

اولویت‌بندی عوامل موثر برگسترش واریزه‌ها و تهیه نقشه حساسیت آن با استفاده از مدل‌های تراکم سطح و DSI (مطالعه موردی: دره هراز، پلور- بایجان)

علی اکبر غلامپور آهنگر^۱، عیسی جوکار سرهنگی^۲

۱- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه مازندران، ایران
۲- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه مازندران، ایران (نویسنده مسوول: e.jokar@umz.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: واریزه‌ها یکی از پدیده‌های مهم حرکت‌های دامنه‌ای در مناطق کوهستانی هستند. مطالعه این فرآیند با تکیه بر دو الگوی فرصت و تهدید، اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو، پژوهش حاضر سعی دارد حساسیت وقوع جریان‌های واریزه‌ای دره هراز در محدوده پلور تا بایجان را واکاوی کرده و با ارائه شاخصی مناسب جهت اولویت‌بندی عوامل موثر در تشکیل و گسترش واریزه‌ها، به تهیه بندی دقیق‌تر آن دست یابد.

مواد و روش‌ها: در این راستا، با استفاده از نقشه زمین‌شناسی دماوند، با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر گوگل ارث موقعیت واریزه‌ها در منطقه شناسایی و نقشه پراکنش آن پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط به وسیله دستگاه GPS تهیه و محیط GIS منتقل شد. نقشه‌های عوامل مستقل و تاثیرگذار برگسترش واریزه‌ها شامل لیتولوژی و فاصله از گسل از نقشه زمین‌شناسی دماوند و ارتفاع، شیب و جهت دامنه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ASTER تهیه شد. نقشه پوشش گیاهی و کاربری زمین از نقشه پوشش سراسری ایران با پردازش تصاویر Sentinel در پلتفرم Google Earth Engine Cloud تهیه گردید. در مرحله بعد، نقشه پراکنش واریزه‌ها با هریک از نقشه‌های عوامل موثر قطع داده شد و وزن هر طبقه از متغیرها بر اساس مدل تراکم سطح بدست آمد و نقشه پهنه‌بندی حساسیت گسترش واریزه‌ها در پنج طبقه تهیه گردید. همچنین برای اولویت‌بندی عوامل موثر و تهیه نقشه دقیق‌تر، از میانگین وزن موثر شاخص حساسیت واریزه‌ها (DSI) استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج تحلیل مدل تراکم سطح نشان داد که واحد سنگی ملافیر، ارتفاع ۲۷۰۰-۲۴۰۰ متر، شیب ۲۰-۱۰ درجه، دامنه‌های شمال غرب، فاصله تا ۵۰۰ متری از خط گسل و زمین‌های مرتع بیشترین میزان حساسیت واریزه‌ها را دارند. بر اساس مدل شاخص حساسیت واریزه (DSI)، کاربری زمین، جنس سنگ و شیب به ترتیب با میانگین وزن موثر ۰/۳۱، ۰/۲۰ و ۰/۱۸ بالاترین اولویت را داشته و عامل‌های اصلی کنترل‌کننده گسترش واریزه‌ها در منطقه هستند. عامل‌های شیب، ارتفاع، جهت دامنه و فاصله از گسل به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

نتیجه‌گیری: ارزیابی دقت مدل‌ها با استفاده از رابطه احتمال تجربی (P) نشان داد که مدل‌های تراکم سطح و DSI به ترتیب با احتمال ۰/۷۹ و ۰/۸۰ برای پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها در منطقه مناسب هستند. طبقات حساسیت زیاد تا خیلی زیاد گسترش واریزه حدود ۲۶ درصد از سطح منطقه را پوشش داده که از یک منظر توان محیطی به حساب می‌آید، به طوری که با تشکیل ذخیره حجمی به عنوان یک کانسار رسوبی جهت مصرف در سازه‌های مهندسی قابل بهره‌برداری هستند و از منظر دیگر خطر بالقوه در زمینه‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و سازه‌های هیدرولیک محسوب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تراکم سطح، جریان‌های واریزه‌ای، شاخص حساسیت واریزه، هراز

مقدمه

که رسوبات و واریزه‌ها از شیب تند بالادست به دامنه‌های پایین‌تر و نواحی پست انتقال می‌یابند؛ تشکیل می‌شوند (Gomez et al., 2023).

طبق نتایج اغلب پژوهش‌ها، مهم‌ترین عوامل موثر در تولید و حرکت واریزه‌ها شامل ارتفاع، شیب، جنس سنگ و بارش هستند (Harris et al., 1993). واریزه‌ها بر اساس مواد تشکیل‌دهنده و اندازه ذرات به فرم ماسه‌ای، خاکی، تخته سنگی و قله سنگی هستند؛ اما واریزه‌های لایه لایه، روانه قطعه سنگ‌ها و ثقلی در ایجاد جریان واریزه‌ای مهم‌تر هستند. وقوع و اهمیت جریان‌های واریزه‌ای در هر ناحیه به شرایط زمین‌ساختی، اقلیمی، لیتولوژیکی و فعالیت‌های انسانی بستگی دارد و برای کارهای صنعتی، کشاورزی و ارتباطی تنگناهایی را ایجاد می‌کنند (Boelhouwers et al., 2000). از منظر دیگر، مخروط‌های واریزه و دامنه‌های تالوس، ذخایر رسوبی ارزشمندی از قطعات سنگی هستند که در پای شیب‌های سنگی برهنه و شیب دار تشکیل می‌شوند (Curry, 2023).

جریان‌های واریزه‌ای از شکل‌های مهم ژئومورفولوژی هستند که در دینامیک رودخانه‌ها و شکل‌دهی دره‌های مناطق کوهستانی نقش دارند. پیدایش جریان‌های واریزه‌ای و شکل‌گیری واریزه‌ها، متاثر از عوامل مختلف طبیعی ناحیه و

یکی از مهم‌ترین حرکت‌های توده‌ای، جریان واریزه‌ای است که به شکل لغزش‌های سریع در حال حرکت در محیط‌های مختلف دنیا رخ میدهد و بالای طبیعی بسیار خطرناکی در مناطق کوهستانی است (Baiz Sharif et al., 2023). به حرکت و جابجایی توده‌ای از خاک و خرده سنگ‌های نامنظم و زاویه‌دار در اثر نیروی جاذبه بر روی دامنه‌ها، جریان واریزه‌ای می‌گویند (Boelhouwers et al., 2000). واژه واریزه برای بعضی از حرکات تند قطعات سنگی تخریبی و هر نوع از تکه سنگ‌های گوشه‌دار روی دامنه‌ها، به کار گرفته می‌شود (Liu and Lei, 2003). زمانی که تخریب فیزیکی در سطح تند دامنه فعال شود، باعث می‌شود قطعات کنده شده به سمت پایین دامنه انتقال یابند تا جایی که درجه شیب دامنه کم شود و مواد تجمع یابند (Ahmadi, 2012). سطوح واریزه‌ای محصول تجمع سنگ‌های منفصل و تخریب شده بر روی دامنه‌ها و آبراهه‌ها است. ترکیب واریزه‌ها را تکه سنگ‌های بزرگ و مواد کوهرفتی دانه ریز تشکیل می‌دهند. این مواد را می‌توان آثاری از کنش سنگ‌ها در برابر تغییرات رطوبت و دما دانست (Ahmadi, 2018). مخروط‌های واریزه‌ای تنها مخصوص آتشفشان‌ها نیستند و در هر محیطی

دخالت‌های انسانی می‌باشد (Bayati, 2007). وقوع ناپایداری دامنه‌ها در ایران به ساختمان زمین شناسی، سنگ شناسی، زمین ریخت شناسی و تغییرات آب و هوایی ارتباط دارد و مناطق کوهستانی به تناوب خسارات اقتصادی و انسانی گسترده بر جای می‌گذارد. در نواحی کوهستانی، یکی از حرکت‌های دامنه‌ای تند و فوق‌العاده خطرناک، مخروط‌های واریزه‌ای هستند (Madadi et al., 2017). این شکل مهم از حرکت‌های دامنه‌ای باعث حمل و نقل مواد می‌شوند (Lorestani and Yousefi Roshan, 2018) و در افزایش حجم رسوب و شکل‌زایی آبراه‌ها اثر دارند (Ildermi, 2012). همچنین در اندازه و میزان حمل و نقل واریزه‌ها و ابعاد مخروط‌های واریزه‌ای عوامل محلی نقش تعیین کننده دارند. لذا برای ارزیابی میزان تاثیر عوامل محلی، این پدیده‌ها باید در مکان ویژه خود مطالعه شوند (Bayati, 2007).

مطالعات در زمینه جریان‌های واریزه‌ای در مقایسه با سایر اشکال دامنه‌ای، کمتر است. از جمله پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج کشور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. خضری و همکاران پژوهشی در منطقه کوهستانی پاوه بر مبنای تحلیل و پهنه‌بندی خطر جریان‌های واریزه‌ای و مخروط‌های آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و آنالیز داده‌ها در نرم افزار spss 19 انجام دادند. آنان بر اساس وزن هر کدام از عامل‌های موثر، نقشه پهنه‌بندی خطر جریان‌های واریزه‌ای منطقه را در پنج طبقه تهیه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داده است که این منطقه در معرض خطر جریان‌های واریزه‌ای قرار دارد و به علت حساسیت و ناپایداری دامنه‌های این منطقه، لازم است مطالعات دقیقی از نظر مکان‌یابی برای اجرای پروژه‌های عمرانی و کشاورزی صورت گیرد (Khezri et al., 2015). در پژوهشی دیگر، عابدینی به بررسی نقش عوامل موثر در پیدایش جریان‌های واریزه‌ای ارتفاعات شمال غرب آذربایجان پرداخت. عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی در سازندهای مختلف با ایجاد تراکم گسلی بالا همراه با اثرات نوزمین ساخت و حاکمیت سیستم فرسایش پریگلاسیر، به ویژه در ارتفاعات ۱۷۰۰ متری به بالا باعث شده تا با تخریب فیزیکی سنگ‌ها و پسروری پرتگاه‌ها، جریان‌های واریزه‌ای مجزا و ممتد بسیار تیبیک در سطح وسیعی در منطقه شکل بگیرند، به طوری که فعالیت‌های انسانی در اغلب نقاط در تحریک و جابجایی آن‌ها نقش داشته است. در این پژوهش، بعد از مورفومتری واریزه‌ها جهت تحلیل روابط همبستگی بین ابعاد مختلف آن‌ها از رگرسیون خطی استفاده شد و عوامل شیب، لیتولوژی، نوع زمین ساخت به همراه عامل ارتفاع از جمله مهم‌ترین پارامترهای تاثیر گذار در پیدایش جریان‌های واریزه‌ای در منطقه مورد مطالعه ذکر شده است (Abedini, 2004). برومند و بهنیاافر ناپایداری دامنه‌ها و خطر جریان‌های واریزه‌ای را در حوضه آبریز زشک واقع در پهنه زمین شناسی بینالود، با دخالت دادن شش متغیر از طریق جدول تجربی آنیلانگان بررسی کردند. با توجه به نتایج، این حوضه مطالعاتی در سه سطح خطر کم، متوسط و خطر زیاد طبقه‌بندی شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که بخش‌های جنوبی حوضه به علت ارتفاع و شیب زیاد از ناپایداری بیشتری برخوردار است. بررسی‌های مستقیم و میدانی، اثرگذاری عوامل مختلف مانند

اقلیم، توپوگرافی، لیتولوژی، هیدرولوژیکی و آنتروپوژنیک را برای ایجاد حرکات دامنه‌ای و تولید واریزه‌ها تایید می‌نماید (Boromand and Behniafar, 2015). کرم و همکاران نیز برای شناسایی مناطق آسیب پذیر و کاهش اثرات حوادث طبیعی، پژوهشی در مورد حرکات واریزه‌ای در حوضه آبریز تنگراه واقع در استان گلستان انجام دادند. آن‌ها با در نظر گرفتن ۱۱ پارامتر موثر بر ناپایداری دامنه‌ها و با استفاده از مدل الگوریتم جنگل تصادفی، به این نتیجه دست یافتند که فاکتورهای شیب، ارتفاع و فاصله از جاده اهمیت بیشتری در وقوع زمین لغزش‌ها و جریان‌های واریزه در منطقه داشته است. همچنین آن‌ها بر اساس اولویت تاثیر فاکتورها بر حرکات واریزه‌ای، نقشه پهنه‌بندی را تهیه نمودند و میزان ناپایداری منطقه را در پنج کلاس قرار دادند (Karam et al., 2021).

پاسوتو و سولداتی در مورد آسیب‌ها و مدیریت جریان‌های واریزه‌ای بر روی سنگ‌های دولومیتی ایتالیا پژوهشی انجام دادند. در این پژوهش، پهنه‌بندی خطر جریان‌های واریزه‌ای بر اساس عوامل تاریخی، زمین شناسی ساختاری، زمین ریخت-شناسی، خاک شناسی، هواشناسی و جنگل‌داری با هدف مدیریت و کاهش خطر انجام گرفت. نتیجه این پژوهش نشان داد که شیب عامل مهم و تاثیرگذار در شکل‌گیری جریان‌های واریزه‌ای در منطقه است (Pasuto and Soldati, 2004). یو و همکاران بررسی‌هایی در مورد جریان‌های وسیع واریزه در مسیر رودخانه ونجیا واقع در استان سیچوان کشور چین داشتند. نتایج این مطالعات نشان داد که دو عامل سیلاب و زمین لرزه در تشکیل جریان واریزه‌ای در آن محیط سهم بسزایی داشتند (Yu et al., 2013). داوولینگ و ساتی طی پژوهشی با عنوان جریان‌های واریزه و تلفات آن بر زندگی انسان، به تجزیه و تحلیل جهانی تلفات ناشی از جریان واریزه از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۱ پرداختند. آن‌ها بر اساس ویژگی‌های مکانی، زمانی و فیزیکی وقوع جریان‌های واریزه و با در نظر گرفتن شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی متعدد به این نتیجه رسیدند که آمار تلفات ناشی از جریان واریزه در کشورهای در حال توسعه نسبت به کشورهای پیشرفته در سطح بالاتری قرار دارد. همچنین این پژوهش نشان داد که شایع‌ترین محرک برای رویداد جریان واریزه مرگبار، بارندگی‌های شدید می‌باشد. اما محرک‌های غیر معمول و فاجعه‌بارتر مانند زلزله و ترکیدن حفاظ‌های رانش زمین، منجر به ایجاد جریان واریزه با بیشترین تلفات می‌شوند (Dowling and Santi, 2014). زو و همکاران خطر منطقه‌ای جریان واریزه در حوضه رودخانه لانگچی چین را ارزیابی کردند. در این پژوهش برای ارزیابی خطر جریان واریزه، چندین عامل موثر از جمله توپوگرافی، لیتولوژی، ارتفاع، شیب، گسل و بارندگی در نظر گرفته شد. آن‌ها برای تجزیه و تحلیل روابط بین محیط‌های طبیعی، عوامل و عناصر در معرض خطر، مدل کمی سازی HRU را پیشنهاد کردند. نتایج ارزیابی مدل، پشتیبانی علمی برای برنامه‌ریزی جلوگیری یا کاهش خطرات جریان واریزه را فراهم کرد. همچنین این پژوهش نشان داد که مدل HRU می‌تواند به اندازه کافی ویژگی‌های جامع ژئومورفولوژی و شرایط ایجاد خطر مربوط به جریان واریزه را توصیف کند (Zou et al., 2019). والتر و همکاران نیز بر روی

تولید واریزه‌ها زیاد بوده و با گذشت زمان، افزایش می‌یابد (شکل ۱). همچنین این منطقه که جاده و دره هراز را به عنوان دو چشم‌انداز جغرافیایی در امتداد هم دارد، به علت برخورداری از دامنه‌های طولیل و پر شیب، بارش زیاد به ویژه برف، اختلاف دمای شدید و سنگ‌های تخریبی، مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای و جریان‌های واریزه‌ای است (شکل ۲). از این رو، پژوهش حاضر در راستای مدیریت منابع و مخاطرات محیطی و با هدف اولویت‌بندی عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها و همچنین پهنه‌بندی جریان‌های واریزه‌ای با استفاده از مدل‌های تراکم سطح و شاخص حساسیت واریزه‌ها (DSI^۱) انجام شده است.



شکل ۱- جریان‌های واریزه‌ای بر روی گدازه تراکی آندزیتی دماوند- حوالی اسک (عکس از نگارندگان)
Figure 1. Debris flows on thracian andesitic lava of Damavand-Ask (photo by the authors)



شکل ۲- جریان‌های واریزه‌ای بر روی سازند شمشک- حوالی گزنک (عکس از نگارندگان)
Figure 2. Debris flows on Shemshak formation- Gazanag (photo by the authors)

پلور و بایجان در بخش لاریجان آمل واقع است. طول تقریبی محدوده مورد مطالعه در مسیر جاده هراز، ۳۵ کیلومتر و مساحت آن ۲۰۴۱۰ هکتار می‌باشد. در این منطقه حداقل ارتفاع ۱۱۳۴ متر، حداکثر ۳۲۸۲ متر و میانگین ارتفاع ۲۱۷۲ متر است. شرایط اقلیمی چیره بر منطقه، معتدل کوهستانی است، اما در ارتفاعات بالاتر از اقلیم سرد کوهستانی برخوردار است.

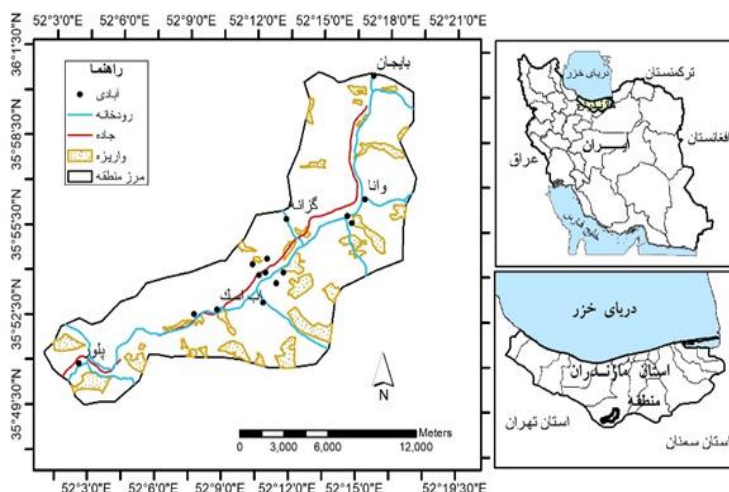
ریزش خرده سنگ‌های محصول جریان‌های واریزه‌ای در یکی از نواحی کوهستانی کشور سوئیس مطالعاتی داشتند. یافته‌های پژوهش نشان داد که یخ دائمی در ناپایداری شیب اثر دارد و حرکت سریع رسوبات مرطوب تحت تاثیر فشار دینامیکی باعث ایجاد جریان‌های واریزه‌ای بزرگ می‌گردد (Walter et al., 2020).

منطقه مورد مطالعه که در ارتفاعات البرز مرکزی قرار دارد، به دلیل عملکرد فرآیندهای تکتونیک و فعالیت‌های آتشفشانی دماوند، ساختار زمین ریخت شناسی پیچیده‌ای دارد و از طرفی با حاکمیت شرایط خشن اقلیمی و تداوم فرآیند هوازدگی، سطح

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ} 49' 20''$ تا $35^{\circ} 59' 48''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 01' 25''$ تا $52^{\circ} 18' 40''$ طول شرقی واقع شده است (شکل ۳). این منطقه که در جهت جنوب و شرق قله دماوند در استان مازندران قرار دارد، قسمتی از حوضه آبریز هراز را شامل می‌شود که بین دو آبادی



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش
Figure 3. Geographical location of the research area

برای اولویت‌بندی عوامل موثر بر گسترش جریان‌های واریزه‌ای و تهیه نقشه دقیق‌تر از پهنه‌بندی در منطقه از میانگین وزن موثر شاخص حساسیت واریزه‌ها (DSI) و رابطه اصلاح‌شده ۳ استفاده شده است (Kazakis et al., 2015).

$$W_e = \frac{P_a}{V_t} * 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، W_e = وزن موثر هر شاخص، P_a = وزن تراکم سطح هر شاخص و V_t = مقدار تجمیع کل شاخص‌ها می‌باشد. از مجموع وزن‌های حاصل از تراکم سطح هر شاخص با یکدیگر، نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه با مدل تراکم سطح تهیه شد و از این طریق، وزن تجمیع کل شاخص‌ها نیز به دست آمد. سپس وزن تراکم سطح هر نقشه از شاخص بر وزن تجمیع کل تقسیم شد و وزن میانگین موثر حساسیت واریزه‌ها برای هر شاخص تعیین گردید. در نهایت با توجه به وزن میانگین موثر، شش عامل اثرگذار بر جریان‌های واریزه‌ای در منطقه، اولویت‌بندی شدند. با جمع مقادیر وزنی حاصل از لایه‌ها مطابق با رابطه ۴، نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه با مدل DSI نیز تهیه شد.

رابطه (۴)

$$DSI = W_{Li} \times P_{Li} + W_{EI} \times P_{EI} + W_{SI} \times P_{SI} + W_{Dd} \times P_{Dd} + W_{Df} \times P_{Df} + W_{Lu} \times P_{Lu}$$

که در آن Li = لیتولوژی، Ei = ارتفاع، Si = شیب، Dd = جهت دامنه، Df = فاصله از گسل، Lu = کاربری زمین است.

ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها

به منظور ارزیابی نقشه‌های تهیه شده از ۳۰ درصد داده‌های واریزه‌ای که در پهنه‌بندی استفاده نشد، بهره گرفته و به کمک رابطه احتمال تجربی (رابطه ۵)، میزان دقت مدل‌ها تعیین شد. به این صورت که ۳۰ درصد از سطح واریزه‌های منطقه که در پهنه‌بندی استفاده نشده‌اند را روی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها که با مدل‌های تراکم سطح و DSI تهیه شد، انداخته و پراکنش واریزه‌ها در طبقه‌های مختلف نقشه‌های پهنه‌بندی محاسبه شد. در مرحله بعد با استفاده از رابطه (۵) میزان دقت مدل‌ها محاسبه شد.

تهیه نقشه‌های متغیرها و عوامل موثر

داده‌های پژوهش حاضر به کمک منابع کتابخانه‌ای، نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی صحرایی جمع‌آوری گردید. در ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی دماوند با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و سامانه Google Earth Pro موقعیت واریزه‌ها در محدوده مورد پژوهش شناسایی شد و نقشه نهایی توزیع واریزه‌ها در منطقه پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط به وسیله دستگاه GPS تهیه و به محیط GIS منتقل شد. نقشه‌های متغیرها و عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها شامل سازندهای زمین‌شناسی و فاصله از گسل‌ها از نقشه زمین‌شناسی دماوند و نقشه‌های ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه با استفاده از نقشه‌های رقومی ارتفاعی و مدل ارتفاعی ASTER با قدرت تفکیک ۳۰ متر از سایت USGS تهیه شد. همچنین نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه از نقشه پوشش سراسری ایران (Iran Land Cover) با پردازش تصاویر Sentinel در پلتفرم Google Earth Engine Cloud تهیه شد. در مرحله بعد برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها از مدل تراکم سطح استفاده شده است.

پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها بر اساس مدل تراکم سطح

در این مرحله، روابط بین سطح واریزه‌ها در منطقه با عوامل موثر بر آن با استفاده از مدل تراکم سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور نقشه پراکنش واریزه‌ها با هر یک از نقشه‌های عوامل موثر قطع داده شده و بر اساس روابط ۱ و ۲ وزن هر طبقه به‌دست آمد (Van Westen et al., 1993).

$$\text{رابطه (۱)} \quad W_{area} = D_{area} - 100 \times C/D$$

$$\text{رابطه (۲)} \quad D_{area} = 100 \times A/B$$

که در آنها D_{area} تراکم سطح، W_{area} وزن تراکم سطح، A مساحت واریزه‌های هر طبقه، B مساحت هر طبقه، C مساحت کل واریزه‌ها و D مساحت کل منطقه مورد مطالعه است.

پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها بر اساس مدل DSI

رابطه‌ی (۵)

$$P = ks / s$$

که در آن p احتمال تجربی، ks واریزه‌ها در طبقه متوسط به بالا و s مساحت کل واریزه‌های منطقه است. مدلی که میزان p بیشتر باشد، برای پهنه‌بندی منطقه مناسب‌تر خواهد بود.

نتایج و بحث

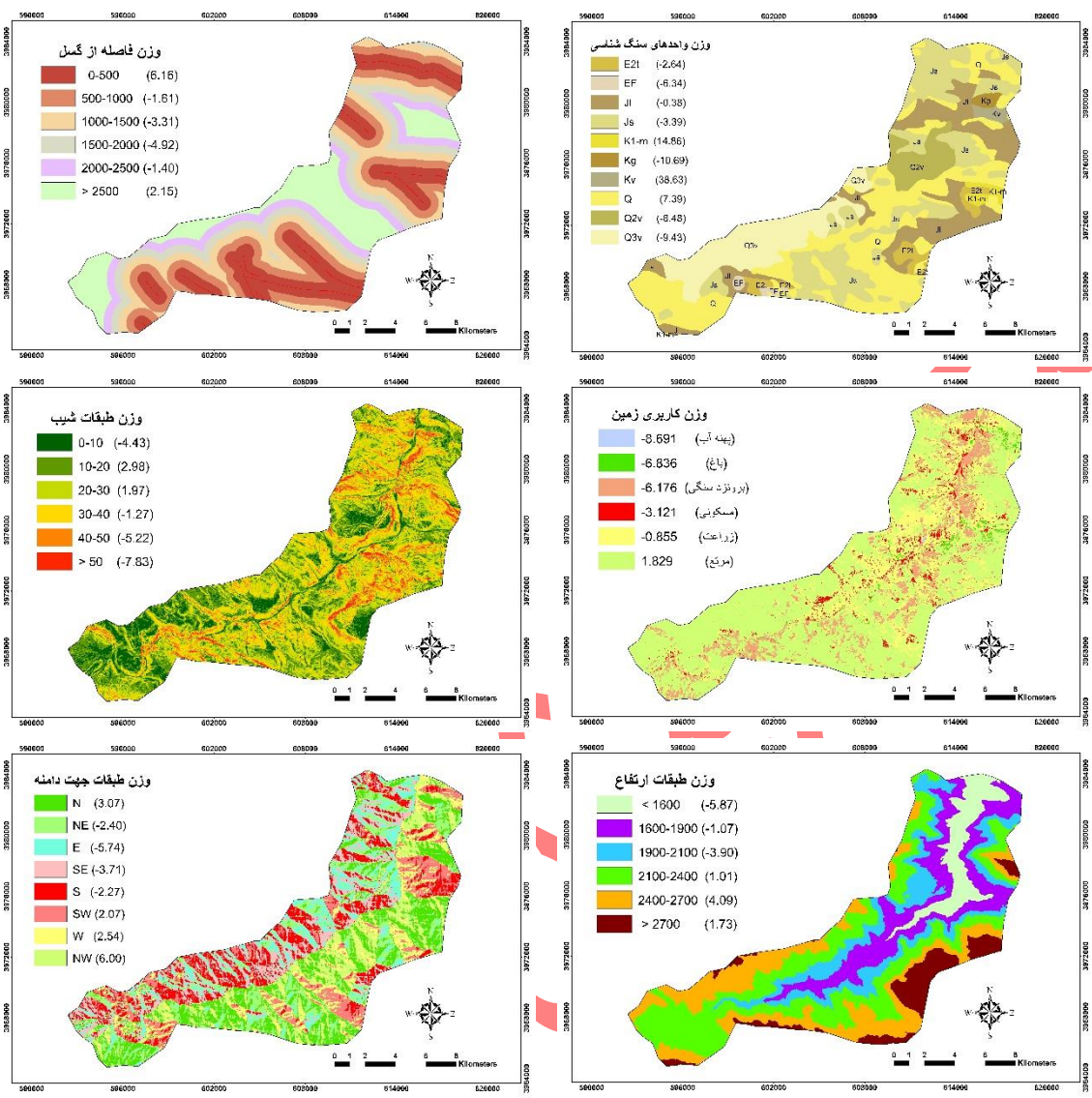
نقشه‌های عوامل ورودی موثر بر واریزه‌ها در منطقه شامل سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت دامنه، فاصله از گسل و کاربری زمین همراه با وزن طبقات حاصل از اجرای مدل تراکم سطح در شکل ۴ ارائه شده است. همچنین، موثرترین طبقات در تولید و گسترش واریزه‌های منطقه در جدول ۱ آورده شده است. بررسی عامل سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که واحد سنگی ملافیر (بازالت‌های هوازده) بیشترین وزن را در بین تمام واحدهای سنگی و کل عوامل موثر در گسترش واریزه‌های منطقه به خود اختصاص داده است ($W_{area} = 38.63$). پس از آن، به ترتیب سنگ آهک بیوژنیک، پادگانه‌های آبرفتی و سازند لار از وزن بالاتری برخوردار بوده و اهمیت بیشتری دارند. در این راستا، نتایج تحقیق مددی و همکاران در پهنه‌بندی واریزه‌های حوضه آق لاقان جای نیز نشان داد که بیشتر مخروط‌های واریزه‌ای حوضه مذکور در سنگ‌های آتشفشانی درزه‌دار تشکیل شده است (Madadi et al., 2017). همچنین یافته‌های پژوهش لرستانی و یوسفی روشن مبنی بر بررسی متغیرهای اثر گذار بر حجم مخروط‌های واریزه‌ای در مسیر دره هراز حاکی از این است که عمدتاً واریزه‌ها در سازندهای رسوبی بالادست دامنه تشکیل شده‌اند (Lorestani and Yousefi, 2018). در پژوهش حاضر نیز بعد از بازالت‌های دگرسان شده، سنگ آهک‌های چرت‌دار و سازندهای رسوبی دیگر حساسیت بیشتری در تشکیل واریزه‌ها نشان دادند.

نتایج بررسی ارتفاع نشان می‌دهد که از ۲۱۰۰ متر به بالا بر فراوانی واریزه‌ها افزوده شده است و از نظر وزن تراکم سطح، طبقه ارتفاعی ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ متر از حساسیت بیشتری برخوردار است ($W_{area} = 41.97$). در ارتفاعات نسبتاً بالا به علت برهنه بودن سطوح سنگی دامنه‌ها و نیز تغییرات شدید دمایی، سنگ‌ها بیشتر متلاشی می‌شوند و این مسئله زمینه گسترش واریزه‌ها را فراهم می‌نماید (Bayati, 2007). افزایش تعداد روزهای یخبندان در نواحی کوهستانی به دنبال افزایش ارتفاع و برودت هوا صورت می‌گیرد. تخریب فیزیکی سنگ‌ها و ایجاد واریزه‌ها در ارتفاعات به طریق یخ شکافتگی با پدیده ذوب و یخبندان ارتباط دارد (Madadi et al., 2017). از نظر شیب، با توجه به

شکل ۲ و جدول ۱ اغلب واریزه‌های منطقه در شیب بین ۱۰ تا ۴۰ درجه مشاهده شده‌اند. بیشترین پوشش واریزه‌ای مربوط به طبقه شیب ۲۰ تا ۳۰ درجه می‌باشد. هرچند، در شیب‌های تند بیشتر شاهد حرکت و جابجایی مواد هستیم، اما تعادل نسبی بهتر مواد، در دامنه‌های کم شیب اتفاق می‌افتد. در این راستا نتایج محاسبه تراکم سطح نیز نشان داد که طبقه شیب ۱۰ تا ۲۰ درجه بالاترین وزن را از نظر اهمیت گسترش واریزه‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد ($W_{area} = 2.99$). در این راستا، نتایج بیاتی خطیبی نیز نشان داد که پایداری واریزه‌های سنگی بر روی دامنه‌های پر شیب ممکن نیست. همچنین عدم استقرار تکه‌های برفی در دامنه‌های با شیب تند به ویژه در بلندی‌ها از میزان تولید واریزه‌ها می‌کاهد (Bayati, 2007).

محاسبه تراکم سطح واریزه‌ها در جهت‌های مختلف نشان می‌دهد که دامنه‌های شمال غرب بیشترین وزن و حساسیت را به خود اختصاص دادند ($W_{area} = 61.03$). در دامنه‌های پشت به آفتاب و از جمله در دامنه‌های شمال غرب، تشکیل واریزه‌ها می‌تواند به دلیل وجود برف و آب حاصل از ذوب آن باشد (Ildermi, 2012). بررسی فاصله از گسل نشان داد فراوانی واریزه‌ها تا فاصله ۱۰۰۰ متری کاملاً مشهود است و اغلب واریزه‌ها در امتداد گسل‌ها گسترده شده‌اند. بیشترین وزن این لایه بر اساس تراکم سطح، مربوط به طبقه صفر تا ۵۰۰ متری از گسل‌ها می‌باشد ($W_{area} = 61.64$). گسل خوردگی نقش ارزنده‌ای در متلاشی کردن سنگ‌های دامنه‌ای، فراهم نمودن شرایط نفوذ آب، افزایش درجه هوازدگی و دگرسانی و نیز انتقال تنش‌های لرزه‌ای دارد. گسل‌ها و درزه‌ها باعث نفوذ آب ناشی از ذوب برف به درون سنگ‌ها می‌شوند و طی فرآیند یخبندان و ذوب در تخریب سنگ‌ها و ایجاد واریزه موثرند (Abedini, 2004). از نظر پوشش گیاهی و کاربری بیشتر واریزه‌ها در سه طبقه مرتع، مسکونی و زمین‌های مزروعی مشاهده می‌شود. اما بیشترین وزن از طبقات کاربری به طبقه مرتع اختصاص دارد ($W_{area} = 1.829$). مراتع یکی از مکان‌های مناسب برای تشکیل مخروط‌ها و شیب‌های واریزه‌ای هستند. باغ‌ها و پوشش جنگلی نقش مهمی در کنترل جریان‌های واریزه‌ای دارند (Khezri et al., 2015).

پس از بررسی نقش هر یک از عوامل موثر، با همپوشانی تمام نقشه‌های وزنی، نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه با استفاده از مدل تراکم سطح به دست آمد (شکل ۵). بر اساس این نقشه پهنه‌بندی، حدود ۲۶ درصد از سطح منطقه در معرض حساسیت زیاد تا خیلی زیاد گسترش واریزه‌ها قرار دارد.

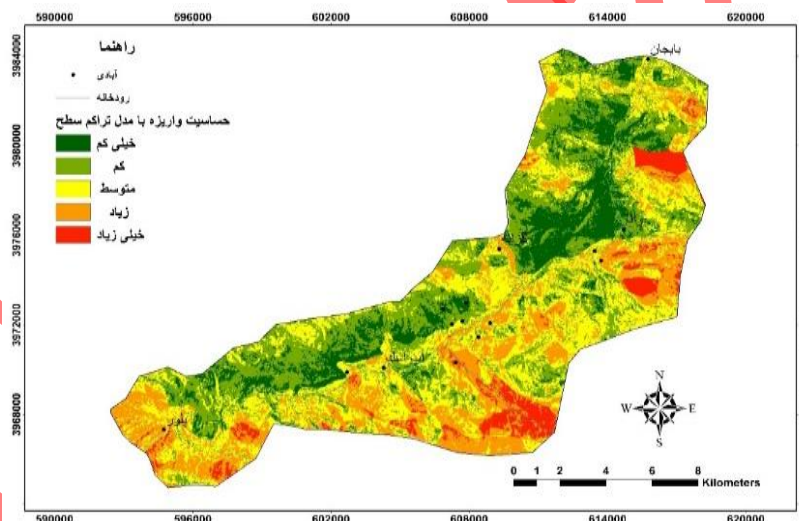


شکل ۴- نقشه‌های وزن طبقات عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها
 Figure 4. Map of the weight of the layers of the effective factors in the spread of deposits

جدول ۱- وزن تراکم سطح طبقات هر یک از عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها

Table 1. The density weight of the effective layers of each of the deposit production factors

| Weight وزن | Land use کاربری زمین | Weight وزن | Distance from the fault (m) فاصله از گسل (متر) | Weight وزن | Aspect جهت دامنه | Weight وزن | Slope (Degree) شیب (درجه) | Weight وزن | Elevation (m) ارتفاع (متر) | Weight وزن | Lithology جنس سنگ | Category طبقه |
|---------------|--|---------------|---|---------------|------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------|---|------------------|
| -3.12 | مسکونی Residential | 6.16 | 0-500 | 3.07 | N | -4.44 | 0-10 | -5.89 | <1600 | -2.64 | سازند کرج Karaj F-E2t | 1 |
| -8.69 | پهنه آب Water area | -1.61 | 500-1000 | -2.41 | NE | 2.99 | 10-20 | -1.07 | 1600-1900 | -3.40 | سازند شمشک Shemshak F-Js | 2 |
| -6.18 | برونزدهای سنگی Stone outcrops | -3.31 | 1000-1500 | -5.74 | E | 1.98 | 20-30 | -3.90 | 1900-2100 | 14.86 | سنگ آهک Limestone- K1-m | 3 |
| -6.84 | باغ Garden | -4.92 | 1500-2000 | -3.71 | SE | -1.27 | 30-40 | 1.02 | 2100-2400 | -10.70 | سنگ گچ Gypsum stone-Kg | 4 |
| -0.85 | زراعت Agriculture | -1.40 | 2000-2500 | -2.28 | S | -5.23 | 40-50 | 4.10 | 2400-2700 | 38.63 | ملافر Melafir-Kv | 5 |
| 1.83 | مرتع Pasture | 2.16 | >2500 | 2.07 | SW | -7.83 | >50 | 1.73 | >2700 | 7.40 | پادکانه آبرفتی Alluvial garrison-Q | 6 |
| | | | | 2.54 | W | | | | | -8.48 | توف Tuff- Q2v | 7 |
| | | | | 6.00 | NW | | | | | -9.43 | جریان تراکی آندزیتی Thracian- andesite F- Q3v | 8 |
| | | | | | | | | | | -6.35 | سازند فجن Fajan F-EF | 9 |
| | | | | | | | | | | -0.39 | سازند لار Lar F-II | 10 |



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها با مدل تراکم سطح
Figure 5- Zoning map of the susceptibility of deposits with density area model

واریزه در منطقه را به خود اختصاص دادند و اهمیت بیشتری نسبت به سایر عوامل در گسترش جریان‌های واریزه‌ای دارند. جدول ۲ میانگین وزن موثر و اولویت بندی سایر عوامل موثر بر واریزه‌ها را در منطقه نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق با دستاوردهای اغلب پژوهشگران که به بررسی دامنه‌های تالوسی و ساز و کار پیدایش سطوح واریزه‌ای پرداختند؛ مطابقت دارد. از جمله این تحقیقات می‌توان به مددی و همکاران اشاره نمود که در مطالعه دامنه جنوب شرقی کوه سیلان، از عوامل شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی برای پهنه‌بندی واریزه‌ها استفاده

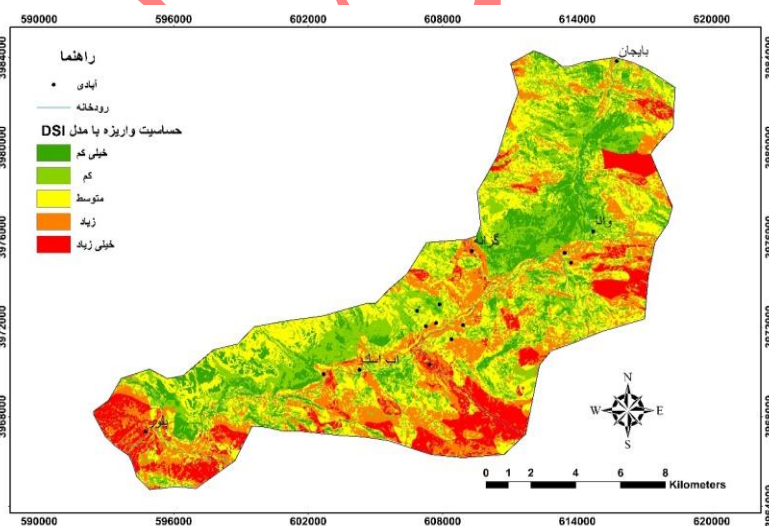
در مرحله‌ای دیگر از پژوهش حاضر، اولویت بندی عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها، یک گام مهم برای دستیابی به نقشه پهنه‌بندی دقیق‌تر از منطقه در نظر گرفته شد که برای این منظور، از مدل شاخص حساسیت واریزه (DSI) استفاده شد. در این مدل میانگین وزن موثر حساسیت واریزه‌ها در محیط ArcGIS با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید و عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها به ترتیب اولویت‌بندی شدند. بر این اساس، عوامل کاربری زمین، لیتولوژی و شیب به ترتیب ۲۱/۰۴ و ۲۰/۱۲ و ۱۸/۷۲ درصد از وزن میانگین موثر حساسیت تشکیل

به نتایج عابدینی مینی بر نقش سنگ‌های رسوبی در پیدایش جریانات واریزه‌ای شمال غرب آذربایجان (Abedini, 2004) و همچنین تحقیق خضری و همکاران مینی بر تأثیر جنس سنگ‌ها و اراضی مرتع به عنوان عوامل مهم در تولید واریزه‌های ناحیه کوهستانی پاره (Khezri et al., 2015) اشاره نمود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارند. پس از اولویت‌بندی عوامل موثر بر تولید واریزه‌ها و تعیین وزن میانگین موثر لایه‌ها، از جمع جبری آنها بر اساس رابطه ۴، نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها با مدل DSI تهیه شد که در آن، طبقات خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب با مساحت ۵۷۰۰، ۲۱/۱۵، ۲۹/۷۸، ۲۹/۵۳ و ۱۴/۵۴ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص دادند (شکل ۶).

کردند و دامنه‌های با پوشش گیاهی کم و لیتولوژی را با توجه به تنوع واحدهای سنگی و حساسیت متفاوت سازندها در وقوع حرکات دامنه‌ای از عوامل مهم اثر گذار معرفی کردند (Madadi et al., 2017). همچنین نتایج این تحقیق با دستاوردهای ایلدرومی و نوری که برهنه بودن سنگ‌ها، نبود پوشش گیاهی و سازندهای سطحی محافظ روی آنها و لیتولوژی را عامل مهم در تشکیل واریزه‌های زاگرس، مرکزی دانستند، همخوانی دارد (Ildoromi and Nouri, 2017). علاوه، نتایج تحقیق بیاتی که عدم پوشش گیاهی گسترده، بستر لیتولوژیکی مساعد و وجود سنگ‌های حساس مانند بازالت را یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری مخروط‌های واریزه‌ای در شمال غرب نیلان می‌داند با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Bayati, 2007). از تحقیقات دیگر در این زمینه می‌توان

جدول ۲- اولویت‌بندی عوامل موثر بر گسترش واریزه‌ها بر اساس مدل DSI

| Standard deviation انحراف معیار | Maximum حداکثر | Average effective weight میانگین وزن موثر | Effective factors عوامل موثر | Priority اولویت |
|------------------------------------|-------------------|--|---|--------------------|
| 8.82 | 91 | 21.04 | کاربری زمین Land use | 1 |
| 13.32 | 80 | 20.12 | لیتولوژی Lithology | 2 |
| 8.62 | 79 | 18.72 | شیب Slope | 3 |
| 8.07 | 83 | 13.76 | ارتفاع Height | 4 |
| 8.51 | 69 | 12.92 | جهت دامنه Aspect | 5 |
| 7.86 | 61 | 10.67 | فاصله از گسل Distance from the fault | 6 |



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها با مدل DSI
Figure 6- Zoning map of deposit sensitivity with DSI model

با متغیرها و عوامل موثر در آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تحلیل مدل تراکم سطح نشان داد که از نظر سازندهای زمین‌شناسی، واحد سنگی ملافیر، از لحاظ ارتفاع، طبقه ۲۷۰۰-۲۴۰۰ متر، از نظر شیب، طبقه ۲۰-۱۰ درجه، از لحاظ جهت

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، نقشه پراکنش واریزه‌های منطقه مورد مطالعه با هریک از نقشه‌های عوامل موثر قطع داده شده و براساس مدل تراکم سطح، روابط بین سطح واریزه‌ها در منطقه

به منظور ارزیابی دقت نتایج و مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه-بندی حساسیت واریزه‌ها که با مدل‌های تراکم سطح و DSI تهیه شد؛ در این پژوهش از روش احتمال تجربی (P) استفاده گردید. به این صورت که ۳۰ درصد از سطح واریزه‌های منطقه را که در مدل‌سازی و پهنه‌بندی استفاده نشد، را با نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط ArcGIS انطباق داده و پراکنش واریزه‌ها در طبقات مختلف حساسیت محاسبه شد و با استفاده از رابطه (۵) میزان دقت مدل‌ها به دست آمد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از رابطه احتمال تجربی نشان داد که مدل‌های تراکم سطح و DSI به ترتیب با احتمال ۰/۷۹ و ۰/۸۰ برای پهنه‌بندی حساسیت واریزه‌ها در منطقه مناسب هستند. اما در مقایسه، مدل شاخص حساسیت واریزه (DSI)، کارایی بالاتری در جداسازی و شناسایی مناطق حساس به گسترش واریزه‌ها دارد. در این راستا، شیرزادی و همکاران و همچنین جودی و همکاران از مدل تراکم سطح و کازاکیس و همکاران از شاخص حساسیت واریزه برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و تحلیل مسائل پژوهشی خود استفاده کردند و به صحت این مدل‌ها اشاره داشتند (Shirzadi et al., 2016; Jodi et al., 2023; Kazakis et al., 2015).

دامنه، دامنه رو به شمال غرب، از نظر فاصله از گسل، طبقه ۵۰۰- متر و از نظر کاربری زمین، زمین‌های مرتع بیشترین گسترش واریزه‌ها را دارند. همچنین برای تعیین اولویت بندی عوامل موثر و تهیه نقشه دقیق‌تر از پهنه‌بندی گسترش مخروط‌های واریزه‌ای در منطقه، میانگین وزن موثر شاخص حساسیت واریزه‌ها (DSI) محاسبه گردید. نتایج روش DSI نشان داد که از نظر حساسیت وقوع واریزه، پوشش و کاربری زمین با میانگین وزن ۲۱/۰۳ و جنس سنگ با میانگین وزن ۲۰/۱۲ بالاترین اولویت را در منطقه داشتند. عامل‌های شیب، ارتفاع، جهت دامنه و فاصله از گسل به ترتیب با میانگین وزن ۱۸/۷۲، ۱۳/۷۶، ۱۲/۹۲ و ۱۰/۶۷ اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص دادند.

سرانجام نقشه پهنه بندی حساسیت گسترش واریزه‌ها با استفاده از دو مدل یاد شده در پنج طبقه حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به دست آمد. طبقات حساسیت زیاد تا خیلی زیاد واریزه حدود ۲۶ درصد از سطح منطقه را پوشش دادند که از یک منظر توان محیطی به حساب می‌آیند؛ به طوری که با تشکیل ذخیره حجمی به عنوان یک کانسار رسوبی جهت مصرف در سازه‌های مهندسی قابل بهره‌برداری هستند و از منظر دیگر خطر بالقوه در زمینه‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و سازه‌های هیدرولیک محسوب می‌شوند.

منابع

- Abedini, M. (2004). The role of major factors upon the generation and evolution of debris flows in South-Western range of Hadishahr-Dare Deez (North-West of Azarbaeejan). *Geographical Research*, 19(3), 193-212 (In Persian).
- Ahmadi, H. (2012). *Applied Geomorphology. Vol. 1 Water Erosion*. 8th edn., Tehran university publishing institute, Tehran, Iran, 688 pp (In Persian).
- Ahmadi, M. (2018). Evaluation of Morphometric Factors on the Distribution of Debris: A Case Study on the Attica Ripples on the South of Paveh- Kermanshah Province, Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 7(4), 35-51 (In Persian).
- Baiz Sharif, H., Khaleghpanah, N., Davari, M., & Rahimzadeh, M. (2023). Investigating the performance of check dams in granularity of sedimentation in a watershed affected by debris flow (Nanor, Baneh). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30(1), 111-130. <https://doi.org/10.22069/JWSC.2023.21077.3621> (In Persian).
- Bayati, K. M. (2007). Analysis and investigation on the role of topographical factors and river's dynamics on debris cone, case study: NW slopes of Sabalan MT (NW, Iran). *Geographical Research*, 39(60), 157-175 (In Persian).
- Boelhouwers, J., Holness, S., & Sumner, P. (2000). Geomorphological characteristics of small debris flows on Junior's Kop, Marion Island, maritime sub-Antarctic. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 25(4), 341-352. [http://doi:10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200004\)25:4<341::AID-ESP58>3.0.CO;2-D](http://doi:10.1002/(SICI)1096-9837(200004)25:4<341::AID-ESP58>3.0.CO;2-D)
- Boromand, R., Behniafar, A. (2015). Zoning of the potential of domain instabilities with an emphasis on alluvial flows in the mountain basin of Sar Asiyab (Binalud zone). *Geographical Sciences (Applied Geography)*, 11(23), 1-19 (In Persian).
- Boromand, R., Zomorodian, M. (2014). Zoning of the potential of domain instabilities with an emphasis on alluvial flows in the mountain basin of Sar Asiyab (Binalud zone). *Geographical Sciences (Applied Geography)*, 10(21), 1-15 (In Persian).
- Curry, A. M. (2023). Talus slopes. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-99931-1.00047-7>
- Dowling, C. A., & Santi, P. M. (2014). Debris flows and their toll on human life: a global analysis of debris-flow fatalities from 1950 to 2011. *Natural hazards*, 71(1), 203-227. <http://doi.org/10.1007/s11069-013-0907-4>
- Gomez, C., Hotta, N., Shinohara, Y., Park, J. H., Tsunetaka, H., Zhang, M., ... & Yoshida, M. (2023). Formation Processes of Gully-side Debris-Cones Determined from Ground-Penetrating Radar (Mt.

- Unzen, Japan). *Journal of Applied Geophysics*, 209, 104919. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104919>
- Harris, C., Gallop, M., & Coutard, J. P. (1993). Physical modelling of gelifluction and frost creep: some results of a large-scale laboratory experiment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18(5), 383-398. <http://doi.org/10.1002/esp.3290180502>
- Ildermi, A. (2012). The study occurring and formation reasons debris flows in slope Alvand north Hamedan. *Geographic Space*, 12(37), 217-245 (In Persian).
- Ildoromi, A., & Nouri, H. (2017). Investigating the Role of Effective Morphodynamic and Climatic Factors in the Emergence and Development of Debris Flow in Central Zagros. *Geography and Environmental Planning*, 28(1), 61-82. <http://doi.org/10.22108/GEP.2017.97678.0> (In Persian).
- Jodi R, Esmali Ouri A, Mostafazadeh R, Golshan M. (2023). Flood Susceptibility Mapping using the Frequency Ratio Method in Khiav Chai Watershed, Ardabil. *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 1-14. <http://doi.org/10.22034/GMPJ.2021.131011> (In Persian).
- Karam, A., Paknejad, F., & Bahram Abadi, E. (2021). Zonation of unstable slopes with respect to the debris flows using random forest algorithm (case study: Basin Tngrah Golestan Province). *Quantitative Geomorphological Research*, 9(4), 59-74 (In Persian).
- Kazakis, N., Kougiyas, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
- Khezri, S., Ahmadi, M., & Mohammadi, M, A. (2015). Analysis and risk zoning of debris flows and their cones in the mountainous region of Pavah. *Quantitative Geomorphological Research*, 3(4), 1-16 (In Persian).
- Liu, X., & Lei, J. (2003). A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China). *Geomorphology*, 52(3-4), 181-191. [http://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00242-8](http://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00242-8)
- Lorestani, Gh., & Yousefi Roshan, M. (2018). Investigating the influencing variables on the volume of debris cones along Haraz Valley. *Quantitative Geomorphological Research*, 4(1), 21-31 (In Persian).
- Madadi, A., Ghafari, A., & Piroozi, E. (2017). Zonation of Debris Cones and Talus Slopes in Aghlaghan Chay Basin (South Western Slope of Sabalan Mountain). *Geography and Environmental Sustainability*, 6(4), 17-33 (In Persian).
- Pasuto, A., & Soldati, M. (2004). An integrated approach for hazard assessment and mitigation of debris flows in the Italian Dolomites. *Geomorphology*, 61(1-2), 59-70. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.11.006>
- Shirzadi A, Solaimani K, Habibnejad Roshan M, Kavian A, Ghasemian B. (2016). Comparison of Logistic Regression, Frequency Ratio and AHP In Rock Fall Susceptibility Mapping (Case Study: Kurdistan Province, Salavat Abad Saddle). *Journal of Watershed Management Research*, 6(12), 193-204 (In Persian).
- Van Westen, C. J., Soeters, R., & Rengers, N. (1993). Geographic information systems as applied to landslide hazard zonation. University of Twente.
- Walter, F., Amann, F., Kos, A., Kenner, R., Phillips, M., de Preux, A., & Bonanomi, Y. (2020). Direct observations of a three million cubic meter rock-slope collapse with almost immediate initiation of ensuing debris flows. *Geomorphology*, 351, 106933. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106933>
- Yu, B., Ma, Y., & Wu, Y. (2013). Case study of a giant debris flow in the Wenjia Gully, Sichuan Province, China. *Natural Hazards*, 65(1), 835-849. <http://doi.org/10.1007/s11069-012-0395-y>
- Zou, Q., Cui, P., He, J., Lei, Y., & Li, S. (2019). Regional risk assessment of debris flows in China-An HRU-based approach. *Geomorphology*, 340, 84-102. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.027>

“Research Paper”

Prioritization of effective factors on the expansion of debris and preparing its susceptibility map using Density area and DSI Models (Case study: Haraz Valley, Plour-Baijan)

Ali Akbar Gholampour Ahangar¹ and Isa Jokar Sarhangi²

1- Master of Geomorphology, Department of Natural Geography, Mazandaran University, Iran

2- Associate Professor of Geomorphology, Department of Natural Geography, Mazandaran University, Iran

(Corresponding Author: e.jokar@umz.ac.ir)

Received: 21 March, 2023

Accepted: 20 January, 2024

Extended Abstract

Introduction and Objectives: debris are one of the important phenomena of slope movements in mountainous areas. Studying this process by relying on two patterns of opportunity and threat is particularly important. Therefore, the current research tries to analyze the susceptibility of the occurrence of the Haraz Valley debris flows in the range of Plour to Baijan and by providing a suitable index to prioritize the effective factors in the formation and expansion of debris, achieve its more accurate zoning.

Material and methods: Using the geological map of Damavand, with a scale of 1:100,000 and Google Earth images, the location of the deposits in the area was identified and the distribution map of the deposits was prepared after field survey and recording of points by GPS device and transferred to the GIS environment. Maps of independent and influential variables on the spread of deposits, including lithology and distance from the fault, were prepared from Damavand's geological map, and the height, slope and direction of the range were prepared using ASTER digital elevation model. The vegetation and land use map were prepared from the national coverage map of Iran by processing Sentinel images on the Google Earth Engine Cloud platform. In the next step, the distribution map of the deposits was combined with each of the maps of the effective factors and the weight of each class of independent variables was obtained based on the density area model. Then a zoning map of the susceptibility of the spread of debris was prepared in five classes. Also, in order to determine the prioritization of effective factors and prepare a more accurate map of the zoning of the expansion of debris, the average effective weight of the deposit sensitivity index was calculated.

Results: According to the results of density area model analysis, Melafir rock unit, altitude of 2400-2700 meters, slope of 10-20 degrees, slope facing northwest, distance of up to 500 meters from the fault line and pasture lands had the most spread of deposits. According to the debris susceptibility Index (DSI) model, land use, lithology and slope have the highest priority with average effective weight of 21.04, 20.12 and 18.72, respectively, and are the main factors controlling the spread of debris in the area. The factors of slope, height, domain direction and distance from the fault were the next priorities.

Conclusion: The evaluation of the accuracy of the models using the empirical probability (P) showed that the surface density and DSI models are suitable for zoning the susceptibility of debris in the area with a probability of 0.79 and 0.80, respectively. The layers of high sensitivity to very high expansion of the deposit cover about 26% of the area, which is considered an environmental resource from one point of view, so that it can be exploited as a sedimentary deposit for use in engineering structures by forming a volume reserve, and from another point of view, it is a risk. It has potential in agricultural fields, residential areas and hydraulic structures.

Keywords: Debris flows, debris susceptibility index, density area, Haraz.