطقه و n ؛ تعداد رده های حساسیت است. در این مطالعه هشت نقشه حساسیت زمین لغزش با تابع

ارزیابی عملگرهای مختلف با استفاده از نمایه جمع کیفی (Q_s) بر اساس رابطه (۷) انجام می شود.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (D_r - 1)^2 s \quad (7)$$

که متغیرهای این رابطه به شرح زیر هستند D_r : نسبت

شمال تا شمال غربی دلالت دارد و با مطالعات Abdallah and (et al. 2005)، Ayalew and Yamagishi (2005) و عبادی نژاد و همکاران (۱۳۸۶) همسویی دارد. بررسی لیتولوژی در منطقه ثابت کرد که واریزه‌های دامنه‌ای (Qs) دارای بیشترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش هستند. به دلیل شرایط اقلیمی همانند بیشتر مناطق دامنه‌های شمالی البرز، سطوح دامنه‌ها تا حد زیادی با واریزه‌های دامنه‌ای پوشیده شده است. این رسوبات در اکثر موارد دانه‌ریز تا دانه متوسط هستند و شامل آبشست‌های دامنه‌ای و محدوده‌های ریزشی می‌باشند. (Magliulo and et al. (2008) نیز به نقش مؤثر واریزه‌های دامنه‌ای در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه خود اشاره کرده است. با بررسی نقشه فاصله از گسل مشخص شد که بیشتر لغزش‌ها در محدوده کلاس ۴۰۵/۲۱-۶۰۴/۶۴ متری از گسل قرار دارند و با توجه به تأثیر طول گسل‌ها در بزرگی زلزله و به دنبال آن شعاع تأثیر متفاوت، نمی‌توان به صورت قطعی در این باره اظهار نظر کرد. تأثیر این مقدار فاصله از گسل با مطالعات Abdallah and et al. (2005)، (Sarkar and Kanungo (2009)، Kelarestaghi and (2009) و Ahmadi (2009) و نصر آزادانی و شیرانی (۱۳۸۸) همسویی دارد. با بررسی نقشه فاصله از آبراهه مشخص شد که کلاس ۰-۳۷/۳۶ دارای بیشترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش است. این مطلب بر تراکم بالای آبراهه‌ها و نقش تغذیه‌کنندگی آبراهه‌ها دلالت دارد و با مطالعات Abdallah and et al. (2005) و Sarkar and Kanungo, (2009) همسویی نشان می‌دهد. بررسی نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه نشان داد که کلاس ۰/۲۷۴ دارای بیشترین درصد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. با در نظر گرفتن این نکته که این مقدار از شاخص پوشش گیاهی بیانگر مناطقی با پوشش علفزار و بوته‌زار است و عمق نفوذ ریشه‌ی این گیاهان نیز محدود می‌باشد، اهمیت این کلاس در پدیده زمین‌لغزش آشکار خواهد شد. (Kamp and et al. (2008) و Lee and Dai (2002) و نصر آزادانی و شیرانی (۱۳۸۸) در مطالعات خود بر نقش پوشش علفزار و بوته‌زار در وقوع زمین‌لغزش تأکید کرده‌اند. ارزیابی‌های انجام

Userdefine و Gaussian را مورد ارزیابی کیفی قرار گرفته و نتایج در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج ارزیابی مقادیر Q_s قابل قبولی را برای چهار عملگر به نمایش می‌گذارد. با ارزیابی کیفی نقشه‌های تولید شده با تابع Gaussian و User define مشخص شد که عملگر Sum با مقادیر Q_s (۰/۲۱-۱/۰۱) دارای کمترین کارایی است. مقادیر Q_s (۱/۹۹-۲/۷۷) برای هر دو نوع تابع Gaussian و User define مشخص شد که نقشه‌ی تولید شده با عملگر OR نسبت به عملگر Sum، نقاط مستعد زمین‌لغزش را برای هر دو نوع تابع بهتر به نمایش می‌گذارد. مقادیر Q_s که برای عملگرهای Gamma0.95 و Gamma0.98 در تابع Gaussian حاصل شده است (۰/۸۶-۱/۴۵)، دارای رنج کمتری برای همان عملگرها در تابع User define (۲/۴۰-۲/۵۶) هستند. بررسی مقادیر Q_s به دست آمده برای دو نوع تابع نشان می‌دهد که تابع User define در مقایسه با تابع Gaussian دارای کارایی بیشتری جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

۵. بحث و بررسی نتایج

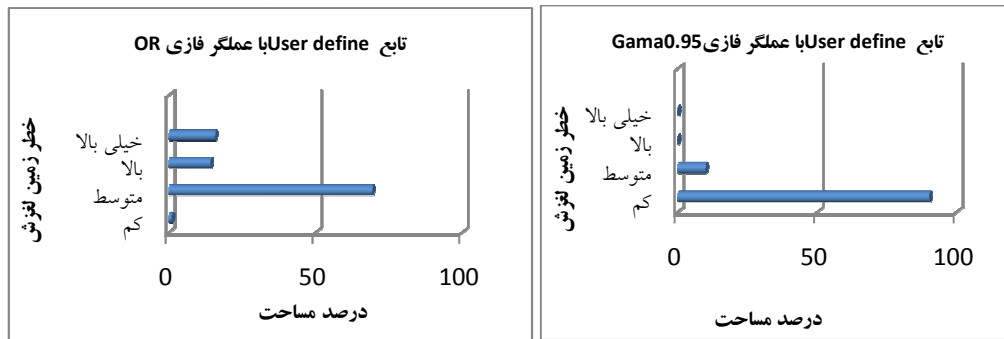
بررسی‌های انجام شده در منطقه نشان می‌دهد که بیشترین لغزش‌ها در کلاس شیب ۱۶/۷۱-۲۲/۴۹ (جدول ۲) درجه رخ داده است. پور قاسمی و همکاران (۱۳۸۸)، Kamp and et al. (2008)، Zezere, Ayalew and Yamagishi (2005)، al. (2008)، Kelarestaghi and Ahmadi, Ercanoglu (2005)، (2002)، (2009)، (Magliulo and et al. (2008)، نصر آزادانی و شیرانی (۱۳۸۸) و عبادی نژاد و همکاران (۱۳۸۶) به نتایج مشابهی مبنی بر نقش این مقدار از شیب در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه خود دست یافتند. نتایج بررسی جهت شیب حاکی از این است که کلاس جهت شیب ۲۵۲-۲۸۸ درجه نسبت به شمال (جدول ۲) دارای بیشترین تأثیر در وقوع لغزش در منطقه است که بر تأثیر رطوبت به عنوان یکی از عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای و متأثر شدن حوضه آبریز کرانه دریای خزر توسط دو سیستم باران‌زای غربی و

همسویی دارد. بررسی نقشه انحناى دامنه نشان داد که کلاس ۶/۹۲۵ (دامنه محدب) دارای بیشترین تأثیر در وقوع زمین لغزش است. (Ercanoglu (2005) به نتایج مشابهی در مورد تأثیر انحناى دامنه بر وقوع زمین لغزش دست یافته است. ولی در مطالعات (Pradhan and Oh (2011) دامنه‌های مقعر (مقدار منفی) دارای بیشترین نسبت فراوانی است. با بررسی‌های انجام شده در این منطقه مشخص شد که عملگر Gamma0.95 تمام منطقه را در دو زون حساسیت کم و متوسط قرار می‌دهد در حالی که عملگر OR منطقه را در چهار زون حساسیت قرار می‌دهد. به صورتی که در شکل (۹) قابل مشاهده است، در هر دو نوع نقشه، تراکم زمین لغزش به صورت تصاعدی از زون حساسیت کم به بالا افزایش می‌یابد. در نقشه تهیه شده با عملگر OR، بیشترین مساحت، توسط زون حساسیت متوسط اشغال شده است و این درحالی است که در نقشه تهیه شده با عملگر Gamma0.95 بیشترین مساحت توسط زون حساسیت کم اشغال شده است (شکل ۸).

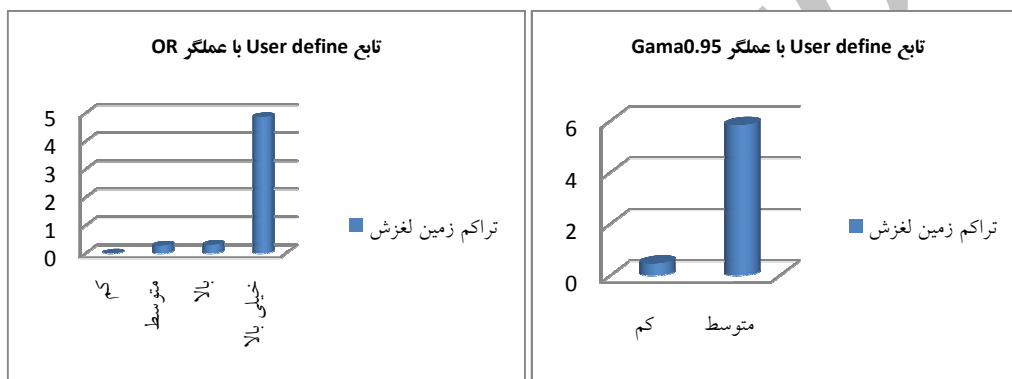
شده بر روی نقشه فاصله از جاده نشان داد که کلاس ۲۷۳/۱۳-۰ دارای بیشترین درصد وقوع زمین لغزش است و این مقدار فاصله بر تأثیر حفر ترانشه به عنوان عامل برهم زننده‌ی تعادل توده لغزشی و وقوع زمین لغزش دلالت دارد. نصر آزادانی و شیرانی (۱۳۸۸) نیز به نتایج مشابهی در مورد تأثیر فاصله از جاده بر وقوع زمین لغزش دست یافتند. با تولید نقشه شتاب افقی زلزله، مشخص شد که کلاس ۲/۴۳ گال در مقایسه با سایر کلاس‌ها دارای بیشترین تأثیر در وقوع زمین لغزش است و بر تأثیر ضخامت خاک در کاهش سرعت امواج زلزله، تأکید دارد. بررسی نقشه تراز هم باران منطقه، نشان می‌دهد که اکثر زمین لغزش‌های منطقه در کلاس ۱۴۳۳ میلی‌متر بارش سالانه قرار دارند. این مطلب بر نقش رطوبت جهت تسهیل وقوع لغزش، دلالت دارد. این مقدار با مقادیر به دست آمده در مطالعات مقتدر و همکاران (۱۳۸۹)، نصر آزادانی و شیرانی (۱۳۸۸)، اردکانی و همکاران (۱۳۸۲) و Nandi and Shakoor (2009) تفاوت بارزی دارد ولی با مقدار به دست آمده توسط Abdallah and et al. (2005)

جدول ۲. جدول نسبت فراوانی کلاس‌های با اهمیت زیاد متغیرها

شاخص حساسیت زمین لغزش (LSI)	نسبت فراوانی (Frequency Ratio)	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس متغیر با اهمیت بالا
۱۸/۶۴	۳/۱۷	۱۵/۸۸	۱۲۱۵	۱۲/۹۴	۳۹۵۳۲	شیب ۱۶/۷۱-۲۲/۴۹
۲۵/۶۸	۳/۷۸	۱۴/۳۷	۱۱۰۰	۹/۸۷	۳۰۱۶۹	جهت شیب ۲۵۲-۲۸۸
۲۴/۵۶	۱۳/۸۱	۱/۰۷	۸۲	۴/۳۲	۱۳۲۶۷	لیتولوژی Qs
۱۲/۸۸	۳/۴۹	۱۶/۹۰	۱۲۹۳	۱۲/۳۹	۳۸۲۴۴	فاصله از گسل ۴۰۵/۲۱-۶۰۴/۶۴
۱۳/۶۷	۴/۰۴	۱۸/۴۴	۲۵۹	۱۲/۷۲	۶۶۵۶	NDVI ۰/۲۷
۲۳/۶۹	۹/۹	۵۶/۰۳	۴۲۸۷	۴۲/۵۱	۴۷۲۷۲	فاصله از آبراهه ۰-۳۷/۳۶
۷/۹	۳/۹۶	۶۳/۰۴	۴۸۲۳	۴۱/۲۰	۱۲۶۳۸۳	فاصله از جاده ۰-۲۷۳/۱۳
۳/۲۳	۳/۲۳	۱۰۰	۷۶۵۰	۷۹/۵۶	۲۴۴۰۷۹	شتاب افقی زلزله ۲/۴۳
۴/۰۱	۳/۵۷	۹۴/۸۴	۷۲۲۸	۶۸/۲۹	۲۰۹۵۶۱	میزان بارش باران ۱۴۳۳
۵/۰۷	۲/۶۷	۹۸/۳۰	۷۵۲۰	۹۴/۵۸	۲۸۸۸۹۳	انحناى مورفولوژیکی ۶/۹۲



شکل ۸. درصد مساحت رده های حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از رویکرد چند معیاره فازی



شکل ۹. تراکم زمین لغزش در پهنه های حساسیت با رویکرد چند معیاره فازی

دارای بالاترین نسبت فراوانی هستند. این موضوع با توجه به گسترش قابل توجه آنها و شرایط مساعد جهت هوازدهی سازندهای قدیمی تر توجیه پذیر است. - با در نظر گرفتن این نکته که عملگر Gamma بهترین عملگر جهت پهنه بندی است، نقشه حساسیت تولید شده با تابع User define و عملگر Gamma0.95 بهترین نقشه ای این سری می باشد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از شرکت سهامی آب منطقه ای استان گیلان بخاطر پشتیبانی مالی این تحقیق و در اختیار گذاشتن گزارش ها و اطلاعات لازم تقدیر می گردد.

۶. نتیجه گیری

- با بررسی های انجام شده در این منطقه مشخص شد که متغیر جهت شیب دارای بیشترین مقدار شاخص حساسیت زمین لغزش است و در رتبه های بعدی متغیرهای لیتولوژی و فاصله از آبراهه قرار دارند.

- ارزیابی نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI از لحاظ شاخص حساسیت زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه (مخزن سد خاکی پلرود)، مشخص کرد که کلاس اول آن ($NDVI=0.274$) که منطبق با نواحی با پوشش گیاهی بوته زار و علفزار است، دارای بالاترین نسبت فراوانی می باشد. این امر با توجه به عمق محدود نفوذ ریشه این نوع گیاهان و ضخامت قابل توجه خاک در منطقه، دلیل اصلی تمرکز زمین لغزش ها در این کلاس است.

- بررسی سازندهای زمین شناسی در وقوع لغزش نشان می دهد که رسوبات عهد حاضر (واریزه های دامنه ای Qs)

منابع

- اردکانی، م.، غیومیان، ج.، جلالی، ن. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان، مجله زمین‌شناسی مهندسی، جلد اول، شماره ۱، ۲۵-۴۲.
- پورقاسمی، ح. ۱۳۸۶. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ارزیابی حساسیت لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی؛ بخشی از حوزه آبخیز هراز)، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۰ص.
- پورقاسمی، ح. ر.، مرادی، ح. ر.، فاطمی عقدا، م.، مهدویفر، م. و محمدی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال سوم، شماره ۸، ۵۱-۶۲.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۰۰۳، سری شیت‌های ۱/۱۰۰۰۰۰، شیت شماره ۶۰۶۳.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گیلان، آمار ایستگاه‌های هواشناسی (۱۳۸۷-۱۳۸۹).
- شرکت مهتاب قدس، ۱۳۸۳، گزارش زمین‌شناسی مهندسی (مرحله تفصیلی) سد مخزنی پلرود.
- عبادی‌نژاد، ع.، یمانی، م.، مقصودی، م.، شادفر، ص.، ۱۳۸۶، ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیروود)، انجمن آبخیزداری ایران، سال اول، شماره ۲، ۳۹-۴۴.
- فاطمی عقدا، م.، غیومیان، ج.، تشنه‌لب، م.، اشغلی فراهانی، ع.، ۱۳۸۴، بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۱: ۶۴-۴۳.
- معماریان، ح.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۵۶۵.
- میرصانعی، ر.، ۱۳۸۲، ارزیابی و کاربرد نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با استفاده از GIS (مطالعه موردی: تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران. ۱۲۰ص.
- مقتدر، ع.، بحرودی، ع.، شریفی، م.، مهدوی فر، م.، ۱۳۸۹، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان لرستان با استفاده از منطق فازی، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین (ارومیه)، ۱-۷.
- نصر آزادانی، ا.، شیرانی، ک.، ۱۳۸۸، ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی آماری دو متغیره، با استفاده از GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز دز علیا)، همایش و نمایشگاه ژئوماتیک، ۱-۱۰.
- Aleotti P., Chowdhury R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin Engineering Geology and Environment*, 58: 21-44.
- Abdallah, C., Chorowicz J., Bou kheir, R., Khawlie, M. 2005. Detecting major terrain parameters relating to mass movements occurrence using GIS, remote sensing and statistical correlations: case study Lebanon. *Remote Sensing of Environment*, 99: 448-461.
- Akgun, A., Turk, N. 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (western Turkey)379 and its Vicinity by multicriteria decision analysis. *Environment Earth Sciences*, 61(3): 595-611.
- Atkinson, P. M., Massari, R., 1999. A generalized linear modeling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy. *Computers and Geosciences*, 24(4): 373-385.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS –based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, central Japan. *Geomorphology*. doi:10.1016/j.
- Bonham-carter, G.F., 1994. *Geographic Information systems for geoscientists: modeling with GIS*. Pergamon Press, 398p.
- Chi, k.h., Park, N.W., Chung, C.J., 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea. *Symposium Geospatial Theory, processing and Applications*, Ottawa, 6p.
- Can, T., Nefeslioglu H. A., Gokceoglu C., Sonmaz H., Duman T.Y., 2005. Susceptibility assessment of shallow earth flows triggered by heavy rain fall at three subcatchments by logistic regression analysis. *Geomorphology*, 72: 250-271.
- Dai, F.C., Lee, C.F., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42: 213-228.
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (west Black sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75: 229-250.

- Ercanoglu, M., 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartin (West Black sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 979-992.
- Gee, M.D., 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, *landslides*, Belletin (ed.), Balkema, Rotterdam, 947-952.
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P., 2010. An optimized solution of multi-criteria evaluation analysis of landslide susceptibility using fuzzy sets and kalman filter. *Computer & Geoscience*, 36: 1005-1020.
- Hall, F.G., Towhshend, J.R., Engman, E.T., 1995. Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. *Remote Sensing of Environment*, 51: 138-156
- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H., 2009. Landslide susceptibility analysis with a bivariate and GIS in Northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 2: 95-101. DOI 10.1007/s12517-008-0022-0.
- Kamp, U., Growley, B.J., Khattak, G.A., Owen, L.A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101: 631-642.
- Lee, s., 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 52: 615-623
- Murat, E., Candan, G., 2004. Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide pron area (west black sea region, turkey). *Engineering Geology*, 75: 229-250.
- Magliul, P., Lisio, A., Russo, F., Zelano, A., 2008. Geomorphology and Landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics:a case study in southern Italy. *Natural Hazards*, 47: 411-435
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T .Y., Durmaz, s., 2008. landslide susceptibility mapping for a part of tectonic kelkit valley (Eastern Black sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94(3-4): 401-418
- Nefeslioglu, H.A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A.S., Duman, T.Y., 2010. Assessment of landslide susceptibility by Decision Trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical problems in Engineering*, doi: 10. 1155/2010/901095, 1-15.
- Nandi, A., Shakoor, A., 2009. A GIS – based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110: 11-20.
- Pradhan, B., 2010. Application of an advanced fuzzy logic model for landslide susceptibility analysis. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(3): 370-381.
- Oh, j., Pradhan, B., 2011. Application of a neuro- fuzzy model to landslide susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers & Geosciences*. doi:10.1016/j.cageo.2010.10.012.
- Sabuya, F., Alves, M.G., Pinto, W.D., 2006. Assessment of failure susceptibility of soil slopes sing fuzzy logic. *Engineering Geology*, 86: 211-224.
- Soeters, R., Van westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Turner,K.A., Schuster, R. L. (Eds.): *Landslides :Investigation and Mitigation*. Transport Research Board, special report, 247: 129-177
- Sarkar, S., Kanungo, D.P., 2009. GIS Based Spatial Data Analysis for landslide Susceptibility Mapping. *Journal Mountain Science*, 5: 52-62
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytical Hierarchy process*. Mc Graw Hill, Newyork. 350p.
- Tangestani, M., 2009. A comparative study of Dempster-shafer and fuzzy models for landslid susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran. *Journal of Asian Sciences*, 35: 66-73.
- Weier, J., Herring, D., 2005. Measuring Vegetation (NDVI and EVI).Earth observatory library of Nasa .<[http:// earthobservatory. nasa. gov/library/Measuring vegetation](http://earthobservatory.nasa.gov/library/Measuring%20vegetation)>.
- Wilson, J.P., Gallant J.C., 2000. *Terrain Analysis: principles and Applications*, Newyork, John wiley & sons, 469 p.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *IEEE Information and Control* 8: 338-353.
- Zezeze, J.L., 2002. Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2: 73-82.
- 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.
- 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: 821-836.