پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوازدهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۲
صص. ۲۹۱-۲۷۴

ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش و واکاوی علل آن در جاده جدید سردشت– بانه حدفاصل سردشت– دارساوین

نصیبه ملکی – دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
ممند سالاری* – استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.
داود طالب‌پوراصل– دکترای ژئومورفولوژی، کارشناس سابق گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ تائید نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱

چکیده

شبکه‌های ارتباطی با توجه به گستردگی فضایی و نیز قرارگیری در محیط‌های متفاوت و متاثر از تغییر کاربری در معرض مخاطرات محیطی مختلفی قرار دارند. یکی از این مخاطرات مهم، ناپایداری دامنه-ای و به صورت موردی زمین‌لغزش‌ها هستند. در این بین ناپایداری دامنه‌ای در جاده‌هایی که بعد از احداث سدها و در مجاورت این سازه‌های آبی و به ویژه بدون توجه به ماهیت فرم‌های ژئومورفولوژیک ساخته می‌شوند، قابل توجه است. بر این اساس جاده سردست- بانه تا دارساوین که بعد از احداث سد سردشت در چند سال اخیر بخشی از آن دچار تغییر مسیر گردید و مسیر جدید آن منطبق بر بازه میانی این محدوده مطالعاتی است، از منظر ناپایداری دامنه‌ای و زمین لغزش مورد ارزیابی، پهنه‌بندی و واکاوی به صورت مقایسه‌ای قرار گرفت. در این پژوهش از مجموعه مطالعات تئوریک، میدانی چند نوبته و نیز روش فازی بر مبنای عملگر Gamma0/9 با به کارگیری حداکثر متغیر تاثیرگذار شامل ۱۶ مورد با یک رویکرد سیستمی استفاده گردید. نتایج نهایی نشان داد که بازه‌های یک(سردشت تا سه را قلته) و دو(سه راه قلته تا بریسو) به ترتیب دارای پتانسیل ناپایداری و در سطح خطر بالایی قرار دارند. نتایج اعتبارسنجی بر مبنای منحنی ROC با مقدار ۰/۸۱۱ دال بر کارایی مدل بود. بررسی میدانی زمین لغزش‌های حادث شده و مشاهداتی در سطح بازه‌های یک و دو با ۱۴ و ۳۰ مورد نیز گویای اهمیت موضوع و نیز تایید نتایج است. نمونه موردی مطالعات میدانی نیز بازه دوم است که به لحاظ رخداد زمین‌لغزش بعد از احداث سد و ایجاد جاده جدید که منطبق بر آن است، یک نمونه تیپیک از ناپایداری شده است که واکاوی دلایل آن گویای نقش واحد ژئومورفیک حساس شامل احداث جاده بر روی پادگانه آبرفتی کواترنری با رسوبات سست در مجاورت بلافصل رودخانه زاب با قدرت جریان و نیز زیربری بالا می‌باشد. بنابراین ضرورت توجه به رویکردهای فرم و فرایندی ژئومورفولوژی که کمتر مورد توجه است در مسائل عمران محیطی کارا بوده و در برگیرنده مسیر واقعی توسعه پایدار است.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش- متغیرهای محیطی- مدل فازی- جاده سردشت-بانه.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: m.salari@uok.ac.ir

مقدمه

حمل و نقل جاده‌ای نقش مهم و تاثیرگذار در اجرای برنامه‌های توسعه‌ی پایدار کشورها ایفا می‌کند و سلامت عبور و مرور در طول سال از این فضاها اهمیت ویژه‌ای است. راه‌ها جزئی مهم از تمدن جدید به حساب می‌آیند و بستر رشد و توسعه‌ی اجتماعی و اقتصادی مناطق را مهیا می‌کنند (ریاضی و همکاران، ۱۳۸۵). شبکه‌های ارتباطی با توجه به گستردگی فضایی و قرارگیری در محیط‌هایی با اختصاصات متفاوت و به ویژه تغییر کاربری در سطح این فضاهای متفاوت در معرض مخاطرات محیطی متعدد و متنوعی قرار دارند(باقدم، ۱۳۸۴). یکی از مخاطرات طبیعی مهم که جاده‌های ارتباطی را به خصوص در مناطق کوهستانی تهدید می‌کند، ناپایداری‌های دامنه‌ای و زمین لغزش هاست. ناپایداری دامنه‌ها هنگام احداث جاده‌ها به علت بر هم زدن تعادل شیب دامنه‌ها، فراوانی بیشتری را نشان می‌دهد. (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶). این مساله ناپایداری در سطح جاده‌هایی که ناشی از احداث سدها و در بلافصل این سازه آبی وسیع احداث می‌شوند نیز قابل توجه است. کشور ایران با توپوگرافی عمدتا کوهستانی، شرایط تکتونیک و لرزه‌خیزی زیاد، زمین‌شناسی متنوع و شرایط اقلیمی متفاوت، عمده شرایط طبیعی را برای وقوع طیف وسیعی از زمین لغزش‌ها دارا است. زمین لغزش در ایران به عنوان یک مخاطره‌ی طبیعی هرساله خسارات جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد (حجازی و رنجبریان شادآباد، ۱۳۹۳). بنابراین برنامه‌ریزی برای جلوگیری از این خسارت‌ها با توجه به هدررفت زیاد منابع ملی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به بیانی، مطالعه‌ی پایداری شیب‌های طبیعی زمین پیش از اجرای پروژه‌های بزرگ عمرانی، مثل انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های کوهستانی، انتخاب محل احداث سدها و هم‌چنین کانال‌های انتقال آب، احداث تونل‌ها و طرح‌هایی مانند توسعه‌ی جنگل‌ها، مراتع و معادن اهمیت ویژه‌ای دارد و از الزامات اجرای این‌گونه پروژه‌هاست (رسولی و همکاران، ۱۳۹۰). مولفه‌های متعددی همچون عوامل طبیعی آب و هوایی، شیب، پوشش گیاهی، ارتفاع، لیتولوژی و شرایط رسوب شناختی، فاصله از گسل، هم جهت بودن شیب دامنه و شیب لایه‌رویی، نفوذپذیری و رطوبت خاک و نیز عوامل انسانی همچون تغییرات کاربری اراضی در وقوع فرایند زمین‌لغزش می‌توانند تاثیر بگذارند. پتانسیل و احتمال وقوع زمین لغزش تحت تاثیر عوامل انسانی مانند از بین بردن پوشش گیاهی وتغییرکاربری و عدم کاربری مناسب مانند کاهش و یا حذف شیب در ساخت و ساز سازه‌ها مانند جاده‌سازی که باعث حذف تکیه‌گاه شیب می‌شود افزایش می‌یابد (ثروتی، ۱۳۸۱). با توجه به مجموعه شرایط موجود، شناسایی و واکاوی زمین لغزش‌ها در سطح شبکه‌های ارتباطی و جاده‌ها با توجه به جنبه مخاطره‌شناسی بیشتر این محیط‌ها و فضاهای جغرافیایی می‌تواند بسیار موثر باشد. مسیر مورد مطالعه نیز بخشی از جاده‌ی بانه– سردشت حدفاصل سردشت تا دارساوین می‌باشد. بخشی از مسیر این جاده قدیم به دلیل سد جدید سردشت (کولسه) که بر روی رودخانه زاب در چند سال اخیر احداث شده است، باعث گردیده که تغییر داده شود. مسیر جدید در محدوده رودخانه زاب و دو طرف آن و بالادست جاده قدیمی این مسیر احداث گشته است. با توجه به مشاهدات و شناخت نسبی از منطقه، متوجه روانگرایی خاک و به نوعی حرکات دامنه‌ای و زمین‌لغزش در کل محدوده مطالعاتی هستیم. ولی با این وجود در محدوده میانی مطالعاتی که منطبق بر مسیر تازه احداث شده است، چشم‌انداز و سهم روانگرایی و لغزش در امتداد شبکه ارتباطی تازه احداث شده واقع در دو طرف رودخانه زاب بیشتر به نظر می‌رسد. با توجه به آن که عوامل و پارامترهای مختلف موثر در وقوع فرایندهای ژئومورفولوژیکی همچون زمین‌لغزش در سطح واحدهای ژئومورفولوژیکی به صورت‌های مختلف واکنش نشان داده و عمل می‌کنند، واکاوی تحولات ژئومورفیکی مسیر مطالعاتی از منظر زمین‌لغزش و نیز تعیین جایگاه و نقش مولفه‌های مختلف موثر در ایجاد این فرایند با رویکرد مقایسه‌ای در سطح جاده جدید و نیز دو بخش قبل و بعد از آن، از مسائل اصلی این پژوهش است که به صورت سیستمی مورد ارزیابی و واکاوی قرار گرفته است.

با توجه به اهمیت موضوع مطالعات متعددی در ارتباط با زمین‌لغرش از زوایای مختلف صورت گفته است. باخویشی (۱۳۸۳) با روش وزن دهی مسیر جاده‌ی مریوان– کامیاران را با توجه به حرکات دامنه‌ای با تاکید بر زمین لغزش مورد بررسی و مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که نوع و جنس سازندهای زمین‌شناسی و رسوب‌های دامنه، شیب و اقلیم به

ترتیب عوامل اصلی وقوع حرکات دامنه‌ای و ناپایداری در مسیر مورد مطالعه است. کلارستاقی و همکاران (۱۳۸۶) به مطالعه و بررسی تاثیرات احداث جاده در وقوع زمین لغزش در حوزه‌ی تجن ساری پرداختند. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که بیش‌ترین فراوانی وقوع زمین لغزش حداکثر تا فاصله‌ی ۷۵ متر از مرکز جاده با تعداد ۲۱ زمین لغزش و با تراکم ۰/۲۱۹(تعداد در کیلومترمربع) می‌باشد. مختاری (۱۳۸۸)، به مطالعه‌ی اثرات ژئومورفیکی عملیات جاده سازی در مناطق حساس ژئومورفولوژیک در راه روستایی ارلان در شمال غرب ایران پرداخت. نتایج نشان داد که وجود پوششی از نهشته‌های آواری و آبرفتی کوارترنری بر روی رسوبات میوسن در سه واحد عمده‌ی ژئومورفولوژیک منطقه، تاثیر بسزایی در پایداری دامنه‌های اطراف کوه گچی قلعه سی ایفا می‌کند؛ ولی با توجه به بازسازی‌های اخیر راه اردلان و از بین رفتن نهشته‌های کوارترنری و ظاهرشدن رسوبات میوسن و احداث جاده بر روی این سازندها، باعث تشدید فرایندهای توده‌ای(زمین لغزش، روانگرایی، ریزش) شده است. یمانی و همکاران (۱۳۹۳) با به کارگیری روش سلسله مراتبی و روش فازی در مسیر آزاد راه خرم آباد– پل زال به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پرداختند. با توجه به نتایج حاصل از مدل و تطبیق آن با لغزش‌های اتفاق افتاده در مسیر راه، ضمن کارایی مناسب مدل در شناسایی پهنه‌های با خطر زیاد (۴۲درصد) و خیلی زیاد (۱۵درصد) بیانگر این موضوع است که عوامل شیب و سنگ شناسی بیشترین سهم را در رخداد زمین لغزش دارند؛ هم چنین احداث جاده و تغییر کاربری وقوع زمین لغزش‌ها را تشدید کرده است. عمادالدین و مرادی (۱۳۹۷) به ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از فرایند سلسله مراتبی (AHP)، تحلیل شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) و مطالعات میدانی با رویکرد کاهش ریسک در محور جاده‌ی هراز حد فاصل امام زاده هاشم و شهرستان آمل که از محورهای پرتردد و پرخطر ایران می‌باشد، پرداختند. از نقشه‌های رقومی ارتفاعی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و فاصله از راه به عنوان لایه‌های اطلاعاتی استفاده شد. در مطالعات میدانی۲۶۱ نقطه‌ی حادثه خیز متاثر از لغزش و ریزش ثبت شد. نتایج نشان داد که تمامی نقاط ثبت شده با خطر احتمالی ریزش مواجه هستند و ۱۹۱ مورد از نقاط ثبت شده با سطح پرخطر تشخیص داده شد. در نهایت نتایج حاصل نشان داد که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی با وضع موجود مطابقت بیش تری دارد و با سطح خطای ۸ درصد خطای برای استفاده در مناطق مشابه کارا است.

لارسن و پارکس[1](۱۹۹۷)، طی تحقیقی به بررسی ارتباط مکانی وقوع زمین‌لغزش و نیز آشفتگی در آنها با جاده‌سازی و فرایندهای تعریض در مناطق کوهستانی جنگلی پرداختند. در این تحقیق یک نوار باریک به عرض ۸۵ متر از کنار جاده‌ای به طول ۱۷۰ متر در مسیر جاده بررسی و محدوده‌ی مورد مطالعه با منطقه‌ی مشابهی که هیچ گونه عملیات جاده سازی در آن صورت نگرفته باشد مقایسه شد. نتایج حاصل نشان داد که فرایند تغییر کاربری موجود باعث شده که میزان شدت لغزش از ۵ به ۸ درصد در این بازه کوچک افزایش یابد. مارگارینت و همکاران[2] (۲۰۱۳)، به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در ۴ قسمت از کشور رومانی اقدام نمودند. در این مطالعه پارامترهای ارتفاع، زاویه‌ی شیب، ارتفاع شیب، انحناء زمین، فاصله از آبراهه، جهت شیب، کاربری زمین و سنگ شناسی را به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه‌ی خطر را برای این ۴ بخش تهیه نمودند. نتایج ارزیابی مدل‌ها بر اساس منحنی ROC نشان داد که روش رگرسیون لجستیک در محدوده‌ی مورد مطالعه، جهت تهیه‌ی نقشه‌ی خطر لغزش دارای نتاج مطلوبی است. در پژوهش‌های جدیدتر مرتبط می‌توان به پژوهش تسنگ و همکاران[3](۲۰۱۷)، اشاره کرد که در مطالعه‌ای، توزیع مکانی و زمانی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی را در امتداد جاده‌های کوهستانی بررسی کردند. با تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره-ای قبل و بعد از زمین‌لغزش تیپون و روش ارزیابی چندمتغیره و با هدف تعیین رابطه بین توزیع مکانی سطح زمین‌لغزش و محیط طبیعی در طول جاده‌ها، نقشه حساسیت و پراکنش زمین لغزش ایجاد شد و به عنوان مرجعی برای برای جلوگیری

[1] - Larsen & Parks
[2] – Margarint & et al
[3] - Tseng & et al

و کاهش بلایا در جاده‌های کوهستانی می‌تواند عمل نماید. از مطالعات اخیر داخلی و نیز خارجی در این زمینه می‌توان به پژوهشهای دسترنج و همکاران(۱۴۰۰)، امیر احمدی و همکاران(۱۴۰۱) با رویکرد پهنه‌بندی و مدل‌سازی و نیز افیونگ و همکاران[1](۲۰۲۱) و پرادهان و همکاران[2] (۲۰۲۲) با رویکرد ترکیبی در مبحث زمین‌لغزش اشاره نمود.

در کل مطالعات متعددی که در سطح داخل و نیز خارج از کشور در ارتباط با این مبحث صورت گرفته است، گویای اهمیت موضوع است و از طرفی بررسی ادبیات و پیشینه پژوهشی بیانگر آن است که مطالعات در قالب حوضه‌ای و تحت عنوان حوضه زاب که محدوده مورد مطالعه نیز بخشی از آن است توسط محققانی همچون خضری(۱۳۸۵) و شهابی و همکاران(۲۰۱۲) در ارتباط با زمین‌لغزش با روش‌های مختلف صورت گرفته است اما با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی جاده سردشت– بانه حدفاصل سردشت– دارساوین می‌باشد و بخشی از مسیر مورد مطالعه در برگیرنده جاده‌ی جدیدالاحداث مسیر سردشت– بانه بعد از احداث و آبگیری سد سردشت(کولسه) در سال ۱۳۹۶ است و تا کنون مطالعه‌ای در ارتباط با ناپایداری به صورت موردی و با رویکرد جاده‌ای بر روی آن صورت نگرفته است لازم است که پایگاه اطلاعات محدوده‌ی مورد مطالعه توسعه پیدا کند و بر این اساس در یک رویکرد سیستمی به بررسی و ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش و واکاوی علل آن در این محدوده مطالعاتی پرداخته شده است.

روش تحقیق

موقعیت منطقه مطالعاتی

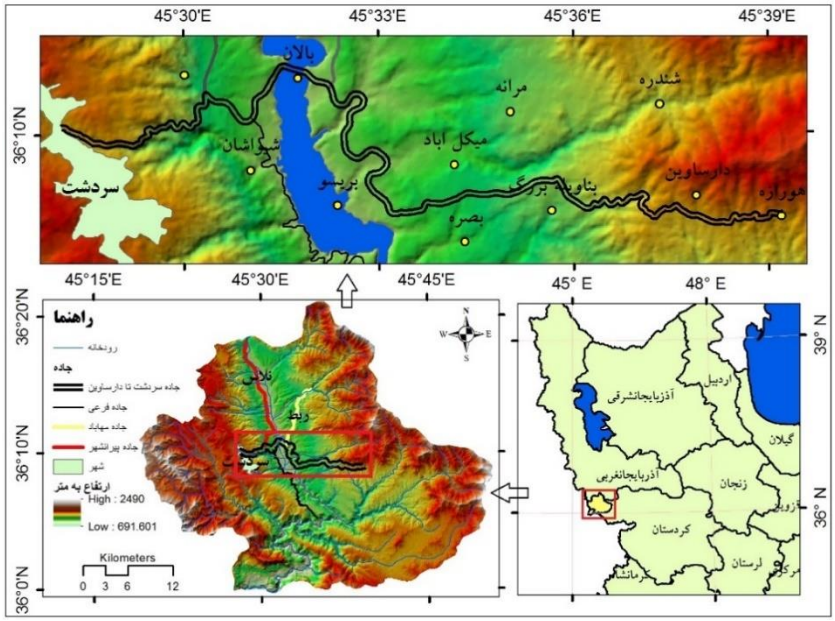
منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از جاده بانه_ سردشت است که در استان آذربایجان غربی و شهرستان سردشت قرار گرفته است. محدوده‌ی منطقه‌ی مطالعاتی با منشاء مبدا (سردشت) دارای مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه و ۸۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲ ثانیه طول شرقی و با منشاء مقصد (دارساوین) دارای مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۹ دقیقه و ۳ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی می‌باشد. بخشی از این جاده که منطبق بر بازه دوم مطالعاتی این پژوهش است، جاده جدید سردشت– بانه است که بعد از احداث سد سردشت و مغروق شدن جاده قدیمی ایجاد شد. این جاده از لحاظ ارتباطی مهم است و جنوب آذربایجان غربی را به استان کردستان وصل می‌کند. در این مطالعه در راستای درک بهتر موضوع دو بخش جاده‌ای قبل(سردشت تا جاده جدید) و بعد از جاده تغییر مسیر داده‌شده(بالاتر از بریسو تا دارساوین) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. قابل ذکر است که سد مذکور، از نوع سنگریزه‌ای و با حجم نرمال مخزن با ۵۴۵ میلیون مترمکعب و طول و حریم گسترده‌ای می‌باشد که در راستای اشراف و دقت مطالعاتی، یک دیدگاه حوضه‌ای پیرامون جاده‌ای نیز داشته‌ایم.

جاده مطالعاتی نیز به صورت کلی ۲۱ کیلومتر می‌باشد که در قالب سه بازه که شامل بازه اول از سردشت تا سه راه قلته با طول ۶ کیلومتر، بازه دوم از سه راه قلته تا بالای بریسو که منطبق بر جاده تازه احداث شده بعد از سد و با ۶ کیلومتر می‌باشد و بازه سوم نیز تا دارساوین را با ۹ کیلومتر طول در برمی‌گیرد. از نظر اقلیمی این حوضه در منطقه‌ی سرد و مرطوب قرار دارد. میانگین بارش سالانه‌ی آن ۸۶۰ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر درجه حرارت ۳۹٫۶ درجه در ژوئیه (تیر) و حداقل ۲۵– درجه در ژانویه (دی) می‌باشد. در حوضه ۸۸ روز یخبندان اتفاق می‌افتد (سالاری، ۱۳۸۵). از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی_ رسوبی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸ و آقانباتی، ۱۳۸۱)، حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی زاب در محدوده‌ی کمربند دگرگونی و افیولیتی زون سنندج– سیرجان قرار گرفته است. این زون از فعال‌ترین و ناآرام‌ترین واحدهای ساختمانی ایران است و مراحل مهم دگرگونی را طی کرده است (خضری و همکاران، ۱۳۸۵). رخنمون‌های منطقه را سنگ‌های گوناگون

[1]- Epiong & et al

[2] - Pradhan & et al

از لحاظ ترکیب و سن پدید آورده است که به طور عمده در برگیرنده‌ی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی از زمان پرکامبرین تا عهد حاضر است. جدیدترین تشکیلات سازندهای سطحی شامل آبرفت‌های جوان و پادگانه‌های قدیمی دوران چهارم است. در سطح حوضه زاب و نیز محدوده مطالعاتی به عنوان بخشی از آن، گسل اصلی پیرانشهر به عنوان غالب‌ترین سیستم گسلی به همراه گسله‌های اصلی و نیز فرعی متعدد دیگر وجود دارند(نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰محدوده مطالعاتی). برایند این شرایط محیطی درونی و نیز بیرونی دال بر پتانسیل و حساسیت بالای منطقه نسبت به رخداد زمین‌لغزش به ویژه در محیط‌های پیرامونی مجاری آبراهه‌ای و به ویژه با زمینه تغییر کاربری و مبحث جاده‌سازی می‌باشد.



شکل۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

مواد و روش تحقیق

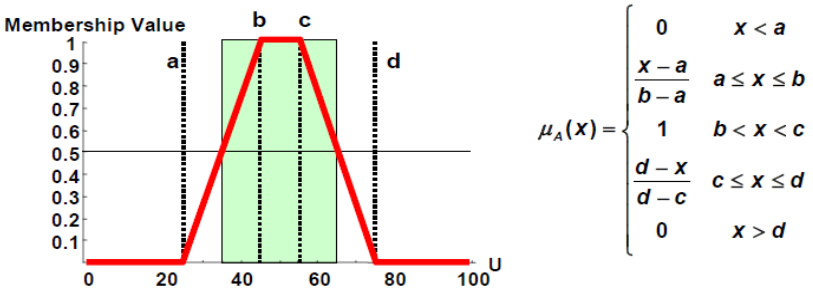
روش کلی این پژوهش مبتنی بر مطالعات تئوریک و کتابخانه‌ای به همراه مطالعات میدانی چند نوبته و نیز تحلیل‌های آماری و نرم‌افزاری در راستای هدف تحقیق بر مبنای مدل فازی به‌کارگیری شده بود. در این راستا از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی منطقه و نیز تصاویر ماهواره‌ای Aster و Landsat8، دستگاه GPS مدل Garmin Etrex، متر لیزری، تصاویر Google Earth، بسته نرم‌افزاری Arc GIS 10.3 و نرم‌افزارspss18 استفاده گردیده است.

مدل فازی

مدل و روش به کار گرفته شده در این پژوهش مدل فازی بود. ارزیابی خطر ناپایداری شیب‌ها و دیگر رخدادهای طبیعی بر اساس روش‌ها و مدل‌های مختلف مبتنی بر منطق‌های دو ارزشی به دلیل مطلق‌گرایی و عدم انعطاف پذیری، با واقع‌گرایی لازم همراه نیست. در این روش‌ها با توجه به اینکه مرز ارزش‌گذاری گزاره‌ها، قطعی در نظر گرفته می‌شوند، برای مثال یک درجه اختلاف در مقدار شیب دامنه در مرز دو طبقه از شیب در مواردی ممکن است موجب واقع شدن دامنه‌ای از تغییرات در گستره‌ای با یک کلاس اختلاف شود و ارزش گزاره را به اندازه‌ی یک طبقه تغییر دهد، در صورتی‌که در عمل یک درجه اختلاف در شیب، نباید تاثیرتعیین کننده‌ای در وقوع یک پدیده داشته باشد (شریعت جعفری و حامدپناه، ۱۳۸۶). استفاده از مجموعه‌های فازی به دلیل درنظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های

کمی را برطرف ساخته و تحلیل قوی‌تری از نقش عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه کرده است و به مراتب دقت در پیش‌بینی وقوع حرکات دامنه‌ای دارد (طالب‌پور و قهرودی تالی، ۱۳۹۶). مکانیسم عمل این‌گونه است که ابتدا پارامترهای موثر در زمین لغزش‌ها شناسایی می‌شوند، سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، فازی سازی می‌شوند. نحوه‌ی تعریف توابع به این صورت است که سایت‌هایی که در معرض رخداد لغزش هستند با کد ۱ مشخص می‌شوند وسایت‌هایی که در معرض زمین لغزش نیستند، کد ۰ می‌گیرند. در نهایت با استفاده از شبکه‌ی استنتاج فازی مانند جمع جبری فازی، ضرب جبرفازی و عملگر گامای فازی باهم مقایسه می‌شوند. بعد ازآنکه خروجی هر یک ازعملگرها به دست آمد، آن‌ها را باهم مقایسه کرده و براساس اعداد به دست آمده نتیجه‌گیری و جمع‌بندی می‌کنند (عابدینی و یعقوب نژاداصل، ۱۳۹۶).

در این پژوهش از تابع عضویت خطی استفاده شده است. این تابع دارای ۴ پارامتر است که شکل تابع را تعیین می‌کنند. می‌توان با انتخاب مقدار مناسب برای حالت‌های A، B، C و D توابع عضویت ذوزنقه‌ای، مثلثی، S شکل و به شکل L را تعریف نمود (کانیز[1]، ۲۰۰۸).



شکل۲: تابع عضویت خطی

در این پژوهش ابتدا برای متغیرهای موثر در ناپایداری دامنه‌ای، لایه‌هایی ساخته شد، سپس جهت تعیین عضویت لایه‌ها در میزان ناپایداری دامنه‌ای، تابع عضویت فازی هر یک از لایه‌ها در مدل، بر اساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با ناپایداری دامنه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد بر اساس رابطه‌ی (Graeme, 1994) به شرح زیر تعیین شد.

$$\boldsymbol{\mu}(x) = \begin{cases} 0 & x < Min \\ \dfrac{x - Min}{Max} & Min < x < Max \\ 1 & X > Max \end{cases}$$

مجموعه صریح یا کلاسیک به صورت تعدادی عضو به صورت $A \in X$ تعریف می‌شود که این اعضا می‌توانند به صورت قابل شمارش باشند و هر عضو x می‌تواند متعلق به مجموعه صریح A باشد و یا نباشد. در صورت تعلق عضو x به مجموعه A درجه عضویت آن ۱ و در غیر این صورت صفر می‌باشد واضح است $A \in X$ خواهد بود. آنچه اعضای یک مجموعه را از دیگر اعضاء متعلق به X جدا می‌کند یک صفت مشخص کننده است که می‌تواند به صورت یک گزاره بیان شود. می‌توان با استفاده از منطق صحیح، عملگرهای تئوری مجموعه را نیز تعریف نمود. عملگرهای مطلق صریح به صورت زیر تعریف می‌شوند.

[1] - Kaniz

عملگر Not	$Not\ p = \begin{cases} 1\ if\ \Rightarrow p = 0 \\ 0\ if\ \Rightarrow p = 1 \end{cases}$
عملگر Q= AND	$P\ And \begin{cases} 1\ if\ \Rightarrow p, Q = 1 \\ 0\ Otherwise \end{cases}$
عملگر OR:	$P\ Or\ Q = \begin{cases} 0\ if\ \Rightarrow p, o = 0 \\ 1\ Otherwise \end{cases}$
عملگر Q=IF…THEN	$P\ If\ Then \begin{cases} 0\ IF\ \Rightarrow p, Q = 0 \\ 1\ \ Otherwise \end{cases}$

در این مرحله با تکیه بر اصول اولیه مربوط به منطق صریح و مجموعه‌های صریح، به تعریف منطق و مجموعه‌های فازی می‌پردازیم به گونه‌ای که روابط و تعاریف مجموعه‌های فازی در حالت خاص باید همان روابط و تعاریف مجموعه‌های صریح باشد. این مدل دارای عملگرهای AND و OR می‌باشد. براساس نظریه مجموعه‌ها، عملگر AND اشتراک و عملگر OR اجتماع را استخراج می‌نمایند. یعنی در عملگر AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد در نقشه نهایی ارزش یک خواهد داشت و جزء مناطق مناسب قرار می‌گیرد. اما در عملگر OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش یک داشته باشد و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد در نقشه خروجی و تلفیق یافته ارزش داشته و مناسب تشخیص داده می‌شود.

Fuzzy AND	$\mu_{combination} = MIN(\mu_A, \mu_B, \mu_{C,\dots})$
Fuzzy OR	$\mu_{combination} = MAX\ (\mu_A, \mu_B, \mu_{C,\dots})$
عملگر ضرب جبر فازی Fuzzy Algebraic Product	$\mu_{combination} = \prod_{i-1}^{\pi} \mu_i$
عملگر جمع جبر فازی Fuzzy Algebraic Sum	$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i-1}^{\pi} (1 - \mu_i)$

عمل فازی گاما:

از تلفیق دو عملگر فازی جمع و فازی ضرب، فازی گاما براساس فرمول زیر بدست می‌آید.

Gamma Operation	$\mu_{combonation} = (Fuzzy\ algebraic\ sum)^{\gamma *} (Fuzzy\ algebraic\ product)^{1-\gamma}$

در این پژوهش، برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مسیر مطالعاتی با توجه به شرایط و واقعیت‌های منطقه و بر مبنای نظر کارشناسی ۱۶ متغیر شیب، جهت شیب، بارش، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، تراکم گسل، تراکم آبراهه، زمین‌شناسی، انحنای شیب، انحنای عرضی شیب، انحنای طولی شیب، شاخص نمناکی توپوگرافیک، قدرت حمل جریان، طول زاویه‌ی شیب و کاربری زمین مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

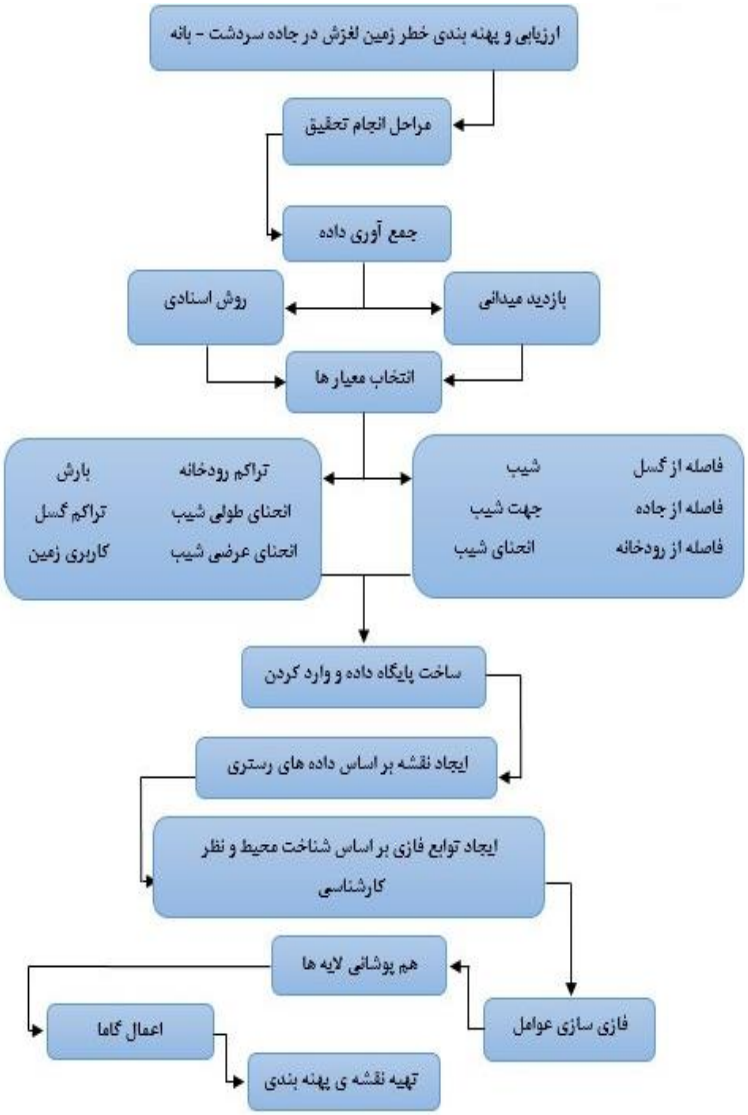
مقدار سطح زیر منحنی ROC[1]

در راستای اعتبار سنجی پژوهش که حساسیت و مخاطره لغزش بود از منحنی ROC استفاده شد. در این روش، مساحت زیر منحنی ROC، با مقادیری بین ۰/۵ تا ۱ برای ارزیابی دقت مدل مورد نظر استفاده می‌شود. مقدار AUROC در واقع

[1]. Receiver Operating Characteristic Curve (ROC)

کیفیت مدل احتمالاتی را برای پیش‌بینی صحیح وقوع یا عدم وقوع یک رویداد (حرکت توده‌ای) تعریف می‌کند. مدل ایده‌آل مقدار AUC نزدیک به ۱ را نشان می‌دهد در حالی که مقدار نزدیک به ۰/۵ عدم دقت مدل را نشان می‌دهد. منحنی ROC از مناسب‌ترین روش‌ها در ارائه‌ی خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم‌ها است که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (Trigila et al., 2012). منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی بیانگر مقدار پیش بینی سیستم ازطریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع رخداد (وقوع زمین لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین لغزش) آن است (Poorghasmi et al., 2012). معادله این شاخص با استفاده از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$AUC_{ROC} = \sum TP + \sum TP \,/ P + N$$



شکل۳- نمودار ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جاده جدید سردشت- بانه

بحث و یافته‌ها

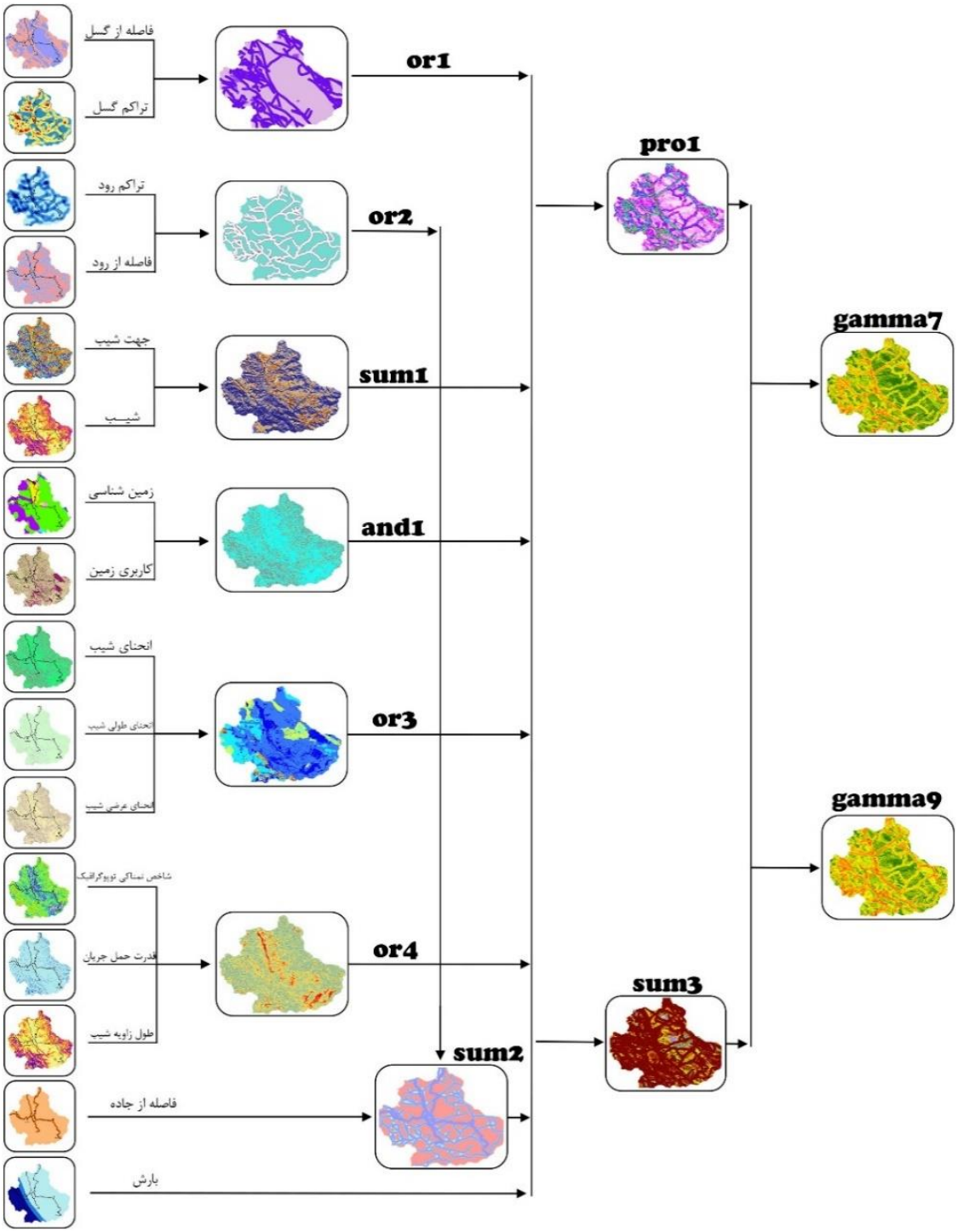
در راستای این پژوهش ابتدا لایه‌های اطلاعاتی ۱۶ متغیر موثر در پژوهش که در روش‌شناسی آورده شده‌اند، در نرم‌افزار GIS تهیه و سپس برای ارزیابی و نیز پهنه‌بندی دقیق مخاطره زمین‌لغزش در سطح محدوده مطالعاتی و نیز در راستای رویکرد سیستمی پژوهش لایه‌های اطلاعاتی رستری فازی‌سازی شدند و به بیانی تلفیق و همپوشانی بر اساس توابع فازی انجام گرفت که روند نقشه‌ها و نیز نتایج حاصل از متغیرهای فازی شده تاثیرگذار بر مخاطره زمین در قالب جدول ۱ و نیز شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول۱- نتایج و ارزش امتیازی متغیرهای تاثیرگذار بر فرایند زمین‌لغزش

ارزش امتیازی	متغیر تاثیرگذار	ارزش امتیازی	متغیر تاثیرگذار
۰/۰۰۱ -۰/۷۳۱	قدرت حمل جریان	۱- ۰/۰۶۲	شیب
۰/۰۲۸ -۰/۸۴۷	طول زاویه‌ی شیب	۱- ۰/۰۲۵	جهت شیب
۰/۱۴۳ -۰/۷۱۵	انحنای شیب	۰/۶۶۶ -۰/۸۳۳	بارش
۰/۰۳۵ -۰/۸۱۳	تراکم گسل	۱- ۰/۰۵۵	کاربری زمین
۰/۰۴۶ -۰/۸۲۷	تراکم رودخانه	۰/۴۵۷ -۰/۹۹۱	فاصله از گسل
۱- ۰/۰۲۸	زمین‌شناسی	۰/۴۸۰ -۰/۹۹۶	فاصله از جاده
۰/۲۴۱ -۰/۸۵۷	انحنای طولی	۰/۴۳۳ -۰/۹۸۶	فاصله از رودخانه
۰/۱۳۳ -۰/۷۱۲	انحنای عرضی	۰/۰۴۵ -۰/۹۵۰	نمناکی توپوگرافیک

نتایج نهایی فازی سازی متغیرها بر اساس نقشه های تهیه شده متغیرها و نیز نتایج کمی استخراج شده از آنها نشان داد که متغیرهای ۱۶گانه در ایجاد ناپایداری و مخاطره‌ی زمین لغزش با درجات متفاوت تاثیرگذاری داشته‌اند و در این بین میزان تاثیر پارامترها نیز در سطح مسیر ۲۱ کیلومتری جاده‌ی ارتباطی و سه بازه آن که تقسیم شده است، متفاوت است. بررسی موردی و کمی پارامترها دامنه عددی ۰/۰۰۱ تا ۱ را به عنوان آستانه‌های تاثیرگذاری پایین و بالا به ترتیب نشان داد که دال بر اهمیت و تاثیرگذاری متفاوت متغیرها روی مساله پژوهش و نیز تاثیرگذاری متفاوت یک متغیر در سطح پهنه مطالعاتی می‌باشد.

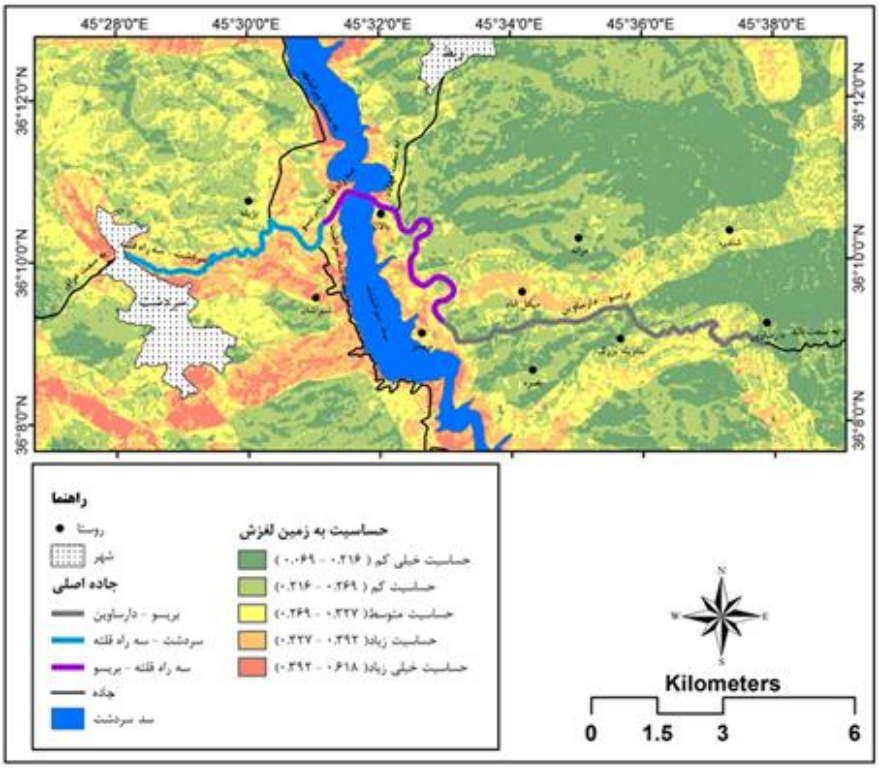
نتایج موردی متغیرها نشان داد که به صورت کلی روند و دامنه تاثیرگذاری پارامترهای شیب، جهت شیب، کاربری زمین، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، نمناکی توپوگرافیک، شاخص انحنای طولی، طول زاویه‌ی شیب، بارش، تراکم رودخانه و .... در سطح محدوده مطالعاتی و مساله پژوهش چشمگیر می‌باشد که در بخش پهنه‌بندی به صورت دقیق و موردی نقش آنها تحلیل گردیده است. نتیجه دیگر این بخش نشان داد توابع فازی زمینه‌ساز یک شبکه استنتاجی بر اساس منطق کارشناسی و نیز چگونگی تاثیر هر متغیر بر فرایند زمین‌لغزش است که در تهیه نقشه پهنه‌بندی دقیق موثر بوده است.



شکل۴ – مراحل شکل‌گیری فازی در مدل ناپایداری دامنه‌ای در مسیر جاده سردشت- بانه

در ارتباط با پهنه‌بندی خطر لغزش و نیز پهنه‌بندی آن و به تبع آن واکاوی علل موثر در این فرایند، اقدام به پهنه‌بندی و تحلیل بر مبنای Gamma0/9 شد. بر اساس نقشه استخراجی حاصل از عملگر Gamma0/9 میزان حساسیت به زمین لغزش در ۵ طبقه‌ی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس‌بندی شد.

نتایج نشان داد که بخش غالب بازه اول مسیر جاده سردشت تا سه راه قلته و نیز بازه دوم مسیر سه راه قلته تا بالای روستای بریسو (مسیر جدید) در پهنه با حساسیت متوسط به زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. بررسی‌های میدانی دقیق و نیز واقعیت زمینی دال بر این حساسیت و پتانسیل ناپایداری است. با این اوصاف و از منظر رخداد واقعی زمین‌لغزش نکته قابل توجه آن است که با وجود پتانسیل خطر بیشتر بازه یک به لحاظ متغیرهای مورد بررسی، وقوع خطر و ناپایداری در بازه دو که البته این بازه نیز غالبا در پهنه متوسط به زیاد و خیلی زیاد قرار دارد، بیشتر مشاهده و ثبت گردیده است. دلیل غالب آن نیز در ارتباط با تغییر کاربری متاثر از احداث سد سردشت و به دنبال آن احداث جاده جدید منطبق بر بازه دو محدوده مطالعاتی در مجاورت رودخانه زاب و نیز منطبق بر سطح اول پادگانه آبرفتی با رسوبات سست و تحریک این رسوبات ناپایدار ناشی از تغییر تکیه گاه شیب و نیز سیستم جریان و زیربری مجرای آن است(شکل۴). نتایج نشان داد که کمترین میزان حساسیت در بازه سه حدفاصل بالای بریسو تا دارساوین می‌باشد که ناشی از تاثیرگذاری کمتر متغیرهای موثر و به ویژه نقش لیتولوژی و نیز واحد مورفولوژیک غالب همراه با افزایش فاصله از متغیرهای موثر همچون فاصله از رودخانه و گسل و .. است(شکل۴).



شکل۴ - نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از Gamma 0/9

جدول۲ - درصد میزان حساسیت جاده مطالعاتی به وقوع حرکات دامنه‌ای خاک بر اساس تابع Gamma 0/9

میزان حساسیت	مسیر سردشت به سه راه قلته(بازه۱)	مسیر سه راه قلته به بریسو(بازه۲)	مسیر بریسو به دارساوین(بازه۳)
خیلی کم	۰/۶	۱/۹	۶/۷
کم	۰/۶	۲۲/۲	۳۸/۵
متوسط	۹/۴	۳۸/۹	۴۵/۶
زیاد	۶۱/۴	۲۴/۱	۹/۲
خیلی زیاد	۲۸/۱	۱۳/۰	۰/۰
	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

نتایج حاصل از فازی‌سازی متغیرهای ۱۶ گانه و نیز به کارگیری توابع مختلف و مرتبط فازی و نیز تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش همراه با مطالعات کامل میدانی، در سطح محدوده مطالعاتی در قالب سه بازه انتخابی مطالعاتی قابل تفسیر است.

بازه اول مطالعاتی، از خروجی شهر سردشت تا سه راه قلته را شامل می‌شود. طول آن حدود ۶ کیلومتر است. به لحاظ جایگاه متغیرها، این بازه شرایط ارتفاعی بیشتری نسبت به سایر بازه‌ها دارد. حداکثر ارتفاع منطبق بر جاده ۴۷۷۵ فوت است که در خروجی این بازه از سمت سردشت است و کمترین ارتفاع نیز منطبق بر انتهای بازه در سه راه قلته با ۳۵۶۳ فوت است. پوشش گیاهی بیشتری در دو سمت جاده وجود دارد و غالبا پوشش‌های جنگلی زاگرسی و مرتعی است. تشکیلات لیتولوژیک نیز غالبا دگرگونی شامل اسلیت یا همان سنگ لوح، فیلیت و مرمر و یا سنگ آهک کریستالیزه و مرمر خاکستری تا سفید و نیز نازک لایه و توده‌ای است. با این اوصاف تشکیلات محدود رسوبی نیز به چشم می‌خورد. در این بازه تحت شرایط شیب و نیز جهت شیب و اقلیمی، قدرت جریان نیز بالاست که در فرایند ژئومورفیک منطقه و ناپایداری عامل موثری است. برآیند این بازه به لحاظ ناپایداری نشان داد که از خروجی سردشت تا سه راه بزیله (پلیس راه) مجموعه‌ی متغیرها شامل شرایط ارتفاعی، شیب و نیز سیستم جریان زمینه‌ی حرکات لغزشی قابل توجه شده است(شکل ۵، تصویر شماره۱). در این بازه ۱۴ مورد ناپایداری و حرکات لغزشی در دو طرف جاده شناسایی شدند. در بازه موجود از سه راه بزیله (پلیس راه) تا سه راه قلته و اتمام این بازه شرایط ارتفاعی کمتر و نیز شیب کمتر و به ویژه نبود توپوگرافیک در دو سمت جاده باعث شده است در این محدوده کوتاه (یک کیلومتر) حرکات لغزشی نباشند. دلیل آن نیز به نوعی سطح هموار پادگانه‌ای است. برایند پژوهش نشان داد که این بازه به لحاظ حساسیت، بیشترین مقادیر را دارد ولی به لحاظ تعداد ناپایداری در سطح دوم و بعد از بازه‌ی دو قرار دارد که به شرایط و فعل و انفعالات خاص بازه‌ی دوم ارتباط دارد که همان احداث جاده بعد از ساخت و آبگیری سد سردشت می‌باشد.

بازه مطالعاتی دوم، از سه راه قلته تا بالاتر از بریسو و محل اتصال به جاده قدیم است. بازه مذکور منطبق بر جاده جدید احداث شده بعد از سد سردشت است که ۶ کیلومتر طول دارد. بر اساس نتایج مطالعاتی، بازه‌ی در سطح خطر بالا قرار دارد. نتایج میدانی پژوهش نیز نشان داد که ناپایداری بالا و با بیشترین تعداد زمین‌لغزش در آن صورت گرفته است. تحلیل نتایج و روند آن در قالب دو زیر بازه قابل تفسیر است.

زیر بازه اول، از سه راه قلته به سمت پل جدید شهدای ۷ تیر با وجود کم بودن بازه (یک کیلومتر) جریان لغزشی متعددی وجود دارد و چندین مورد حرکات لغزشی اتفاق افتاده است. دلیل غالب در این زیر بازه و بخش، مرتبط با احداث جاده منطبق بر سطح یک پادگانه و مواد سست رسوبی پادگانه‌ای جوان، تغییر تکیه‌گاه شیب و نیز وجود پهنه وسیع آبی(سد) در مجاورت آن در پایین دست می‌باشند(شکل۵، تصویر شماره۲). غالب جریان لغزشی در سمت چپ جاده وجود دارد و نکته

قابل توجه آن است که در انتهای بازه مذکور به دلیل تغییر نوع خاک شرایط پایداری در یک بازه کوتاه ایجاد شده است. قابل ذکر است که دیوار حایل نیز در راستای مدیریت لغزش‌ها احداث شده ولی با توجه به حجم توده متاثر از شرایط و پتانسیل موجود و استعداد منطقه و تغییر کاربری خیلی جوابگو نیست. تعداد قابل توجه ناپایداری در این زیر بازه اتفاق افتاده است و در اصل به صورت یک پهنه‌ی تیپیک ناپایداری درآمده است که قبلا وجود نداشته است و دال بر حساسیت و شکنندگی این پهنه محیطی بعد از تغییرکاربری و احداث جاده بر روی این واحد ژئومورفیک و نیز احداث سد در مجاورت بلافصل آن می‌باشد.

زیر بازه دوم بعد از پل تا انتهای بازه دوم است که که در ابتدای آن شرایط غالب لیتولوژیک و توپوگرافیک عاملی شده که لغزشها در بازه کوتاه تا بالای مسیر به سمت دیگر دامنه اتفاق نیفتند. نتایج بررسی‌های میدانی نشان داد که در ادامه مسیر و از محل تغییر جهت جاده به سمت دیگر دامنه و در سمت راست و چپ جاده در یک بازه صد متری در طرفین ۴ مورد جریان لغزشی اتفاق افتاده است. در ادامه در همین مسیر یک لغزش منطبق بر سطح جاده و نیز لغزش‌های دیگر حادث شده‌اند. نتایج مطالعات نشان داد که در ادامه مسیر و در قوس اول و نیز دوم هم جریان فراوان لغزشی و نیز شاخص ترین لغزش سطح جاده‌ای موجود است که در سال ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است(شکل۵، تصویر شماره ۳).

در کل بازه دوم یک نمونه تیپیک از ناپایداری و جریان‌های لغزشی متاثر از تغییر کاربری و احداث جاده منطبق بر سطوح پادگانه‌ای و رسوبات سست در یک منطقه با بیشینه بارشی است. تعداد جریان لغزشی ثبت شده در این بازه به ۱۹ مورد شاخص می‌رسد. در کل نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که بازه دوم نیز به لحاظ پتانسیل پرخطر است ولی نسبت به بازه اول تا اندازه‌ای در تراز پایین‌تری قرار دارد. با این وجود، نتایج میدانی نشان داد که به لحاظ ناپایداری و نیز تعداد نقاط لغزشی در سطح بیشتری قرار دارد. دلایل آن نیز در ارتباط با استقرار آن بر سطح پادگانه‌ای جوان در مجاورت رودخانه و تشکیلات رسوبی سست است که تحت تاثیر تغییر کاربری برای احداث جاده‌ی جدید ناشی از احداث سد در چند سال اخیر قرار گرفته است.

بازه سوم از محل اتصال جاده قدیم بالای بریسو تا دارساوین می‌باشد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی و نیز مطالعات میدانی نشان داد که نسبت به دو بازه قبلی کم خطرتر است. به دلیل وجود جاده‌ی قدیمی و نیز انطباق این پهنه بر سطح پادگانه‌های قدیمی‌تر با لیتولوژی مقاوم‌تر و نیز افزایش سطح پوشش جنگلی زاگرسی باعث شده که پایداراتر باشد. نتایج مطالعات میدانی نیز نشان داد که ۶ تا ۷ مورد زمین‌لغزش در آن صورت گرفته است در حالی که طول این بازه از دو بازه دیگر بیشتر است. موارد شاخص لغزش در این بازه در اول بازه از سمت بریسو و نیز در انتهای بازه در مجاورت متاثر از شرایط خاص شیب می‌باشد.

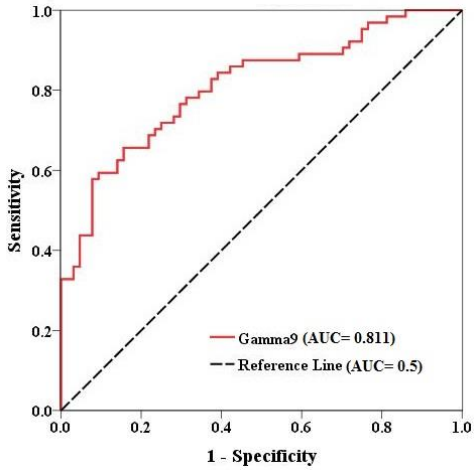
شکل۵ – جریان‌های لغزشی در بازه‌های مطالعاتی، شماره ۱: بازه اول، شماره ۲ و ۳: بازه دوم

ارزیابی مدل

اعتبارسنجی مدل‌ها یکی از بخش‌های مهم پژوهش است. در این ارتباط و به منظور ارزیابی مدل تهیه شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) و سطح زیر منحنی (AUC) استفاده شد. نتایج ازیابی نشان داد که مقدار سطح زیر منحنی برابر ۰/۸۱۱ می‌باشد که با توجه به بازه ۰/۵ تا ۱ به صورت عدم مقبولیت تا مقبولیت، بیانگر دقت و کارایی مدل به کار گرفته شده می‌باشد(شکل۶).

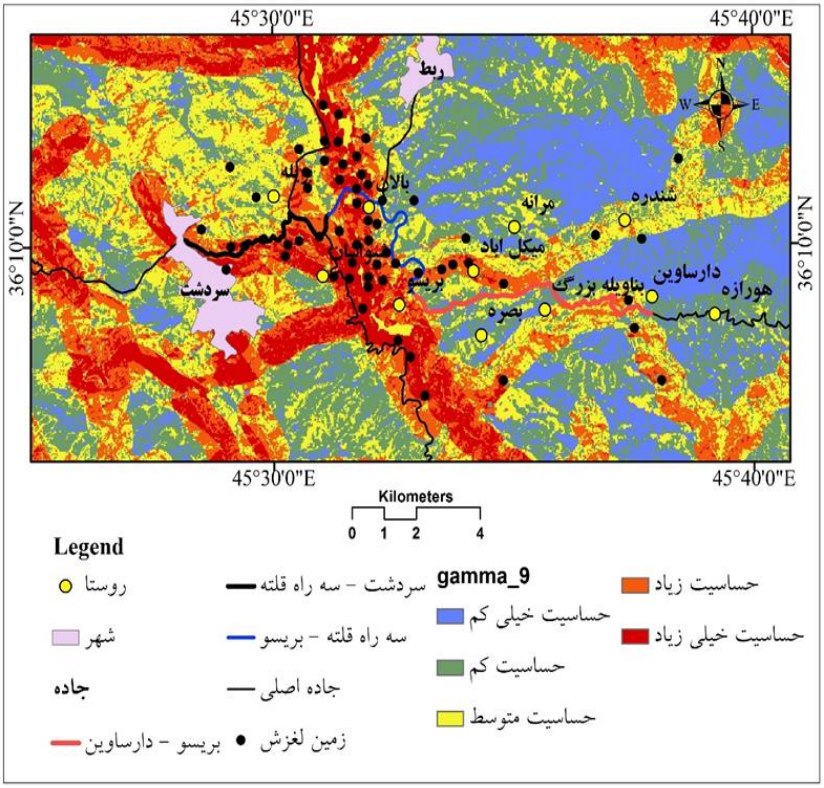
جدول۳: مساحت زیر منحنی (ROC) به همراه انحراف معیار استاندارد و سطح اطمینان ان

سطح زیر منحنی	خطای استاندارد	سطح اطمینان	فواصل اطمینان در سطح ۹۵٪	
			حد پایین	حد بالا
.۸۱۱	.۰۳۸	.۰۰۰	.۷۳۷	.۸۸۵



شکل۶ : منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی مدل به کار رفته

در راستای اعتبارسنجی و افزایش دقت مطالعاتی، بازدید میدانی و نیز ثبت نقاط لغزشی بسیار مفید است. با این هدف نقشه‌ی نقاط لغزشی محدوده‌ی مورد مطالعه تهیه گردید. نتایج کلی نشان داد که پهنه‌ی بازه‌ی دوم بیش‌ترین میزان رخداد زمین لغزش و بازه‌ی سوم کمترین رخداد لغزش را دارد، ضمنا میزان رخداد زمین لغزش در بازه‌ی اول زیاد است. نتایج موجود با نقشه‌ی تهیه شده‌ی خطر زمین‌لغزش در بیش‌تر بخش‌ها انطباق خوبی دارد که دال بر دقت مطالعاتی است(شکل۷).



شکل ۷: نقشه پتانسیل وقوع حرکات توده‌ای خاک و موقعیت نقاط لغزش بر اساس گاما ۰/۹

نتیجه‌گیری

پژوهش مذکور در ارتباط با ارزیابی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش بود و هدف نیز یک رویکرد ژئومورفولوژیک و سیستمی بود. بر این اساس به صورت موردی به واکاوی مخاطره‌ی زمین لغزش در مسیر جاده‌ی سردشت- بانه حد فاصل سردشت- دارساوین پرداخته شد. از دلایل انتخاب موضوع و نیز انتخاب این مسیر احداث سد سردشت(کولسه) و به تبع آن احداث جاده‌ی جدید در بخشی از این مسیر بود. بنابراین بازه جاده جدید و نیز در راستای قابلیت مقایسه و نیز تحلیل پارامترهای تاثیرگذار، بازه قبل از آن (سردشت تا سه راه قلته) و نیز بازه بعد از آن(بالاتر از بریسو تا دارساوین) مورد بررسی قرار گرفتند. در راستای واکاوی و نیز رسیدن به اهداف پژوهش، ترکیبی از مطالعات کتابخانه‌ای و تئوریک، مطالعات میدانی کامل و دقیق، به‌کارگیری روش فازی و نیز عملگر Gamma0/9 در محیط GIS همراه با تحلیل‌های آماری بخش اصلی پژوهش بودند.

در مسیر پژوهش، ۱۶ متغیر بر مبنای نظر کارشناسی و با توجه به شرایط و واقعیت‌های منطقه انتخاب گردیدند. نقشه‌های ۱۶ متغیر مستقل و موثر در حرکات دامنه‌ای با رویکرد حوضه‌ای با هدف درک بهتر شرایط و با تاکید بر جاده‌ی ارتباطی، مورد مطالعه و بر مبنای استانداردهای موجود و نیز داده‌های در دسترس با دقت مطالعاتی بالا تهیه گردید. با هدف دقت پژوهش و نیز در راستای رویکرد سیستمی لایه‌های رستری فازی‌سازی شد. بررسی‌ها نشان داد که متغیرهای ۱۶گانه در ایجاد ناپایداری و مخاطره‌ی زمین لغزش با درجات متفاوت تاثیرگذاری داشته‌اند و در این بین میزان تاثیر پارامترها نیز در سطح مسیر ۲۱ کیلومتری جاده‌ی ارتباطی و سه بازه آن که تقسیم شده است، متفاوت است.

نتیجه‌گیری حاصل از بررسی متغیرها و نیز نقشه‌های تهیه‌شده همراه با مطالعات میدانی گویای آن است که در کل بازه‌ها نقش مولفه‌های اقلیمی و نیز نقش جاده‌سازی قابل توجه است ولی در سطح بازه‌ها میزان نقش آنها متفاوت است. به عنوان

نمونه در سطح بازه اول نقش پارامتر اقلیمی و توپوگرافی اثرگذارتر بوده است و در سطح بازه دوم نقش جاده‌سازی اخیر و شرایط لیتولوژیک در ناپایداری‌های موجود موثرتر بوده است. نتایج حاصل از عملگرGamma0/9 نشان می‌دهد که بخش غالب بازه‌ی اول و نیز بازه‌ی دوم در پهنه‌ی با حساسیت متوسط به زیاد و خیلی زیاد قرار دارند و کمترین میزان حساسیت در بازه‌ی سوم حدفاصل بالای بریسو تا دارساوین می‌باشد. تحلیل‌های نهایی نشان داد که در بازه اول نقش متغیرهای ارتفاع، شیب، بارش و قدرت جریان در روند ناپایداری دامنه‌ای منطبق بر سطح جاده قابل توجه بوده است. در بازه دوم نیز نقش متغیرهای بارش، فاصله از جاده، فاصله از گسل و شرایط لیتولوژیک بسیار اثرگذار در فرایند ناپایداری موجود بوده است. بازه دوم یک نمونه تیپیک از ناپایداری را در چند سال اخیر نشان داده است که دال بر تغییر کاربری در راستای جاده‌سازی جدید بعد از احداث سد سردشت(کولسه) می‌باشد که بر سطح رسوبات پادگانه‌ای جوان و در مجاورت بلافصل رودخانه ایجاد گردیده است. بنابراین شناسایی واحدهای ژئومورفیک و تعیین اختصاصات آنها و به نوعی رویکرد فرم و فرایند در فعالیت‌های محیطی توسط انسان ضروری است. پایداری بیشتر بازه سوم نیز در ارتباط با قرارگیری بر سطح رسوبات پادگانه‌ای قدیم‌تر با مقاومت بیشتر و نیز توسعه بیشتر پوشش‌های جنگلی می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات عابدینی و پیروزی(۱۳۹۸) که شیب، کاربری اراضی، بارش و لیتولوژی در رخداد زمین لغزش در شهرستان خلخال بیشترین ضریب وزنی و تاثیر را داشته‌اند و نیز با پژوهش آبیجا و همکاران(۲۰۲۰) که در نیجریه به ارزیابی پتانسیل رخداد زمین‌لغزش پرداختند و شیب، جهت شیب، کاربری اراضی و بارش بیشترین نقش را داشتند، همخوانی دارد.

با تمام این اوصاف نتایج اعتبار سنجی پژوهش نیز بر مبنای مقدار سطح زیر منحنی که برابر ۰/۸۱۱ به دست آمد دال بر دقت مطالعاتی و مدل است که البته با رویکرد میدانی موجود که در این پژوهش انجام شد، قابل اعتناتر است و بیانگر نقش مسائل مورفودینامیک و جایگاه آنها در مسائل مربوط به مدیریت محیط است. نتایج برداشت‌های میدانی نیز نشان داد که در سطح بازه اول ۱۴ مورد، در سطح بازه دوم بالغ بر ۳۰ مورد و در بازه سوم نیز ۶ تا ۷ مورد زمین لغزش اتفاق افتاده است. بنابراین با رویکرد مخاطره شناسی می‌توان گفت که عملکرد نامناسب انسان می‌تواند منجر به افزایش سطح خطر، احتمال خطر، آسیب‌پذیری و در نهایت مصیبت و حتی بحران گردد. همین مساله ضرورت توجه به واقعیات محیطی فرم‌ها و فرایندها که هدف این پژوهش در یک قالب محیطی بود و نیز نقش ژئومورفولوگها و مخاطره شناسان را در سطوح مختلف برنامه‌ریزی می‌رساند.

منابع

- اشتوکلین، ی.، و رمون، ف.، ۱۳۶۸. زمین‌شناسی و زمین ساخت فلات قاره، ترجمه صادق حدادکاوه و حسن حسنعلی‌زاده، تهران، انتشارات علمی و فرهنگی وزارت آموزش عالی، چاپ اول.
- امیر احمدی، ا.، جمال‌آبادی، جواد، و دانشفر، ر.، ۱۴۰۱. مدل‌سازی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه لتیان با استفاده از مقایسه آماری دو متغیره، دو فصلنامه مدیریت بحران، شماره۲۱، صص ۱۲۷-۹۷.
- باخویشی، کاوه.، ۱۳۸۳. مطالعات حرکات دامنه‌ای(با تاکید بر زمین لغزش) در جاده‌ی مریوان- کامیاران از سه راه دگاگا تا کامیاران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- باقدم، ع.، فرج زاده اصل، منوچهر.، و شایان، س.، ۱۳۸۴. ارزیابی ایمنی جاده‌ای با رویکرد مخاطرات محیطی (مطالعه‌ی موردی: مسیر سنندج – مریوان با استفاده از *GIS*)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۱، صص ۱۵-۱.
- ثروتی، م، ر.، ۱۳۸۱. ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران.
- حجازی، س.، رنجبریان شاد آباد، م.، ۱۳۹۳. شناسایی عوامل موثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخش غربی حوضه آبریز سرندچای، مجله پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره۳، صص ۱۲۹-۱۱۴.
- خضری، س.، روستایی، شهرام.، و رجایی اصل، ع.، ۱۳۸۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در بخش مرکزی حوضه زاب (شهرستان سردشت) به روش آنبالاگان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۰، شماره ۴۸، صص ۸۰-۴۹.

- دسترنج، ع.، وکیلی تجره، ف، و نور، حمزه.، ۱۴۰۰. ارزیابی پهنه‌های حساس به وقوع زمین‌لغزش در رشته کوه بینالود، سال پانزدهم، شماره ۵۳، صص ۲۳-۱۲.
- ریاضی، ب.، خراسانی، ن.، کرمی، محمود.، و هوشیاردل، بنفشه.، ۱۳۸۵. بررسی اثرات حمل و نقل جاده‌ای و ریلی بر حیات وحش جانوری و ارائه‌ی رهنمون‌های لازم. فصلنامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۳، صص ۶۰-۵۳.
- سالاری، م.، ۱۳۸۵. تحلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی و برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز وزنه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- شادفر، صمد.، یمانی، م.، و قدوسی، ج.، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز چالکرود تنکابن)، مجله‌ی پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، دوره ۲۰، شماره۲، (پی‌آیند ۷۵)، صص۱۲۶-۱۱۸.
- شریعت جعفری، محسن.، و حامد پناه، رامین.، ۱۳۸۶. پیش بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملکردهای ضرب و جمع جبر فازی در البرز مرکزی، نشریه‌ی منابع طبیعی ایران، شماره سوم، ۷۵۷- ۷۴۵.
- طالب‌پور اصل، داود.، و قهرودی تالی، م.، ۱۳۹۶. تحلیل فضایی ناپایداری دامنه‌ای در حوضه آبریز سد مهاباد؛ فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال هفدهم، ۱۰۱-۸۳.
- عابدینی، موسی.، و یعقوب‌نژاد اصل، نازیلا.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در استان تهران با استفاده از مدل فازی، فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۱.
- عابدینی، موسی.، و پیروزی، الناز.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق روش‌های *Hot Spot*، *ANP* و *WLC* (مطالعه موردی: شهرستان خلخال)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و دوم، ۳۷-۱۹.
- عمادالدین، س.، و مرادی، آ.، ۱۳۹۷. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از فرایند سلسله مراتبی (*AHP*) و تحلیل شبکه‌ی عصبی مصنوعی (*ANN*) و مطالعات میدانی با رویکرد کاهش ریسک (مطالعه‌ی موردی: جاده‌ی هراز). مجله‌ی پژوهش-های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۴، ۱۹۰-۱۷۲.
- کلارستاقی، ع.، حبیب نژاد، م.، و احمدی، ح.، ۱۳۸۶. مطالعه‌ی وقوع زمین لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده سازی، مطالعه موردی حوزه آبخیز تجن، ساری، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۲، صص ۹۱-۸۱.
- مختاری، د.، ۱۳۸۸. آثار ژئومورفولوژیکی عملیات راهسازی در مناطق حساس ژئومورفولوژیک (مطالعه‌ی موردی: راه روستایی اردلان در شمال غرب ایران). مجله‌ی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیستم، چاپ چهارم، ۲۴-۱۷.
- یمانی، م.، شمسی‌پور، ع.، گورابی، ا.، و رحمتی، م.، ۱۳۹۳. تعیین مرز پهنه‌های خطرزمین لغزش در مسیر آزاد راه خرم آباد- پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی. نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال چهاردهم، شماره ۲۳، صص ۴۴-۲۸.
- *Abija, F. Nwsou, J. Ifedotun, A. and Osadebe, C., 2020. Landslide susceptibility of Calabar, Nigeria using Geotechnical, Remote Sensing and Multi- Criteria Decision Analysis: Implications for urban planning and development, Journal of Earth Sciences & Environmental Studies, DOI: 10.25177/JESES.4.6.RA.617.*
- *Epiong, J. Eni, D, I. Obiefuna, J, N.and Etu, S, J., 2021. Geospatial modelling of landslide susceptibility in Cross River State of Nigeria, Scientific African, 14, e01032.*
- *Graeme, F., Bonham-Carter, (1994), "Geographic information systems for geoscientists, modeling with GIS", Geological Survey of Canada, Ottawa.*
- *Kainz, W., 2008. "GIS for hazard analysis using vague data, Department of Geography and Regional Research": University of Vienna, Austria.*
- *Larsen. M.C. and Parks, J.E., 1997. how wide is a road? The association of roads and mass wasting in a forested Montana environment, Earth Surface Processes and Landforms, Vol: 22, pp: 835-848.*

- *Margarint,M.C. Grozavu, A.and Patriche, C.V., 2013. Assessing the spatial variability of Coefficients of Landslide Predictors in different regions of Romania using logistic regression. Natural Hazard and Earth system scinces. Sci. 13, pp. 3339-3355.*
- *Pradhan, S. Toll, D, G. Rosser, N, J. and Brain, M, J., 2022. An investigation of the combined effect of rainfall and road cut on landsliding, Engineering Geology, 307, 106787.*
- *Tseng, Ch. M. Chen, Y. R. and Wu. S. M., 2017. Scale and spatial distribution assessment of rainfall-induced landslides along mountain roads. Natural Hazards and Earth System Science. doi.org/10.5194/nhess-2017-264.*