

تحلیل و پهنه‌بندی خطر جریان‌های و مخروط‌های آن در منطقه کوهستانی پاوه

سعید خضری* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه کردستان

محمد احمدی - استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

احمد محمدی مطلق - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه کردستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۲/۰۷

چکیده

ناپایداری‌های دامنه‌ای از جمله مخاطرات طبیعی هستند که زندگی انسان‌ها را مورد تهدید قرار می‌دهند. بسیاری از محققین ناپایداری‌های دامنه‌ای را مطالعه نموده‌اند، اما جریان‌های واریزه‌ای به‌عنوان مخاطره‌ای طبیعی، جدا از لغزش دامنه‌ای و سیلاب، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ریزش‌های سنگی، جریان‌های واریزه‌ای و جریان‌های بهمین برفی تهدیدکننده خطرات ارتباطی، مناطق مسکونی و مراکز خدماتی و نیمه‌صنعتی در واحد کوهستانی شهرستان پاوه در استان کرمانشاه می‌باشند. این پژوهش به منظور ارزیابی و تحلیل مخروط‌های واریزه‌ای در ایجاد مخاطرات محیطی منطقه و تهیه نقشه خطر جریان‌های واریزه‌ای صورت گرفته است. مواد مورد استفاده در این تحقیق مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای لندست، عکس‌های هوایی و تصاویر Google Earth Pro و همچنین وسایل مورد نیاز در مطالعات میدانی بوده است. مدل‌های ثانویه (شیب، جهت دامنه، انحناء) نیز از مدل رقومی ارتفاعی اولیه استخراج گردیدند. در مرحله اول مخروط‌های واریزه‌ای با استفاده از عکس‌های هوایی و نرم‌افزارهای سنجش از دور شناسایی شدند و بر روی نقشه مشخص گردیدند. سپس میزان جابه‌جایی واریزه‌ها و خصوصیات ژئومورفولوژیکی آن‌ها طی مطالعات میدانی بررسی گردید. در مرحله دوم لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در ایجاد و جابه‌جایی مخروط‌های واریزه‌ای تهیه شد. سپس به منظور درک روابط لایه جریان‌های واریزه‌ای بر روی هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی هم‌پوشانی گردید. در مرحله سوم بر اساس وزن هر کدام از فاکتورهای دخیل نقشه پهنه‌بندی خطر جریان‌های واریزه‌ای منطقه در پنج کلاس در محیط نرم‌افزارهای GIS تهیه شد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر: پهنه خطر خیلی زیاد ۵/۳۸ درصد، پهنه خطر زیاد ۱۵/۱۴، پهنه خطر متوسط ۲۴/۶۶، پهنه خطر کم ۱۹/۲۸ و پهنه خطر خیلی کم ۳۵/۵۴ درصد منطقه را در بر گرفته‌اند. در پهنه‌بندی وقوع حرکت واریزه‌ها از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. برای شناسایی عوامل مؤثر در وقوع جریان‌های واریزه‌ای و تعیین ضرایب آن‌ها، فاکتورهای شناسایی شده منطقه در نرم‌افزار SPSS 19 تجزیه و تحلیل شدند و خروجی مدل عوامل مؤثر و ضرایب آن‌ها را مشخص نمود. پس از آن لایه‌ها در محیط نرم‌افزارهای GIS فراخوانی شدند. ضرایب هر یک از لایه‌ها اعمال شد و با قراردادن لایه‌ها و ضرایب در معادله رگرسیون لجستیک، نقشه پهنه‌بندی خطر جریان‌های واریزه‌ای ترسیم گردید. صحت مدل برای پیش‌بینی با استفاده از شاخص ROC و جدول طبقه‌بندی بررسی شد و صحت نقشه تولیدشده به روش همپوشانی نقاط و روش تصادفی انتخاب واریزه‌ها در هر طبقه ارزیابی گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده جریان‌های واریزه‌ای در منطقه، نیازمند انجام مطالعات جامع و تفصیلی‌تر است. نتیجه‌گیری می‌شود که دلیل حساسیت و ناپایداری‌های دامنه‌ای این منطقه، لازم است مکان‌یابی دقیق برای اجرای پروژه‌های عمرانی و کشاورزی صورت گیرد و در صورت ضرورت دخالت در دامنه‌ها باید با مطالعه دقیق و حساسیت ویژه عمل کرد.

واژگان کلیدی: جریان‌های واریزه‌ای، تحلیل رگرسیون لجستیک، شهرستان پاوه، پهنه‌بندی خطر.

مقدمه

ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیست انسان از خطرات، به‌خصوص با توجه به اهمیت اثر تغییرات زیست‌محیطی جهان و همچنین تغییرات اجتماعی و اقتصادی، در چارچوب تجزیه‌وتحلیل ریسک، یک موضوع در حال رشد است. از این‌رو، استراتژی‌های کاهش خطر آسیب‌پذیری برای توسعه کارآمد ضروری است (کیلر^۱ و همکاران، ۲۰۱۲، ۲۰۸۳). دلایل چندی وجود دارد مبنی بر این که حتی اگر دامنه حوادث ژئومورفولوژیکی تغییر نکند و به‌رغم بسیاری از اقدام‌های مثبتی که منجر به کاهش مصیبت‌ها می‌شود، وقوع مصیبت رو به رشد است. از جمله این دلایل عبارتند از: رشد جمعیت، فشار بر زمین، شهرنشینی، عدم تعادل (نابرابری)، تغییرات اقلیمی، تغییرات سیاسی، رشد اقتصادی، نوآوری، توقعات اجتماعی و وابستگی جهانی (اسمیت و پتلی^۲، ۲۰۰۹، ۳۲). جریان‌های واریزه‌ای^۳ از جمله مخاطرات طبیعی هستند که به‌صورت مکرر به‌ویژه در مناطق کوهستانی، آتشفشانی، نیمه‌خشک و پریگلاسیر رخ می‌دهند (سانتی^۴ و همکاران، ۲۰۱۰، ۳۷۳). عوامل مختلفی در تشکیل واریزه‌ها و احتمال ایجاد جریان‌های واریزه‌ای دخیل هستند که شدت و ضعف عملکرد آن‌ها به شرایط طبیعی حاکم در منطقه (در گذشته و حال) و نحوه دخالت‌های انسانی در محیط بستگی دارد. انسان با انجام انواع فعالیت‌ها، به‌ویژه فعالیت‌های معدنی و احداث جاده‌ها در نواحی کوهستانی دخالت می‌کند. دخالت انسان در طبیعت بدون تجهیزات و یا با تجهیزات پیشرفته صورت می‌گیرد. انسان به‌ویژه در شرایطی که به تکنولوژی پیشرفته روز مجهز شده، به نحوی در افزایش میزان وقوع جریان‌های واریزه‌ای، دخالت داشته است (بارونی^۵ و همکاران، ۲۰۰۰، ۹۶). در کشور ایران افزایش هزینه ساخت جاده، افزایش هزینه نگهداری و تعمیرات، اختلال در حمل‌ونقل و بالا رفتن خسارات به ماشین‌های مورد استفاده و اختلال در مدیریت جنگل و... از جمله مشکلات ملموسی هستند که ناشی از ناپایداری دامنه‌هاست. بر اساس برآوردهای اولیه، سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی تنها از طریق زمین‌لغزش‌ها بر کشور وارد می‌شود (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۰۴، به نقل از ایزانلو، ۱۳۷۶). برآورد خسارت‌های وارده به جاده‌ها و هزینه‌های رفع جریان‌های واریزه‌ای اداره راه و ترابری شهرستان پاپوه نشان می‌دهد که نه تنها میزان خسارات و هزینه‌ها افزایش یافته است بلکه فرکانس وقوع آن‌ها نیز بیش‌تر شده است.

در بارندگی‌های شدید سال ۱۳۷۰ رسوبات جریان‌های واریزه در چندین نقطه از شهر نودشه سبب شدن معابر عمومی گردید و به اموال عمومی و چند خانه مسکونی خسارت وارد کرد (شکل ۱). بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی و مصاحبه با ساکنین محل، بارش باران و تگرگ در تیرماه سال ۱۳۷۸ در مسیر جاده نودشه- هجیج سبب به بار آوردن

¹ - Keiler

² - Smith and Petley

³ - Debris flow

⁴ - Santi

⁵ - Baroni

خسارات زیادی به اهالی محل شد. وقوع جریانات واریزه‌ای در سه دره منتهی به مسیر جاده نه تنها سبب مسدود شدن راه شد، بلکه خسارات زیادی به باغ‌ها نیز وارد کرد و باعث کشته شدن تعداد زیادی دام شد. در طی بارندگی مرداد سال ۱۳۸۴ نیز در مزرعه هانه‌دشت نیز وقوع جریان واریزه، سبب مسدود شدن دهانه چشمه اصلی شد و برای چند هفته آن را بلااستفاده کرد. در مسیر جاده باینگان به سمت غرب در اطراف جاده باغ‌ها و روستاهای زیادی را می‌توان مشاهده نمود که در معرض خطر جریانات واریزه‌ای هستند، یا به آن‌ها خسارات وارد شده است. در روستای دگاسیاب از توابع بخش باینگان آثار جریان واریزه‌ای با مدفون نمودن چشمه روستا هنوز هم مشهود است (شکل ۲).



شکل ۲- جریان واریزه دگاسیاب و مدفون شدن چشمه روستا (طول ۷' ۴۶° شرقی، عرض ۱' ۳۵° شمالی)



شکل ۱- جریان واریزه سال ۱۳۷۰ در شهر نودشه (عکس از: محمد روشن)

حرکت واریزه‌ها و جابجایی خرده‌سنگ‌های زاویه‌دار بر روی دامنه‌ها تحت تأثیر نیروی ثقل زمین یکی از فرایندهای مهم و غالب بر دامنه کوهستان‌های شهرستان پایوه است. به نقل از عابدینی (۱۳۸۷) دانشمندی چون دیویس^۱، وان استیجن^۲، بویل‌هویرس^۳، جانزهانگ^۴، لیو و لی^۵، پاسوتو و سولدات^۶ معتقدند که: پیدایش و اهمیت جریان‌های واریزه‌ای در هر منطقه تابع شرایط اقلیمی، لیتولوژیکی، زمین‌ساخت و فعالیت‌های انسانی می‌باشد و معمولاً جریان‌های واریزه‌ای فعال مشکلاتی را برای امور کشاورزی، صنعتی و شبکه ارتباطی به وجود می‌آورند. یکی از فرایندهای مهم در حوضه‌های آبخیز، وقوع جریان‌های گلی، سیلان واریزه‌ای یا به‌طور کلی جریان‌های بسیار متمرکز (فشرده)^۵ است. شناخت این نوع جریان‌ها برای مقابله و کنترل آن‌ها نقش اساسی دارد. در این پژوهش، خطر

¹ - Davis
² - VanSteijn
³ - Boelhouwers
⁴ - Junzhong
⁵ - Liu & Li
⁶ - Passuto & Soldat

جریان‌های واریزه‌ای مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گرفته است. به‌طور کلی هدف از چنین مطالعه‌ای، پهنه‌بندی مناطق پایدار و ناپایدار شهرستان پاره است که در برنامه‌ریزی محیطی آن می‌تواند تأثیرات مطلوبی بر جای بگذارد. تلاش شده با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل عناصر مؤثر در وقوع مخاطرات جریان‌های واریزه‌ای با استفاده از فرآیند تحلیل رگرسیون لجستیک، به تحلیل کمی از مناطق پایدار و ناپایدار در این شهرستان پرداخته شود. بیانی خطی (۱۳۸۶) واریزه‌های دامنه‌های شمال غربی سبلان را مورد بررسی قرارداد. نتایج حاصل از بررسی‌های کمی و تحلیل‌های آماری و با استفاده از رگرسیون چند متغیره نشان داد که، در بزرگ شدن طول مخروط واریزه‌ها که معرف حجیم شدن واریزه‌های تشکیل شده در پای دامنه‌هاست، نقش عمق معبر بسیار برجسته است. وجود شیب‌های تند (۴۰ درجه)، عدم وجود پوشش گیاهی گسترده، وقوع بارش‌های شدید، افزایش ذوب برف ارتفاعات و وقوع سیلاب‌های بزرگ از علل اصلی ایجاد و جابجایی واریزه‌ها در گذشته بوده است. بنی‌حیب و ایران‌پور (۱۳۸۶) علل تخریب حوضچه آرامش سد انحرافی روزبهان در استان فارس را بررسی نموده و سیلان‌های واریزه‌ای را عامل اصلی تخریب سد انحرافی مذکور می‌دانند. عابدینی (۱۳۸۷) با بررسی نقش عوامل مؤثر در پیدایش و تکوین جریان‌های واریزه‌ای ارتفاعات شمال غرب آذربایجان لیتولوژی، تناوب و ضخامت لایه‌ها، ارتفاع، درصد تخلخل اولیه (تخلخل طبیعی حاصل از دیاژنز) و به‌ویژه تخلخل ثانویه (زمین‌ساختی، مکانیکی، به‌صورت گسل، درزه، دیاکلاز و...) را در ارتباط با شرایط اقلیمی به‌طور سیستماتیک در پیدایش و توسعه جریان‌های واریزه‌ای منطقه مؤثر می‌داند. ایشان همچنین در تحلیل‌های کمی اشاره می‌کند که با عبور جریان‌های واریزه، طول و عمق بخش معبر افزایش یافته است. بین افزایش شیب محل تشکیل واریزه و حجم مواد واریزه‌ای انباشته‌شده، رابطه منفی و معکوس وجود دارد و با افزایش شیب محل، ضخامت جریان‌های واریزه‌ای منطقه کمتر شده است. اسفندیاری درآباد و هاشمی (۱۳۹۱) در مطالعه ناپایداری‌های دامنه‌ای مسیر ارتباطی پاره - نودشه عواملی را که سبب ناپایداری این دامنه‌ها شده‌اند را شامل تغییر در کاربری اراضی، کاهش پوشش گیاهی، تغییر در هندسه شیب دامنه‌ها و زیربری دامنه‌ها و احداث راه‌های ارتباطی روی این دامنه‌ها ذکر می‌کنند و در میان عوامل طبیعی، شیب و سست بودن جنس سنگ‌ها را مهم‌ترین عوامل در این زمینه بیان می‌کنند. مالت^۱ و همکاران (۲۰۰۴) معتقدند در حوضه‌های آبخیز، بررسی خصوصیات مکانیکی و تحلیل پایداری دامنه‌ها در شناسایی مناطق دارای پتانسیل تولید جریان واریزه‌ای، اهمیت زیادی دارند و به‌عنوان مهم‌ترین موارد در پتانسیل‌یابی این پدیده محسوب می‌شوند. بن^۲ و همکاران (۲۰۱۳) در استان سیچوان^۳ چین جریان واریزه غول پیکر سال ۲۰۱۰ را بررسی نمودند. آن‌ها با اندازه‌گیری آستانه بارش برای وقوع جریان واریزه در سال‌ها و مکان‌های مختلف نتیجه‌گیری نمودند که آستانه بارش برای رخ داد جریان‌های واریزه‌ای بعد از زلزله به‌شدت کاهش می‌یابد. چن و چانگ (۲۰۱۴) سه جریان واریزه را باهدف مدل‌سازی منطقه رسوب جریان واریزه، در جنوب تایوان مورد مطالعه قرار دادند. مکان مورد مطالعه سه جریان دارای خصوصیات آب و هوایی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و توپوگرافی تقریباً یکسانی بود. شبیه‌سازی جریان‌های واریزه با مواد آزمایش مخلوط، از خاک رس گرفته تا تخته‌سنگ صورت گرفت. نتایج نشان داد که در هنگام وقوع جریان حجم، سرعت و مسافت مواد جابجا

1 - Mallet

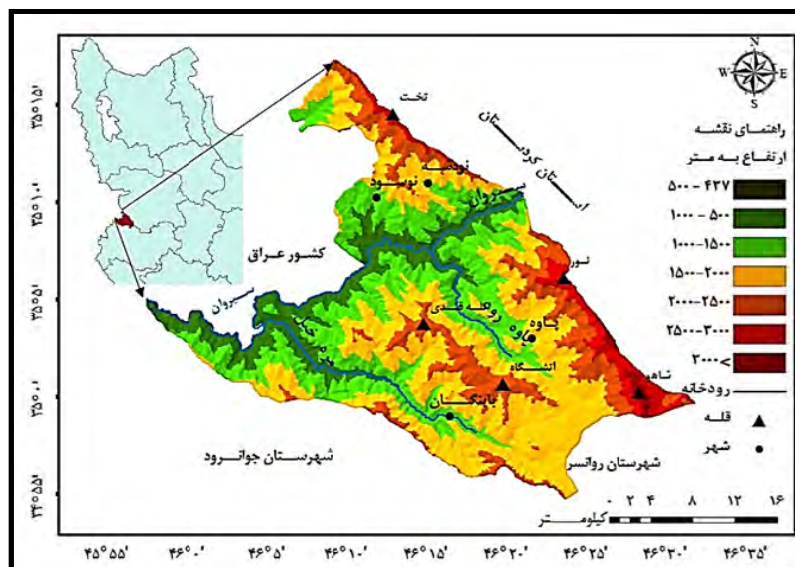
2 - Bin

3 - Sichuan

شده در ارتباط با حجم مواد رسوبی و ویژگی‌های حوضه آبریز است. نتایج شبیه‌سازی همچنین مشخص نمود که جریان با سرعت $4/2$ متر در ثانیه و به عمق کانال ۶ متر، هشتصد هزار مترمکعب مواد را جابجا نموده است. بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که هرچند در زمینه ناپایداری‌های دامنه‌ای و تولید رسوبات رودخانه‌ای کارهای زیادی انجام شده اما پدیده جریان واریزه‌ای به‌عنوان یک مخاطره طبیعی، جدا از لغزش دامنه‌ای و سیلاب کمتر موردتوجه بوده است و بیشتر به‌صورت ضمنی همراه با سایر حرکات دامنه‌ای در مطالعات موردبررسی قرار گرفته است. این امر به‌خصوص در مطالعات داخلی کاملاً مشهود است. در این پژوهش سعی بر آن است که پدیده جریان واریزه‌ای با توجه به تفاوت‌هایی که با لغزش دامنه‌ای و سیلاب دارد به‌صورت جدا بررسی شود تا ابعاد مخاطره‌آمیز بودن آن بهتر روشن شود.

مواد و روش‌ها

از نظر جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بخشی از آبگیرهای سرشاخه‌های مهم رودخانه سیروان در شهرستان پاوه در برگرفته است. شهرستان پاوه با مساحت $797/5$ کیلومترمربع و میانگین ارتفاع $1887/5$ متر از سطح دریا در غرب ایران و شمال غرب استان کرمانشاه واقع است. نوار شمالی و شرقی شهرستان با استان کردستان همسایه است. در سمت جنوب، شهرستان جوانرود و در جنوب شرقی آن شهرستان روانسر قرار دارد. کشور عراق نیز به‌صورت یک فرورفتگی شمال غرب شهرستان را در برگرفته است. از نظر موقعیت ریاضی این شهرستان بین طول‌های جغرافیایی 45 درجه و 57 دقیقه و 46 درجه 31 دقیقه شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی 34 درجه و 54 دقیقه و 35 درجه 17 دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۳). از آنجاکه در مطالعات ژئومورفولوژی و پدیده‌های مربوطه تلاش بر این است که وجود یا عدم وجود اتوکورلیشن بین داده‌ها آشکار و کمی گردد لذا در این راستا در منطقه مورد مطالعه؛ موقعیت واریزه‌ها از طریق منابع تصویر گوگل ارث و کنترل میدانی فهرست برداری گردید. از تحلیل اتوکورلیشن فهرست داده‌ها با سطح منطقه مورد مطالعه (فرض بر وجود عدم همبستگی بین نقاط) بررسی گردید. بر اساس نتایج مشخص شد که با کمتر از یک درصد احتمال الگوی خوشه‌ای بین نقاط ناشی از شانس تصادفی، وجود دارد. وجود الگوی خوشه‌ای در داده‌ها نشان‌دهنده وابستگی بین آنهاست. افزایش وابستگی مکانی باعث کاهش بعد فراکتالی می‌شود. کاهش بعد فراکتالی به معنای تغییرات در فاصله زیاد است. بنابراین با تغییر مقیاس نقشه (بزرگ شدن مقیاس) تفاوتی در نتایج حاصل نمی‌گردد. ارتباط درونی و تغییرات مکانی این پدیده‌ها مستقل از مقیاس نقشه‌های استفاده شده است. در شش واحد سنگ‌شناسی مورد بررسی موقعیت واریزه‌ها تابع تغییر سنگ‌شناسی نیست. همان‌طور که اشاره شد شناسایی الگو عموماً پیش‌نیاز درک روابط فرآیند - شکل است. آنچه در مورد الگوی تشکیل واریزه در این منطقه مشاهده گردید این است که علائم آن با مقیاس متفاوت نیست. رابطه متقابل مقیاس و الگو ارزیابی گردید. فرض این بود که انتظار مقیاس - الگو مشخص بین داده‌ها و نقشه زمین‌شناسی وجود دارد یا نه؟ توانایی اثبات این فرض به روابط بین مقیاس تغییرات مکانی وابسته است. به عبارت بهتر چون فرآیندهای تولیدکننده واریزه در منطقه مورد مطالعه با نرخ آهسته‌تر عمل می‌کند با افزایش یا کاهش فاصله نمونه‌برداری اثرات غیرمستقیم بیشتر از واحدهای سنگ‌شناسی آشکار گردید. از طرفی پویایی واحدهای واریزه آرام است. در اغلب لیتولوژی‌های موجود در منطقه واریزه مشاهده شدند.



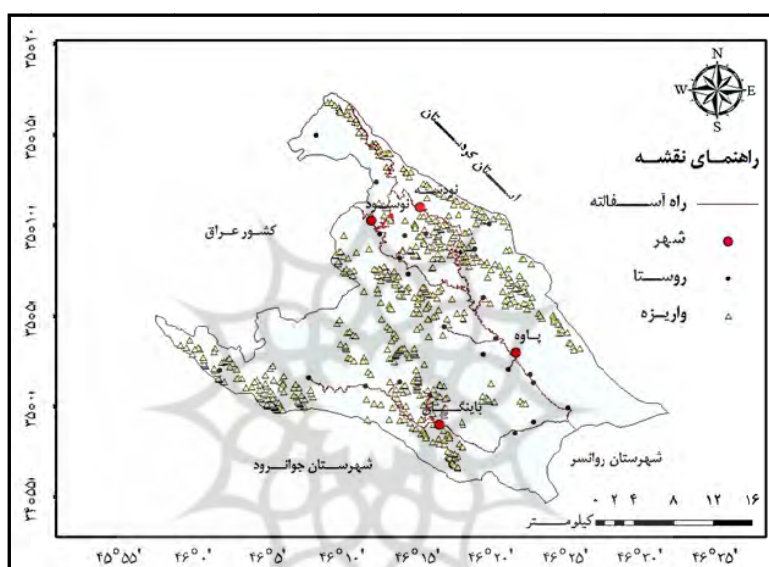
شکل ۳: محدوده طبیعی منطقه مورد مطالعه

از جمله مواد مورداستفاده در این تحقیق مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر منطقه بوده و علاوه بر آن از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه و داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای لندست، عکس‌های هوایی و تصاویر *Google Earth Pro* نیز استفاده شده است. همچنین از وسایل موردنیاز در مطالعات میدانی نیز بهره گرفته شد. مدل‌های ثانویه (شیب، جهت دامنه، انحناء) نیز از مدل رقومی اولیه ارتفاعی استخراج گردیدند.

در این پژوهش ابتدا کلیه مخروط‌های واریزه‌ای با استفاده از نرم‌افزار *Google Earth Pro* شناسایی شده و داده‌های قابل استخراج (ارتفاع، مساحت، طول خندق ایجادشده و موقعیت) از نرم‌افزار به دست آمد. هم‌زمان با شناسایی توسط نرم‌افزار مربوطه جهت اطمینان از کار انجام‌شده و صحت‌وسقم داده‌های به‌دست‌آمده، در طی چند مرحله اطلاعات تکمیلی با استفاده از بازدید میدانی از واریزه‌ها جمع‌آوری شد. برای این منظور موقعیت واریزه‌ها از نظر میانگین شیب، جهت شیب، میانگین ارتفاع، مختصات جغرافیایی و مساحت توده‌های واریزه‌ای محاسبه شد. در واریزه‌هایی که جریان در آن‌ها مشاهده شد، طول، عمق و پهناي خندق ایجادشده اندازه‌گیری گردید (شکل ۴). قطر واریزه‌ها در نقاط مختلف برای مقایسه اندازه‌گیری شد. مخروط‌ها و شیب‌های واریزه‌ای که وقوع جریان واریزه در آن‌ها مشاهده شد، تفکیک شدند. از ۶۱۲ مورد مخروط و شیب واریزه‌ای شناسایی شده، ۱۹۰ مورد از آن‌ها دارای جریان واریزه‌ای هستند. نقاطی که جریان واریزه سبب ایجاد خطر و خسارت شده‌اند، شناسایی شدند و جهت اطلاع از میزان خسارت، زمان وقوع و نحوه حرکت آن‌ها با افراد محلی مصاحبه شد. با استفاده از DEM ۳۰ متری منطقه نقشه طبقات ارتفاعی، طبقات شیب، جهت شیب، حوضه آبریز واریزه‌ها و طبقات فاصله از خطوط آبراهه‌ها تهیه گردید. نقشه‌های کاربری زمین، زمین‌شناسی، برونزدهای سنگی، طبقات فاصله از گسل و جاده‌ها با استفاده از نقشه‌های پایه تهیه و در محیط نرم‌افزارهای GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس موقعیت هریک از مخروط‌ها و شیب‌های واریزه‌ای در هر نقشه تولیدشده بررسی شد و برای تحلیل در نرم‌افزار SPSS 19 به ارزش صفر و یک درآمدند. مثلاً برای جهت شیب بعد از تهیه نقشه جهت شیب تک‌تک واریزه‌ها بررسی شدند و دامنه شیب آن‌ها مشخص شد. اگر به فرض واریزه‌ای در دامنه جنوب قرار داشت به آن جهت ارزش یک تعلق گرفت و برای بقیه جهت‌ها ارزش صفر درج شد. مدل تحلیلی در این پژوهش رگرسیون لجستیک است و برای خطر وقوع جریان واریزه مدل‌سازی شده است.

این مدل که مدل تحلیلی چند متغیره از گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم‌یافته است، جهت تحلیل حضور یا عدم حضور یک ویژگی یا خروجی بر مبنای ارزش مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مفید است (لی و پرادهان^۱، ۲۰۰۷، ۳۷).

ماتریس داده‌های فراهم‌شده که به ارزش ۰ و ۱ درآمده بود برای تحلیل در محیط نرم‌افزار SPSS 19 فراخوانی شد و مدل رگرسیون لجستیک بر آن‌ها اعمال شد. با شناسایی عوامل و ضرایب مؤثر در ایجاد جریان‌های واریزه‌ای، پهنه‌بندی مناطق خطر ناشی از رسوبات واریزه‌ها در محیط GIS انجام شد. واریزه‌های شناسایی‌شده به ارزش صفر و یک درآمدند. برای ۱۹۰ مورد که در آن‌ها جریان واریزه مشاهده شد، ارزش یک و ۴۲۲ مورد بقیه ارزش صفر تعریف شد (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه پراکندگی مخروط و شیب‌های واریزه‌ای شهرستان پاوه

نتایج و یافته‌ها:

بر اساس نتایج و یافته‌های به‌دست‌آمده پارامترهای مؤثر در وقوع جریان‌های واریزه‌ای و پهنه‌بندی خطر آن‌ها در منطقه پژوهش شامل موارد زیر است:

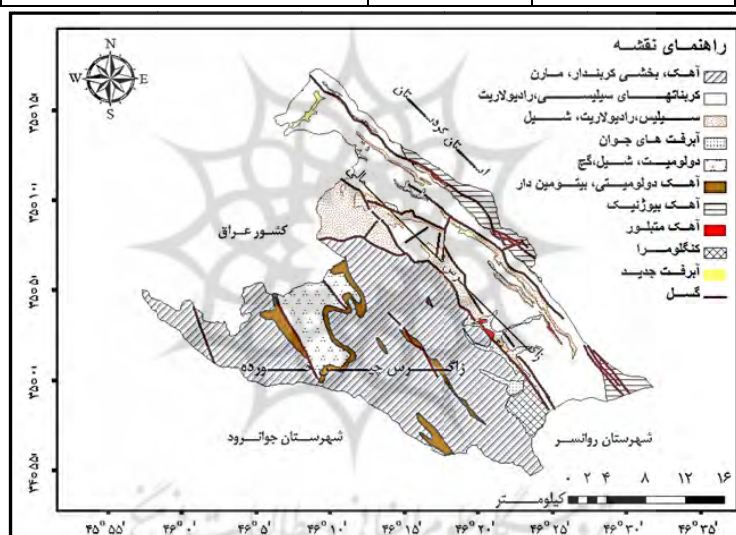
الف) زمین‌شناسی: مطالعات زمین‌شناسی در برنامه‌ریزی‌های نوع استفاده از زمین بسیار حیاتی است. سازه‌های بزرگ باید درجایی بنا شوند که از نظر زمین‌شناسی پایدار باشند و مسائلی از قبیل جنس سنگ‌ها، استحکام سنگ‌ها، وضعیت تکتونیکی، نفوذپذیری سنگ‌ها، امکان ریزش و لغزش و پایداری شیب‌ها باید با دقت موردتوجه قرار گیرند (صداقت، ۱۳۸۱، ۷). جدول ۱ و شکل ۵ مساحت واحدهای زمین‌شناسی به همراه تعداد واریزه‌های موجود در هر یک از واحدها و تراکم نسبی آن‌ها را نشان می‌دهند. بر اساس بیش‌ترین تعداد واریزه‌ها در رسوبات آهکی، مارن و رسوبات کربن‌دار قرار دارند.

ب) ارتفاع: تغییرات ارتفاعی هر منطقه کنترل‌کننده میزان تراکم شبکه زهکشی و جهت رواناب است. این عامل با کنترل رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها، به‌عنوان عاملی مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ۲۷). جدول ۲ وضعیت توپوگرافی و پراکندگی واریزه‌ها را در هر یک از طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد.

¹ -Li and Pradhan

جدول ۱- توزیع فراوانی واریزه‌ها در واحدهای زمین‌شناسی

| واحد | نوع لیتولوژی | مساحت (km ²) | مساحت واریزه‌ها (km ²) | تعداد واریزه | تراکم |
|------------------------|---|--------------------------|------------------------------------|--------------|-------|
| K ₁₋₂ | آهک، مارن | ۳۴۷ | ۶/۳ | ۳۲۴ | ۰/۹۳ |
| MZLr | کربنات‌های سیلیسی، رادیولاریت | ۲۲۲ | ۳ | ۱۶۹ | ۰/۷۲ |
| Mzr | سیلیس، رادیولاریت، شیل | ۶۵ | ۰/۳ | ۴۰ | ۰/۶۱ |
| Qt ₂ | آبرفت‌های جوان | ۲۳ | ۰/۳ | ۱۵ | ۰/۶۵ |
| TR | دولومیت، شیل، گچ | ۴۲ | ۰/۱ | ۳ | ۰/۰۷ |
| J | آهک دولومیتی، کنگلومرا، دولومیت بیتومین دار | ۳۴ | ۰/۳ | ۲۲ | ۰/۶۴ |
| TRb ₂ (MZI) | سنگ‌آهک بیوژنیک توده‌ای | ۳۸ | ۰/۶ | ۳۸ | ۰/۹۹ |
| JK | آهک متبلور | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| Ncg | کنگلومرا | ۱۴ | ۰ | ۰ | ۰ |
| Qal | آبرفت جدید | ۳ | ۰/۰۱ | ۱ | ۰/۳۴ |



شکل ۵- نقشه لیتولوژی شهرستان پاوه

جدول ۲- پراکندگی تعداد واریزه‌ها در طبقات ارتفاعی

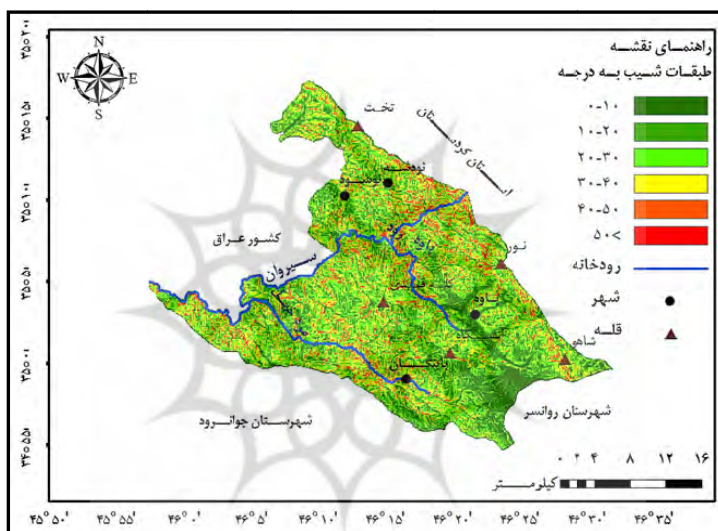
| ارتفاعی طبقه | تعداد واریزه‌ها | مساحت طبقه (km ²) | مساحت واریزه‌ها (km ²) |
|--------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| <۵۰۰ | ۰ | ۳ | ۰ |
| ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۴۴ | ۱۰۲ | ۰/۵۴ |
| ۱۰۰۰-۱۵۰۰ | ۲۳۹ | ۲۲۴ | ۵/۶۴ |
| ۱۵۰۰-۲۰۰۰ | ۲۱۲ | ۳۰۶ | ۳ |
| ۲۰۰۰-۲۵۰۰ | ۱۰۵ | ۱۲۵ | ۱/۶ |
| ۲۵۰۰-۳۰۰۰ | ۱۲ | ۳۴ | ۰/۱۳ |
| > ۳۰۰۰ | ۰ | ۶ | ۰ |
| جمع | ۶۱۲ | ۷۹۹ | ۱۰/۹۱ |

ج) درجه شیب: طول مسیر حرکت واریزه‌ها در ارتباط با میزان شیب و شدت ناهمواری از یک طرف و اندازه و شکل عناصر متحرک از طرف دیگر وابسته است (محمودی، ۱۳۸۲، ۳۶). وجود شیب در دامنه‌ها به‌عنوان اساس حرکات توده‌ای

مطرح می‌باشد. وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر در حرکات توده‌ای را بارزتر می‌نماید. بر این اساس نقشه شیب منطقه و نحوه پراکندگی واریزه‌ها در هر یک از طبقات شیب بررسی شد (جدول ۳ و شکل ۶).

جدول ۳- توزیع فراوانی واریزه‌ها در طبقات شیب

| طبقات شیب (درجه) | تعداد واریزه | میانگین ارتفاع (متر) | مساحت واریزه‌ها km ² | مساحت طبقه km ² |
|------------------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|
| ۰-۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۸۱ |
| ۱۰-۲۰ | ۷۴ | ۱۶۱۷ | ۱/۱ | ۱۸۹ |
| ۲۰-۳۰ | ۱۹۶ | ۱۶۱۱ | ۳/۷ | ۲۵۶ |
| ۳۰-۴۰ | ۲۴۹ | ۱۵۸۸ | ۴/۳ | ۲۰۱ |
| ۴۰-۵۰ | ۸۴ | ۱۴۵۷ | ۱/۴ | ۶۴ |
| >۵۰ | ۹ | ۱۴۴۵ | ۰/۴ | ۸ |



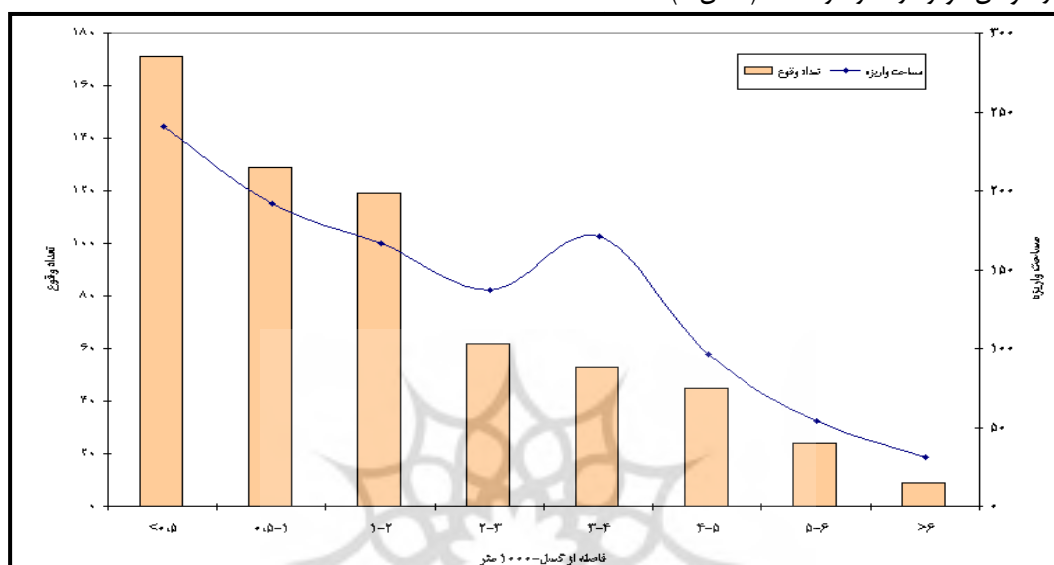
شکل ۶- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری

(د) جهت شیب: جهت شیب دامنه یعنی زاویه‌ای که هر دامنه با شمال می‌سازد، به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر (متغیر مستقل) در ایجاد حرکات توده‌ای است. در حالت کلی دامنه‌های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مؤثرتری در ایجاد حرکات توده‌ای ایفا می‌کنند (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱، ۷۲). جدول ۴ توزیع فراوانی واریزه‌ها در طبقات مختلف جهت شیب و مساحت واریزه‌ها را در هر طبقه نشان می‌دهد.

جدول ۴- توزیع فراوانی واریزه‌ها در طبقات مختلف جهت شیب

| جهت شیب | تعداد واریزه | میانگین ارتفاع (متر) | مساحت واریزه‌ها km ² | مساحت طبقه km ² |
|---------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|
| F | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ |
| N | ۱۱۴ | ۱۴۱۵ | ۳/۱ | ۱۲۱ |
| NE | ۱۲۰ | ۱۴۱۵ | ۲/۵ | ۱۱۳ |
| E | ۶۸ | ۱۴۲۵ | ۱/۱ | ۷۵ |
| SE | ۳۶ | ۱۶۲۳ | ۰/۳ | ۶۰ |
| S | ۶۰ | ۱۸۳۶ | ۰/۸ | ۱۰۵ |
| SW | ۸۲ | ۱۸۰۸ | ۱/۲ | ۱۲۹ |
| W | ۸۴ | ۱۷۷۸ | ۱/۲ | ۱۱۲ |
| NW | ۴۸ | ۱۴۷۹ | ۰/۷ | ۷۹ |

ه) فاصله از گسل‌ها: گسل‌ها از عوامل نگران‌کننده برای شکست و ناپایداری دامنه‌ها به شمار می‌روند. گسل‌ها به‌عنوان یک عامل مهم در تحلیل ناپایداری‌های دامنه‌ای موردتوجه محققان زیادی بوده است و در این بررسی‌ها فاصله از گسل در وقوع حرکات دامنه‌ای تأثیر مثبت داشته است (احمدی و رضایی‌مقدم، ۱۳۸۸، ۱۰۴). از آنجاکه آستانه بارش برای رخ داد جریان واریزه بعد از زلزله به‌شدت کاهش می‌یابد (بن^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، ۸۳۵)، حریم گسل‌ها به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در نظر گرفته شد (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار توزیع فراوانی واریزه‌ها در طبقات مختلف فاصله از گسل

و) فاصله از خطوط آبراهه‌ای: رواناب‌های حاصل از بارش‌های رگباری عامل مهم در جابجایی واریزه‌های نقاط تند شیب بالادست دامنه‌هاست (عابدینی، ۱۳۸۷، ۲۰۰). علاوه بر این بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت، بیشتر از بارش‌های آرام بلندمدت، در جابجایی واریزه‌ها مؤثر است (می و جریس ول^۲، ۲۰۰۴، ۱۴۷). بارندگی‌های پیشین و ذوب برف نیز خاک را اشباع می‌کند، فشار منفذی را افزایش می‌دهد و مقاومت اصطکاکی در سطح گسیختگی را کاهش می‌دهد. جریان‌های سطحی زیاد با قدرت فرسایش بالا موجب شستشوی شدید مصالح نسیست از روی دامنه‌های شیب‌دار، آبراهه‌ها و خندق‌های فرسایشی می‌شوند. این فرایند به تدریج موجب افزایش غلظت رسوبات در جریان شده و جریان واریزه‌ای ایجاد می‌کند (بنی‌حبیب، ۱۳۸۴، ۳). فاصله واریزه‌ها از خطوط آبراهه یا قرار گرفتن در مسیر رواناب‌ها می‌تواند به‌عنوان یک عامل مؤثر در شکل‌گیری جریان‌های واریزه‌ای باشد. پراکندگی و موقعیت واریزه‌ها نسبت به شبکه زهکشی در شهرستان پاوه نشان داده شده است (شکل ۸).

ز) کاربری زمین: کاربری زمین در رابطه با محافظت از شیب و پایداری دامنه اهمیت زیادی دارد. هرچند کاربری‌های متفاوتی را در محدوده مورد مطالعه می‌توان مشاهده نمود، اما در عمل مخروط‌ها و شیب‌های واریزه‌ای مورد مطالعه تنها در محدوده دو نوع کاربری جنگل و مرتع هستند (شکل ۹).

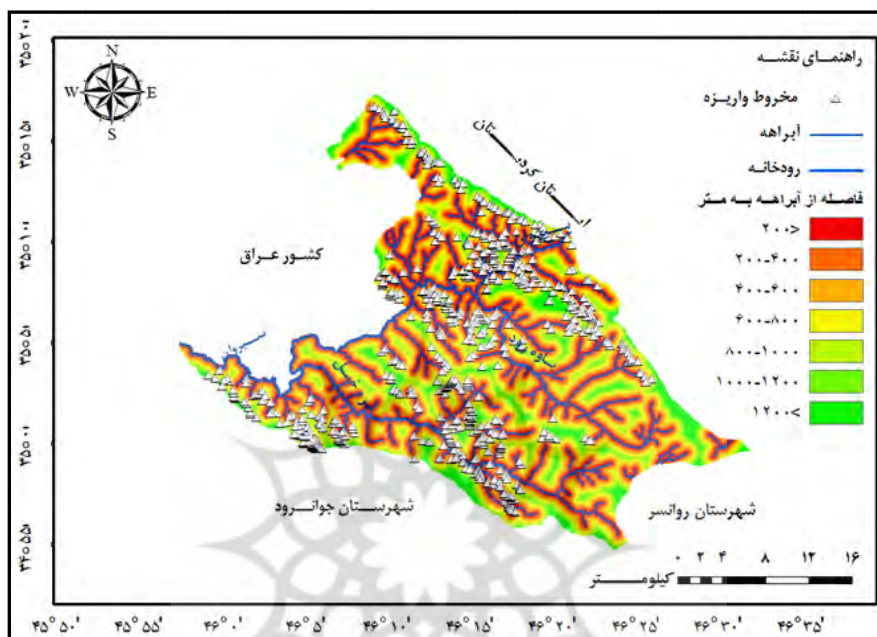
ح) حوزه آبخیز جریان واریزه‌ای: حوزه آبخیز واریزه‌ها شامل قسمتی از سطح زمین محدوده مورد مطالعه است که زهکشی آب‌های سطحی به سمت مخروط و شیب‌های واریزه‌ای است. هرز آب‌های فرسایش شیبی^۳، فرسایش سطحی

¹ -Bin

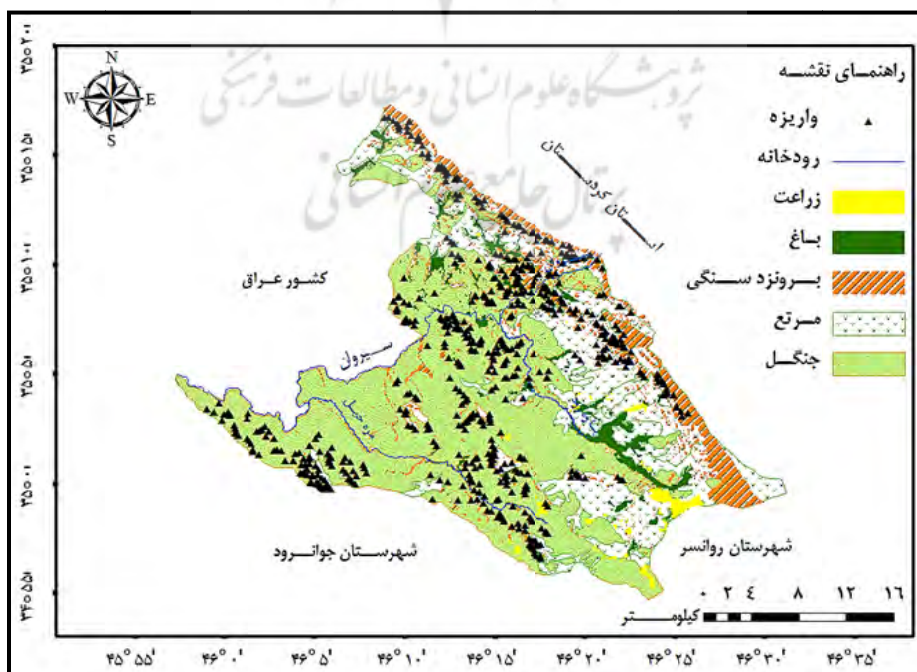
² -May and Gresswell

³ -Rill Wash

و جریان‌های طغیانی طغیان‌هایی هستند که در زمانی کوتاه مستعد جمع‌آوری حجم زیادی از آب می‌باشند (محمودی، ۱۳۸۲، ۸۲). از آنجا که وسعت حوضه به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی آن شناخته می‌شود، تقسیم‌بندی حوضه‌ها در محدوده مورد مطالعه بر اساس آن صورت گرفت. برای همین منظور مساحت حوضه‌ها در فاصله‌های پنج هکتاری تقسیم شد. هشت طبقه به‌دست آمد که وضعیت حوضه‌ها و پراکندگی واریزه‌ها در جدول ۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۸- نقشه پراکندگی و موقعیت واریزه‌ها نسبت به شبکه زهکشی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۹- نقشه کاربری زمین و موقعیت واریزه‌ها در منطقه مورد مطالعه

جدول ۵- طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز و فراوانی واریزه‌ها در هر طبقه

| مساحت حوضه (هکتار) | کمتر از ۵ | ۵-۱۰ | ۱۰-۱۵ | ۱۵-۲۰ | ۲۰-۲۵ | ۲۵-۳۰ | ۳۰-۳۵ | بیشتر از ۳۵ |
|-----------------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| تعداد واریزه | ۳۵۴ | ۱۳۶ | ۴۱ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۲ | ۱۰ | ۳۰ |
| تعداد جریان واریزه | ۶۴ | ۵۹ | ۲۰ | ۹ | ۶ | ۶ | ۷ | ۱۹ |
| مساحت کل طبقه (هکتار) | ۷۲۹ | ۹۹۳ | ۵۱۴ | ۲۵۶ | ۳۱۵ | ۳۴۱ | ۲۹۸ | ۲۵۰۵ |

بحث و نتیجه‌گیری

بین عوامل پیش‌بینی کننده همبستگی زیادی مشاهده نگردید. به عبارت دیگر در محل‌های نمونه‌گیری و محل‌های بدون نمونه همبستگی بین عوامل مشاهده نشد. این در حالی است که محل تجمع واریزه‌های فعلی به آسانی مشخص است، دگرگونی آثار آن در گذشته مورد پرسش بوده، که آیا وقوع جریانات گذشته مخروط واریزه‌ها در شناسایی محل‌های وقوع تأثیر داشته است؟ آیا ریسک چشم‌پوشی از مخروط واریزه‌های خیلی کوچک باعث غیرکامل شدن فهرست شده است؟ با توجه به نقش همگرایی جریان در جابجایی آن‌ها این کار در مدت‌زمان طولانی صورت می‌گیرد. پس شرایط برای مدت زیادی حفظ می‌گردد. به منظور بررسی این سؤالات فهرست نقاط مخروط‌های واریزه‌های فعلی توزیع پواسون داده‌ها اجرا گردید و در ادامه مدل رگرسیون لجستیک نیز اجرا شد و سپس به پهنه‌بندی خطر جریان واریزه پرداخته شد.

توزیع پواسون^۱ داده‌ها

این نوع توزیع در بررسی رخدادهایی که احتمال وقوع خیلی کمی دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد (حسنی‌پاک، ۱۳۸۹، ۱۴). با توجه به کوچک بودن احتمال موفقیت در هر آزمایش، می‌توان گفت که از احتمال توزیع پواسون در مواقعی که احتمال وقوع پیشامد نادر باشد استفاده می‌شود. مثلاً در بررسی تعداد سیلاب‌ها در یک دشت آبرفتی از احتمال توزیع پواسون بهره‌گیری می‌شود (وحیدی‌اصل، ۱۳۸۱، ۱۳۴). باید توجه داشت که اگرچه احتمال وقوع یک رخداد با ماهیت توزیع پواسون بسیار کم است، ولی اگر این‌گونه رخدادهای در مدت طولانی، یا در حجم و فواصل زیاد تکرار شوند، تعدادشان قابل‌شماری و قابل پیش‌بینی خواهد بود (حسنی‌پاک، ۱۳۷۱، ۳۲). با این توصیف احتمال وقوع جریان واریزه در دامنه یک کوهستان همانند احتمال وقوع سیلاب در یک دشت آبرفتی قابل پیش‌بینی است. برای همین در این تحقیق نیز داده‌های جمع‌آوری شده در محدوده مورد مطالعه با روش توزیع پواسون ارزیابی شدند.

متغیر تصادفی X هرگاه توزیع احتمال آن به صورت زیر باشد دارای توزیع پواسون است (وحیدی‌اصل، ۱۳۸۱، ۱۳۵):

$$f(x) = P(X = x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

μ ، میانگین X است.

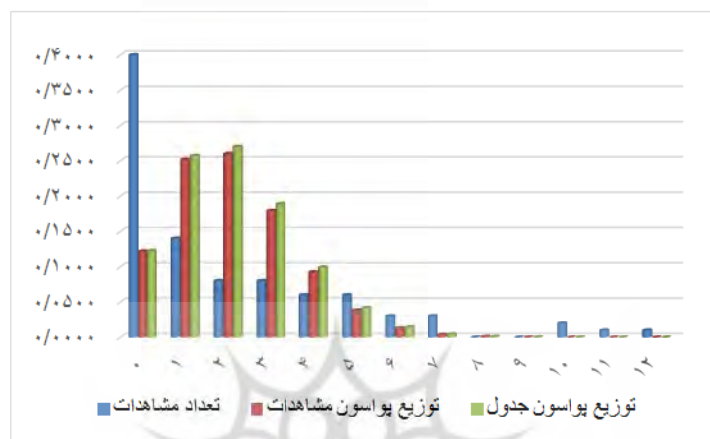
، تقریباً برابر با $e^{2/71827}$

برای بررسی توزیع پواسون داده‌ها در منطقه مساحت کل شهرستان پاره در محیط Arc map به صورت شطرنجی به مربع‌هایی با مساحت مساوی تقسیم شد. میانگین تعداد جریان واریزه برای هر یک از مربع‌ها $2/1$ به دست آمد. احتمال‌های توزیع برای هر یک از مساحت مربع‌ها محاسبه شد و با احتمال‌ها پواسون در جدول‌هایی که به همین منظور تهیه شده‌اند، مقایسه شدند و نمودار مربوطه ترسیم گردید. در نهایت تعداد جریان‌های واریزه‌ای در هر مربع به نمودار احتمال‌های پواسون برازش داده شد (شکل ۱۱). همان‌طور که در شکل نمایان است، از برازش نسبتاً مناسبی برخوردار است.

¹ -Poisson

اجرای مدل رگرسیون لجستیک

در پهنه‌بندی وقوع حرکت واریزه‌ها در این تحقیق از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. این مدل بر اساس داده‌های موجود ضرایب متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی را مشخص می‌نماید. برای شناسایی عوامل مؤثر در وقوع جریان واریزه و تعیین ضرایب آن‌ها، فاکتورهای شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه در نرم‌افزار SPSS 19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. خروجی مدل عوامل مؤثر و ضرایب آن‌ها را مشخص نمود (جدول ۶).



شکل ۱۱- نمودار تعداد جریان‌های واریزه‌ای مشاهده شده در هر یک از مربع‌ها و توزیع پواسون برازش شده با میانگین ۲/۱ جریان واریزه در هر مربع جدول ۶- ضرایب معنی‌داری، آماره والد و شانس وقوع در خروجی مدل رگرسیون لجستیک

| متغیر مستقل | علامت | ضریب متغیر (β) | آماره والد (Wald) | معنی‌داری (sig) | شانس وقوع $Exp(\beta)$ |
|----------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|
| شیب ۱۰ تا ۲۰ درجه | Slope20 | -۰/۵۷۱ | ۳/۸۶۱ | ۰/۰۴۹ | ۰/۵۶۵ |
| جهت جنوب | S | -۰/۸۴۹ | ۶/۸۷۱ | ۰/۰۰۹ | ۰/۴۲۸ |
| شیل، سیلیس | Mzr | ۱/۴۹۸ | ۵/۳۳۷ | ۰/۰۲۱ | ۴/۴۷۱ |
| آهک کربن‌دار، مارن | Zamink ₁ | ۰/۸۰۴ | ۸/۱۴۳ | ۰/۰۰۴ | ۲/۲۳۴ |
| آهک دولومیتی | J | ۳/۰۷۵ | ۷/۸۰۲ | ۰/۰۰۵ | ۲۱/۶۴۲ |
| آهک بیوژنیک | TRb ₂ | -۰/۹۵۹ | ۴/۹۹۶ | ۰/۰۲۵ | ۰/۳۸۳ |
| حریم ۵۰۰ متر گسل | Gosal0.5 | ۰/۷۹۲ | ۸/۷۱۱ | ۰/۰۰۳ | ۲/۲۰۷ |
| حوضه آبریز کمتر از ۵ هکتار | Water5 | ۲/۰۳۹ | ۶۲/۳۴۰ | ۰/۰۰۰ | ۷/۶۸۶ |
| حوضه آبریز ۵ تا ۱۰ هکتار | Water10 | ۰/۷۰۹ | ۶/۸۵۸ | ۰/۰۰۹ | ۲/۰۳۳ |
| جنگل | Jangle | -۱/۳۲۸ | ۲۱/۵۳۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۲۶۵ |

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر جریان واریزه

پس از این که لایه‌های مؤثر در وقوع جریان واریزه توسط مدل مشخص شدند و ضرایب آن‌ها معین گردید. این لایه‌ها در محیط GIS فراخوانی شدند. ضرایب هر یک از لایه‌ها اعمال شد و با قرار دادن لایه‌ها و ضرایب به صورت زیر در رابطه ۱ که اصطلاحاً معادله رگرسیون لجستیک نامیده می‌شود، نقشه پهنه‌بندی خطر جریان واریزه ترسیم گردید (شکل ۱۲).

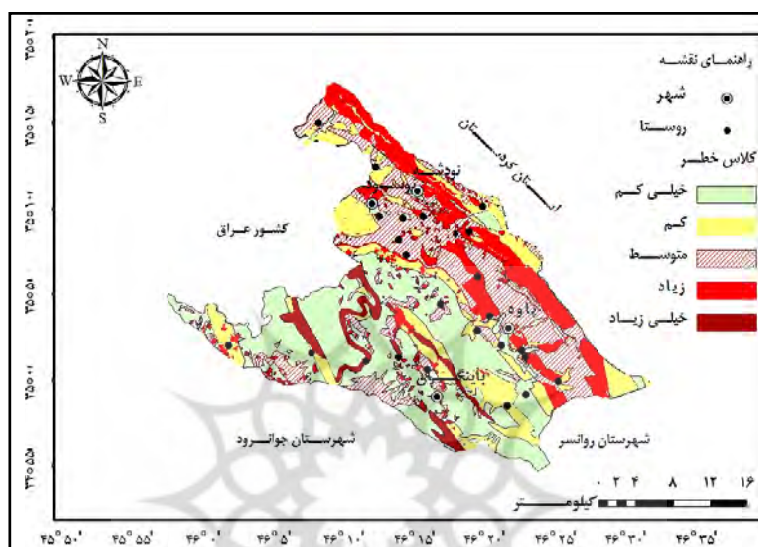
$$\text{Logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (\text{رابطه ۱})$$

β_0 : ضریب ثابت

β_1 تا β_n : ضرایب متغیرهای مستقل مؤثر در مدل رگرسیون لجستیک

X_1 تا X_n : متغیرهای مستقل مؤثر در مدل رگرسیون لجستیک

$$\text{Logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -5.127 - 0.849(S) + 0.804(\text{Zamink1}) + 1.498(\text{Mzr}) - 0.571(\text{Slope20}) + 3.075(J) - 0.959(\text{TRb}_2) + 0.792(\text{Gosal0.5}) + 2.039(\text{Water5}) + 0.709(\text{Water10}) - 1.328(\text{Jangle})$$



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی خطر جریان واریزه در شهرستان پاوه

نقشه پهنه‌بندی خروجی از مدل در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (جدول ۷). یکی از اهداف رگرسیون لجستیک تشخیص متغیرهای مستقلی است که بر متغیر وابسته اثر می‌گذارند. بر اساس خروجی مدل رگرسیون لجستیک متغیرهایی که سطح معنی‌داری آن‌ها بیش از ۰/۱ بود حذف شدند و متغیرهای مؤثر بر وقوع جریان واریزه در محدوده مورد مطالعه نیز به دودسته تقسیم شدند:

دسته اول: متغیرهایی با ضریب مثبت و نسبت بخت ($\text{Exp}(B)$) بزرگ‌تر از یک، شامل: حوضه‌های آبریز کمتر از ۱۰ هکتار، فاصله کمتر از ۵۰۰ متر از گسل و لیتولوژی از نوع آهک، دولومیت، کنگلومرا، شیل، مارن و رادیولاریت. این متغیرهای مستقل با ضریب مثبت خود گویای این واقعیت هستند که افزایش مساحت آن‌ها در منطقه مورد مطالعه سبب افزایش وقوع جریان واریزه می‌شود.

جدول ۷- کلاس‌بندی احتمال وقوع جریان واریزه

| کلاس خطر | فراوانی واریزه‌ها | فراوانی جریان‌های واریزه | مساحت Km^2 | درصد مساحت | میانگین احتمال خطر |
|-----------|-------------------|--------------------------|---------------------|------------|--------------------|
| خیلی کم | ۲۸ | ۱۵ | ۲۸۴ | ۳۵/۵۴ | ۰/۰۵ |
| کم | ۵۶ | ۲۵ | ۱۵۴ | ۱۹/۲۸ | ۰/۲۸ |
| متوسط | ۷۲ | ۴۱ | ۱۹۷ | ۲۴/۶۶ | ۰/۵۱ |
| زیاد | ۲۶۴ | ۷۲ | ۱۲۱ | ۱۵/۱۴ | ۰/۷۴ |
| خیلی زیاد | ۱۹۲ | ۳۷ | ۴۳ | ۵/۳۸ | ۰/۹۶ |
| جمع | ۶۱۲ | ۱۹۰ | ۷۹۹ | ۱۰۰ | - |

در خصوص حوضه‌های آبریز قاعده کلی آن است که با افزایش وسعت حوضه حجم آب‌های روان افزایش یابد و در پی آن احتمال جابجایی رسوبات افزایش پیدا می‌کند. از بررسی‌های میدانی در خصوص نقض این قاعده نتایج زیر به دست آمد:

۱- حوضه‌های آبریز بزرگ‌تر از ۱۰ هکتار به‌طور میانگین از شیب کمتری نسبت به حوضه‌های آبریز کوچک‌تر برخوردارند، بنابراین آب سرعت و نیروی لازم برای وقوع جریان واریزه را ندارد و آب فرصت بیشتری برای نفوذ در زمین دارد.

۲- حوضه‌های آبریز کوچک اکثراً بر سطح برونزدهای سنگی به وجود آمده‌اند که تقریباً تمام بارندگی به رواناب تبدیل می‌شود.

۳- درصد پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز کوچک‌تر کم و ناچیز است.

دسته دوم: متغیرهایی با ضریب منفی و نسبت بخت (Exp(B)) کوچک‌تر از یک، شامل: شیب‌های کمتر از ۲۰ درصد، جهت جنوب، پوشش جنگلی و لیتولوژی از نوع گچ و آهک دولومیتی. یعنی با افزایش مقادیر مساحت متغیر مستقل احتمال وقوع جریان واریزه کاهش می‌یابد. در تفسیر این ضرایب منفی چنین به نظر می‌رسد که جهت جنوب به سبب تعداد کم واریزه‌ها در مساحتی بیش از ۱۰۵ کیلومترمربع و آفتاب‌گیر بودن امکان رخداد جریان واریزه در این جهت کم است. در خصوص نوع لیتولوژی نیز بررسی‌ها نشان داد که در این قسمت به دلیل ارتفاع کم منطقه، فاصله طبقات شیب کم است. سطح اتکای واریزه‌های تشکیل شده در این نوع لیتولوژی به دامنه‌های کم شیب کمتر از ۲۰ درصد متصل است که عملاً امکان وقوع جریان واریزه در این شیب به ندرت اتفاق می‌افتد. افزایش پوشش جنگلی و کاهش شیب نیز در کاهش وقوع جریان واریزه مؤثر هستند که منطقی به نظر می‌رسد.

درصد صحت پیش‌بینی مدل با استفاده از جدول طبقه‌بندی در مرحله دهم برای کل منطقه تقریباً برابر با ۷۴/۷ درصد پیش‌بینی شد. میزان سطح زیر منحنی ROC برای هریک از لایه‌ها نشان می‌دهد که مدل با میانگین ۰/۵۳ از سطح زیر منحنی توانایی نسبتاً خوب و قابل قبولی در پیش‌بینی وقوع جریان‌های واریزه در محدوده مورد مطالعه دارد. ارزیابی صحت نقشه پهنه‌بندی خطر جریان واریزه در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش همپوشانی نقاط وقوع جریان واریزه با نقشه پهنه‌بندی خطر و همچنین روش تصادفی انتخاب واریزه‌ها در هر طبقه نشان داد که نقشه پهنه‌بندی خطر با احتمال زیاد به واقعیت نزدیک است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در وقوع جریان‌های واریزه و جابجایی واریزه‌ها در منطقه مورد مطالعه عوامل زیر به ترتیب از اهمیت بیشتری برخوردار هستند؛ ۱- زمین‌شناسی: آهک‌های منطقه به‌شدت تکتونیزه بوده و واریزه‌های فراوانی را در دامنه‌ها و دره‌ها انباشته نموده‌اند و در هر جا که شرایط فراهم شده جریان واریزه رخ داده است. ۲- حوضه‌های آبریز کوچک‌تر از ۱۰ هکتار. ۳- قرار گرفتن در حریم گسل بافاصله کمتر از ۵۰۰ متر. ۴- کاربری زمین: کاربری زمین در اینجا به‌صورت جنگل، مرتع، مزارع و زمین‌های کشاورزی تعریف شده که در میان آن‌ها پوشش جنگلی به‌عنوان مؤثرترین عامل در پیش‌بینی و جلوگیری از وقوع جریان واریزه توسط مدل شناخته شد.

منابع

• احمدی، محمد و محمدحسین رضایی مقدم، ۱۳۸۸، ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS، مثال موردی: دامنه‌های حوضه مرک، کرمانشاه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۴ شماره ۹۵، صص ۱۰۸-۸۵

- اسفندیاری درآباد، فریبا و سید اقبال هاشمی، ۱۳۹۱، **پهنه‌بندی ریزش در مسیر ارتباطی پاوه - نودشه با استفاده از روش AHP و Expert Choice در محیط GIS**، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال اول، شماره ۲، صص ۱۵۸-۱۴۵.
- بنی حبیب، محمدابراهیم، ۱۳۸۴، **بررسی شرایط مناسب رخداد سیلاب‌های واریزه‌ای در کشور**، دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی وزارت نیرو، ۱۰ صفحه.
- بنی حبیب، محمدابراهیم و مهران ایران پور، ۱۳۸۶، **بررسی آزمایشگاهی ضربه‌های دانه‌های رسوب بر حوضچه آرامش سدها**، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز، ۹ صفحه.
- بیاتی خطیبی، مریم، ۱۳۸۶، **تحلیل و بررسی نقش عوامل توپوگرافی و دینامیک رودخانه‌ای، بر اندازه مخروط‌های واریزه‌ای مطالعه موردی: دامنه‌های شمال غربی سیلان (شمال غرب ایران)**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۷۵-۱۵۷.
- حسنی‌پاک، علی‌اصغر، ۱۳۸۹، **زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)**، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- حسنی‌پاک، علی‌اصغر، ۱۳۷۱، **نمونه‌برداری معدنی**، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- حسین زاده، محمد مهدی، محمدرضا ثروتی، عادل منصوری، بابک میرباقری و سعید خضری، ۱۳۸۸، **پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک**، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، دوره ۳، شماره ۱۱، صص ۳۷-۲۷.
- خالدی، شهریار، خهبات درفشی، اکبر مهرجو نژاد، سعیده قره‌چاهی و شاهین خالدی، ۱۳۹۱، **ارزیابی عامل‌های مؤثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS** (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، صص ۸۲-۶۵.
- صداقت، محمود، ۱۳۸۱، **زمین‌شناسی برای جغرافیا**، چاپ پنجم، انتشارات پیام نور.
- عابدینی، موسی، ۱۳۸۷، **بررسی نقش عوامل مؤثر در پیدایش و تکوین جریان‌های واریزه‌ای ارتفاعات شمال غرب آذربایجان (جنوب غرب هادی شهر و دره دیز)**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴، صص ۲۱۲-۱۹۳.
- محمودی، فرج‌الله، ۱۳۸۲، **ژئومورفولوژی دینامیک**، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- وحیدی‌اصل، محمدقاسم، ۱۳۸۱، **آمار و احتمال در جغرافیا (۱)**، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- یمانی، مجتبی، هیوا شیرزادی و کاوه باخویشی، ۱۳۹۰، **ژئومورفولوژی جاده جدید سنندج - مریوان و پهنه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای**، فصلنامه جغرافیا و آمایش سرزمین، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۲۲-۱۰۴.
- Baroni, C., Bruchhi, G. and Ribolini, A., 2000, **Human-induced hazardous debris flows in Carrara marble basins (Tuscany, Italy)**, Earth Surface Processes and Landforms, January, Vol. 25, No.1, pp. 93-103.
- Bin, Y., Yu, M. and Yufu, W., 2013, **Case study of a giant debris flow in the Wenjia Gully, Sichuan Province, China**, Nat Hazards. Vol. 65, pp. 835-849.
- Chen, J. C. and Chang, M. R., 2014, **Discharge of landslide-induced debris flows: case studies of Typhoon Morakot in southern Taiwan**, Nat Hazards Earth Syst Retrieved, July 14.2014. from <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net>(Accessed 28 Septamber 2014).
- Keiler, M., Totschnig, R. and Glade, T., 2012, **Improvement of vulnerability curves using data from extreme events : debris flow event in South Tyrol**, Vol. 64, No. 3, pp. 2083-2105.
- Lee, S. and Pradhan, B., 2007, **Landslide Hazard Mapping at Selangor Malaysia using Frequency Ratio and Logistic Regression models**, Landslide. 4: 33-41.
- Mallet, J. P., O. Locate, M. J. and Rema, A., 2004, **assessing debris flow hazards associated with slow moving landslides: methodology and numerical analyses landslides**, springer-verlag. Vol. 1, No. 1, pp. 83-90.
- May, C. L. and Gresswell, R. E., 2004, **Spatial and temporal patterns of debris-flow deposition in the Oregon Coast Range, USA**, Geomorphology, Vol. 57, pp. 135-149.
- Smith, K. and Petley, D. N., 2009, **ENVIRONMENTAL HAZARDS**, Routledge, New York.
- Santi, P., Hewitt, K., VanDine, D. and Barillas Cruz, E., 2010, **Debris-flow impact, vulnerability, and response**, Natural Hazards, Vol. 56, No. 1, pp. 371-402.