

Research Paper

Prioritization of Factors Affecting 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 Eisa Jokar Sarhangi² 

1- M.Sc in Geomorphology, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

2- Associate Professor of Geomorphology, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran, (Corresponding author: e.jokar@umz.ac.ir)

Received: 21 April, 2023

Accepted: 20 December, 2023

Extended Abstract

Background: Debris is one of the important phenomena of slope movements in mountainous areas. Harsh climatic conditions and the availability of tectonic and geological structures in the central Alborz Mountain heights have caused a significant amount of debris to form on the slopes. Studying this process by relying on two opportunity and threat patterns is particularly important. Therefore, the current research tries to analyze the susceptibility of the occurrence of the Haraz Valley debris flow in the range of Plour to Baijan by providing a suitable index to prioritize the factors affecting the formation and expansion of debris to achieve its more accurate zoning.

Methods: The effects of six layers of information, including lithology, height, slope, aspect, distance from the fault, vegetation, and land use, were investigated on the occurrence and spread of debris flow. First, the debris location in the area was identified using the geological map of Damavand, with a scale of 1:100,000 and Google Earth images. Then, the distribution map of the debris was prepared after field survey and recording points by a GPS device and transferred to the GIS environment. Maps of independent and influential variables on the spread of debris, including lithology and distance from the fault, were prepared from the Damavand geological map, and the height, slope, and direction of the range were prepared using the ASTER digital elevation model. The vegetation and land use maps 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 debris was combined with each map of the affecting 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 of very high, high, moderate, low, and very low susceptibility. The average effective weight of the deposit susceptibility index was also calculated to determine the prioritization of affecting factors and prepare a more accurate map for the zoning of the expansion of debris.

Results: The analysis of factors affecting the spread of debris in the studied area using the density area model shows that Melafir stone units (weathered basalts) have the most weight among all the stone units and all factors affecting the spread of debris in the region. After that, biogenic limestone, alluvial defenses, and Lar Formation are more important factors. The investigation of the elevation factor shows that the frequency of debris increases from 2100 meters up, and the elevation class of 2400-2700 meters is more sensitive. In terms of the slope factor, most of the debris in the region was observed in the slope between 10 and 40 degrees, and the largest deposit cover is related to the slope layer of 20-30 degrees. The calculation of the area density of the debris in different aspects shows that the northwest and north slopes have the most weight and susceptibility. The process of freezing and melting snow is evident in the destruction of rocks and the creation of most of the debris on these slopes. Examining the distance from the fault also showed that the frequency of debris is significant up to a distance of 1000 meters, and the highest weight of this layer, based on the density area, belongs to the zero-500-m layer of the faults. In addition to transmitting seismic stresses, faults cause the penetration of water caused by melting snow into rocks and are influential in destroying rocks and causing debris. In terms of vegetation and land use, pasture lands are the most susceptible to debris. The results of the statistical analysis of the density area and preparation of the regional zoning map showed that 5, 21.15, 29.78, 29.53, and 14.54% of the area of the region have very high, high, medium, and low susceptibility, respectively, to expand debris. According to the Debris Susceptibility Index (DSI) model, land

use, lithology, and slope have the highest priorities with average effective weights 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, elevation, aspect, and distance from the fault were the next priorities.

Conclusion: In the current research, the distribution of debris in different classes of independent variables was analyzed using the Density Area Model, and the importance of each class of parameters affecting the spread of debris was determined based on the weighting of the layers relative to each other. To evaluate the efficiency of the results of the density area model and verify its performance, a zoning map of the expansion of debris was prepared using the DSI model. The evaluation of the accuracy of the models using the empirical probability (P) shows that the density area and DSI models are suitable for zoning the susceptibility of debris in the area with probabilities of 0.79 and 0.80, respectively. The layers of high susceptibility to very high expansion of the deposit cover about 26% of the area, which is considered an environmental resource from one point of view. Hence, 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 potential risk in agricultural fields, residential areas, and hydraulic structures.

Keywords: Debris flow, Debris susceptibility index, Density area, Haraz.

How to Cite This Article: Gholampour Ahangar, A. & Jokar Sarhangi, E. (2024). Prioritization of Factors Affecting the Expansion of Debris and Preparing its Susceptibility Map using Density Area and DSI Models (Case study: Haraz Valley, Plour-Baijan). *J Watershed Manage Res*, 15(1), 40-51. DOI: [10.61186/jwmr.15.1.40](https://doi.org/10.61186/jwmr.15.1.40)

مقاله پژوهشی

اولویت بندی عوامل موثر برگسترش واریزه ها و تهیه نقشه حساسیت آن با استفاده از مدل های تراکم سطح و DSI (مطالعه موردی: دره هراز، پلور- بایجان)

علی اکبر غلامپور^۱ و عیسی جوکار سرهنگی^۲

۱- کارشناس ارشد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران، (نویسنده مسؤول: e.jokar@umz.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱

صفحه: ۴۰ تا ۵۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: واریزه ها یکی از پدیده های مهم حرکت های دامنه ای در مناطق کوهستانی هستند. شرایط اقلیمی خشن و فراهم بودن ساختارهای تکتونیکی و زمین شناسی در ارتفاعات کوهستانی البرز مرکزی سبب شده است تا به اندازه قابل توجهی، واریزه ها در دامنه ها تشکیل شوند. مطالعه این فرآیند با تکیه بر دو الگوی فرصت و تهدید، اهمیت ویژه ای دارد. از این رو، پژوهش حاضر سعی دارد حساسیت وقوع جریان های واریزه ای دره هراز در محدوده پلور تا بایجان را واکاوی کرده و با ارائه شاخصی مناسب جهت اولویت بندی عوامل موثر در تشکیل و گسترش واریزه ها، به پهنه بندی دقیق تر آن دست یابد.

مواد و روش ها: در این راستا، تاثیر شش لایه اطلاعاتی شامل لیتولوژی، ارتفاع، شیب، جهت دامنه، فاصله از گسل، پوشش گیاهی و کاربری زمین بر رخداد و گسترش واریزه ها مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از نقشه زمین شناسی دماوند، با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر گوگل ارث موقعیت واریزه ها در منطقه شناسایی و نقشه پراکنش آن پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط به وسیله دستگاه GPS تهیه و به محیط GIS منتقل شد. نقشه های عوامل مستقل و تاثیرگذار برگسترش واریزه ها شامل لیتولوژی و فاصله از گسل از نقشه زمین شناسی دماوند و ارتفاع، شیب و جهت دامنه با استفاده از مدل رقمی 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 واریزه ها با هریک از نقشه های عوامل موثر قطع داده شد و وزن هر طبقه از متغیرها بر اساس مدل تراکم سطح بدست آمد و نقشه پهنه بندی گسترش واریزه ها در پنج طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تهیه گردید. همچنین برای اولویت بندی عوامل موثر و تهیه نقشه دقیق تر، از میانگین وزن موثر شاخص حساسیت واریزه ها (DSI) استفاده شده است.

یافته ها: تحلیل عوامل موثر بر گسترش واریزه های منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل تراکم سطح نشان می دهد که واحدهای سنگی ملافیر (بازالت های هوازده) بیشترین وزن را در بین تمام واحدهای سنگی و کل عوامل موثر در گسترش واریزه های منطقه به خود اختصاص داده است. پس از آن، به ترتیب سنگ آهک بیوژنیک، پادگانه های آبرفتی و سازند لار از وزن و اهمیت بیشتری دارند. بررسی عامل ارتفاع نشان می دهد که از ۲۱۰۰ متر به بالا بر فراوانی واریزه ها افزوده شده و طبقه ارتفاعی ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ متر از حساسیت بیشتری برخوردار است. از نظر عامل شیب، بیشتر واریزه های منطقه در شیب بین ۱۰ تا ۴۰ درجه مشاهده شده اند و بیشترین پوشش واریزه ای مربوط به طبقه شیب ۲۰ تا ۳۰ درجه می باشد. محاسبه تراکم سطح واریزه ها در جهت های مختلف نشان می دهد که دامنه های شمال غربی و شمالی بیشترین وزن و حساسیت را به خود اختصاص دادند. فرآیند یخبندان و ذوب برف در تخریب سنگ ها و ایجاد بیشتر واریزه ها در این دامنه ها مشهود است. بررسی فاصله از گسل نیز نشان داد فراوانی واریزه ها تا فاصله ۱۰۰۰ متری قابل توجه است و بیشترین وزن این لایه بر اساس تراکم سطح، مربوط به طبقه صفر تا ۵۰۰ متری از گسل ها می باشد. گسل ها علاوه بر انتقال تنش های لرزه ای باعث نفوذ آب ناشی از ذوب برف به درون سنگ ها شده و در تخریب سنگ ها و ایجاد واریزه موثرند. از نظر پوشش گیاهی و کاربری، زمین های مرتع بیشترین میزان حساسیت واریزه ها را دارند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل آماری تراکم سطح و تهیه نقشه پهنه بندی منطقه نشان داد که ۵، ۲۱/۱۵، ۲۹/۷۸، ۲۹/۵۳ و ۱۴/۵۴ درصد از مساحت منطقه به ترتیب دارای حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم برای گسترش واریزه ها هستند. بر اساس مدل شاخص حساسیت واریزه (DSI)، کاربری زمین، جنس سنگ و شیب به ترتیب با میانگین وزن موثر ۲۱/۰۴، ۲۰/۱۲ و ۱۸/۷۲ بالاترین اولویت را داشته و عامل های اصلی کنترل کننده گسترش واریزه ها در منطقه هستند. عامل های ارتفاع، جهت دامنه و فاصله از گسل به ترتیب با میانگین وزن موثر ۱۳/۷۶، ۱۲/۹۲ و ۱۰/۶۷ در اولویت های بعدی قرار دارند.

نتیجه گیری: در پژوهش حاضر با استفاده از مدل تراکم سطح، پراکنش واریزه ها در طبقات مختلفی از متغیرهای مستقل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و اهمیت هر طبقه از پارامترهای موثر در گسترش واریزه ها بر اساس وزن دهی لایه ها نسبت به هم تعیین شد. برای ارزیابی کارآمدی نتایج مدل تراکم سطح و صحت سنجی عملکرد آن، نقشه پهنه بندی گسترش واریزه ها با استفاده از مدل شاخص حساسیت واریزه نیز تهیه شد. ارزیابی دقت مدل ها با استفاده از رابطه احتمال تجربی (P) نشان داد که مدل های تراکم سطح و DSI به ترتیب با احتمال ۰/۷۹ و ۰/۸۰ برای پهنه بندی حساسیت واریزه ها 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 می آید، به طوری که با تشکیل ذخیره حجمی به عنوان یک کانسار رسوبی جهت مصرف در سازه های مهندسی قابل بهره برداری هستند و از منظر دیگر خطر بالقوه در زمینه های کشاورزی، مناطق مسکونی و سازه های هیدرولیک محسوب می شوند.

واژه های کلیدی: تراکم سطح، جریان های واریزه ای، شاخص حساسیت واریزه، هراز

مقدمه

(and Lei, 2003). زمانی که تخریب فیزیکی در سطح تند دامنه فعال شود، باعث می شود قطعات کنده شده به سمت پایین دامنه انتقال یابند تا جایی که درجه شیب دامنه کم شود و مواد تجمع یابند (Ahmadi, 2012). سطوح واریزه ای محصول تجمع سنگ های منفصل و تخریب شده بر روی دامنه ها و آبراهه ها است. ترکیب واریزه ها را تکه سنگ های بزرگ و مواد کوه رفتی دانه ریز تشکیل می دهند. این مواد را می توان اثری از کنش سنگ ها در برابر تغییرات رطوبت و دما دانست (Ahmadi, 2018). مخروط های واریزه ای تنها مخصوص آتشفشان ها نیستند و در هر محیطی که رسوبات و واریزه ها از شیب تند

یکی از مهم ترین حرکت های توده ای، جریان واریزه ای است که به شکل لغزش های سریع در حال حرکت در محیط های مختلف دنیا رخ می دهد و بلای طبیعی بسیار خطرناکی در مناطق کوهستانی است (Baiz Sharif et al., 2023). به حرکت و جابجایی توده ای از خاک و خرده سنگ های نامنظم و زاویه دار در اثر نیروی جاذبه بر روی دامنه ها، جریان واریزه ای می گویند (Boelhouwers et al., 2000). واژه واریزه برای بعضی از حرکات تند قطعات سنگی تخریبی و هر نوع از تکه سنگ های گوشه دار روی دامنه ها، به کار گرفته می شود (Liu

بالادست به دامنه‌های پایین تر و نواحی پست انتقال می‌یابند؛ تشکیل می‌شوند (Gomez et al., 2023).

طبق نتایج اغلب پژوهش‌ها، مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید و حرکت واریزه‌ها شامل ارتفاع، شیب، جنس سنگ و بارش هستند (Harris et al., 1993). واریزه‌ها بر اساس مواد تشکیل دهنده و اندازه ذرات به فرم ماسه‌ای، خاکی، تخته سنگی و قلوه 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 زمین ساختی، 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، مخروطه‌های واریزه و دامنه‌های تالوس، ذخایر رسوبی ارزشمندی از قطعات سنگی هستند که در پای شیب‌های سنگی برهنه و شیب‌دار 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، متأثر از عوامل مختلف طبیعی ناحیه و دخالت‌های انسانی می‌باشد (Bayati, 2007). وقوع ناپایداری دامنه‌ها در ایران به ساختمان زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی و تغییرات آب و هوایی ارتباط دارد و مناطق کوهستانی به تناوب خسارات اقتصادی و انسانی گسترده برجای می‌گذارد. در نواحی کوهستانی، یکی از حرکت‌های دامنه‌ای تند و فوق‌العاده خطرناک، مخروطه‌های واریزه‌ای هستند (Madadi et al., 2017). این شکل مهم از حرکت‌های دامنه‌ای باعث حمل و نقل مواد می‌شوند (Lorestani and Yousefi, 2018) و در افزایش حجم رسوب و شکل‌زایی آبراهه‌ها اثر دارند (Ildermi, 2012). همچنین در اندازه و میزان حمل و نقل واریزه‌ها و ابعاد مخروطه‌های واریزه‌ای عوامل محلی نقش تعیین کننده دارند. لذا برای ارزیابی میزان تأثیر 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 مخروطه‌های آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و آنالیز داده‌ها در نرم‌افزار spss 19 انجام دادند. آنان بر اساس وزن هر کدام از عامل‌های مؤثر، 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 به‌علت 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 مؤثر 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، به‌ویژه در ارتفاعات ۱۷۰۰ متری به بالا باعث شده تا با تخریب فیزیکی سنگ‌ها و پسروی پرتگاه‌ها، جریان‌های واریزه‌ای مجزا و ممتد بسیار تپیک در سطح وسیعی در منطقه شکل بگیرند، به‌طوری‌که 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 به‌همراه عامل ارتفاع از جمله مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در پیدایش جریان‌های واریزه‌ای در منطقه مورد مطالعه ذکر شده است (Abedini, 2004). برومند و بهنیافار ناپایداری دامنه‌ها و خطر جریان‌های واریزه‌ای را در حوضه آبریز زشک واقع در پهنه زمین‌شناسی بینالود، با دخالت دادن شش متغیر از طریق جدول تجربی آنیلانکان 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 به‌علت 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 تأیید می‌نماید (Boromand and Behniafar, 2015). کرم و همکاران نیز برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر 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 مؤثر 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 تأثیر 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، زمین‌شناسی ساختاری، زمین ریخت‌شناسی، خاک‌شناسی، هواشناسی و جنگل‌داری با هدف مدیریت و کاهش خطر انجام گرفت. نتیجه این پژوهش نشان داد که شیب عامل مهم و تأثیرگذار 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 به‌سزایی 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

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 تأثیر 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 تکتونیکی و فعالیت‌های آتشفشانی دماوند، ساختار زمین ریخت‌شناسی پیچیده‌ای دارد و از طرفی با حاکمیت شرایط خشن اقلیمی و تداوم فرآیند هوازدگی، سطح 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 به‌ویژه 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) انجام شده است.

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 مؤثر 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 کمی‌سازی 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 ریزش خرده سنگ‌های محصول جریان‌های واریزه‌ای در یکی



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



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

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 پلور و بایجان در بخش لاریجان آمل واقع است. طول تقریبی

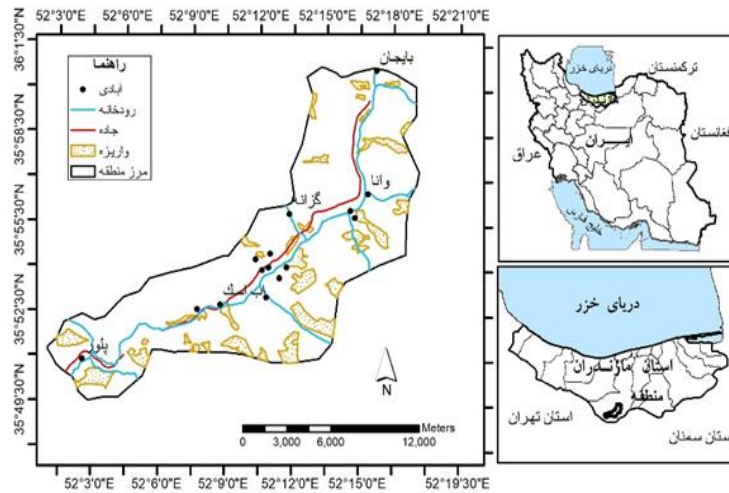
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی $35^{\circ} 49' 20''$ تا $52^{\circ} 59' 48''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 01' 25''$ تا $52^{\circ} 18' 40''$

شرایط اقلیمی چیره بر منطقه، معتدل کوهستانی است، اما در ارتفاعات بالاتر از اقلیم سرد کوهستانی برخوردار است.

محدوده مورد مطالعه در مسیر جاده هراز، ۳۵ کیلومتر و مساحت آن ۲۰۴۱۰ هکتار می باشد. در این منطقه حداقل ارتفاع ۱۱۳۴ متر، حداکثر ۳۲۸۲ متر و میانگین ارتفاع ۲۱۷۲ متر است.



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

پهنه بندی حساسیت واریزه ها بر اساس مدل DSI

برای اولویت بندی عوامل مؤثر بر گسترش جریان های واریزه ای و تهیه نقشه دقیق تر از پهنه بندی در منطقه از میانگین وزن مؤثر شاخص حساسیت واریزه ها (DSI) و رابطه اصلاح شده 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 مؤثر هر شاخص، P_a = وزن تراکم سطح هر شاخص و V_t = مقدار تجمیع کل شاخص ها می باشد. از مجموع وزن های حاصل از تراکم سطح هر شاخص با یکدیگر، نقشه پهنه بندی حساسیت واریزه با مدل تراکم سطح تهیه شد و از این طریق، وزن تجمیع کل شاخص ها نیز به دست آمد. سپس وزن تراکم سطح هر نقشه از شاخص بر وزن تجمیع کل تقسیم شد و وزن میانگین مؤثر حساسیت واریزه ها برای هر شاخص تعیین گردید. در نهایت با توجه به وزن میانگین مؤثر، شش عامل اثرگذار بر جریان های واریزه ای در منطقه، اولویت بندی شدند. با جمع مقادیر وزنی حاصل از لایه ها مطابق با رابطه ۴، نقشه پهنه بندی حساسیت واریزه با مدل DSI نیز تهیه شد.

رابطه (۴)

$$DSI = W_{Li} \times P_{Li} + W_{El} \times P_{El} + W_{Si} \times P_{Si} + W_{Dd} \times P_{Dd} + W_{Df} \times P_{Df} + W_{Lu} \times P_{Lu}$$

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

ارزیابی نقشه های پهنه بندی حساسیت واریزه ها

به منظور ارزیابی نقشه های تهیه شده از ۳۰ درصد داده های واریزه ای که در پهنه بندی استفاده نشد، بهره گرفته و به کمک رابطه احتمال تجربی (رابطه ۵)، میزان دقت مدل ها تعیین شد. به این صورت که ۳۰ درصد از سطح واریزه های منطقه که در پهنه بندی استفاده نشده اند را روی نقشه های پهنه بندی حساسیت واریزه ها که با مدل های تراکم سطح و DSI تهیه

تهیه نقشه های متغیرها و عوامل مؤثر

داده های پژوهش حاضر به کمک منابع کتابخانه ای، نقشه ها، تصاویر ماهواره ای و بررسی صحرایی جمع آوری گردید. در ابتدا با استفاده از نقشه زمین شناسی دماوند با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و سامانه Google Earth Pro موقعیت واریزه ها در محدوده مورد پژوهش شناسایی شد و نقشه نهایی توزیع واریزه ها در منطقه پس از برداشت میدانی و ثبت نقاط به وسیله دستگاه GPS تهیه و به محیط GIS منتقل شد. نقشه های متغیرها و عوامل مؤثر بر گسترش واریزه ها شامل سازندهای زمین شناسی و فاصله از گسل ها از نقشه زمین شناسی دماوند و نقشه های ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه با استفاده از نقشه های 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 پهنه بندی حساسیت واریزه ها از مدل تراکم سطح استفاده شده است.

پهنه بندی حساسیت واریزه ها بر اساس مدل تراکم سطح

در این مرحله، روابط بین سطح واریزه ها در منطقه با عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل تراکم سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور نقشه پراکنش واریزه ها با هریک از نقشه های عوامل مؤثر قطع داده شده و براساس روابط ۱ و ۲ وزن هر طبقه به دست آمد (Van Westen et al., 1993).

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

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

که در آن A = مساحت واریزه های هر طبقه، B = مساحت هر طبقه، C = مساحت کل واریزه ها و D = مساحت کل منطقه مورد مطالعه است.

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.

$$P = ks / s \quad (۵)$$

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

نتایج و بحث

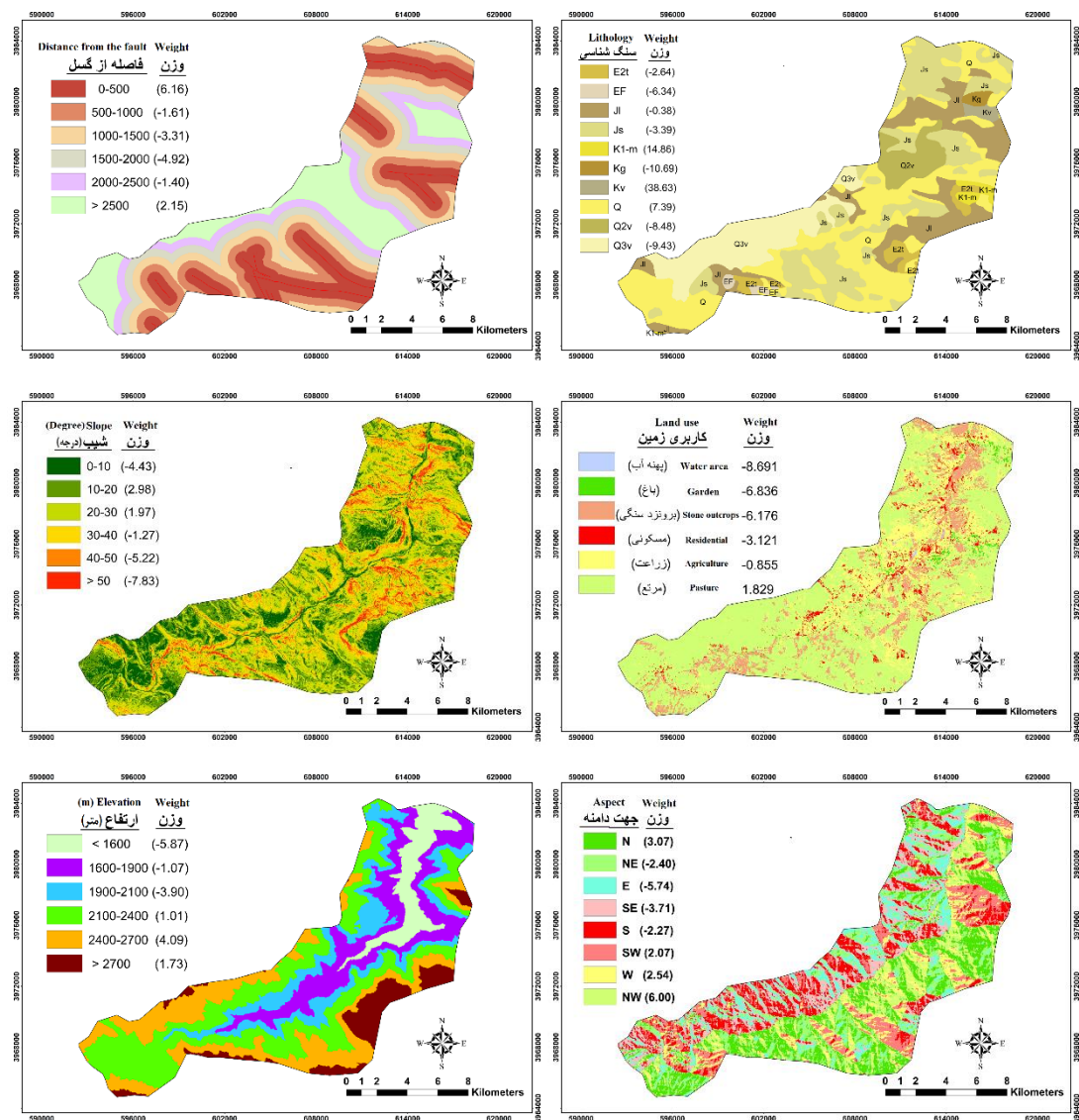
نقشه‌های عوامل ورودی مؤثر بر واریزه‌ها در منطقه شامل سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت دامنه، فاصله از گسل و کاربری زمین همراه با وزن طبقات حاصل از اجرای مدل تراکم سطح در شکل ۴ ارائه شده است. همچنین، مؤثرترین طبقات در تولید و گسترش واریزه‌های منطقه در جدول ۱ آورده شده است. بررسی عامل سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که واحد سنگی ملافیر (بازالت‌های هوازده) بیشترین وزن را در بین تمام واحدهای سنگی و کل عوامل مؤثر در گسترش واریزه‌های منطقه به‌خود اختصاص داده است ($W_{area} = ۳۸/۶۳$). پس از آن، به‌ترتیب 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 چای 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 ($W_{area} = ۴/۰۹۷$). در ارتفاعات نسبتاً بالا به‌علت 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 کم‌شیب 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 ($W_{area} = ۲/۹۹$). 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 به‌ویژه 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 به‌خود اختصاص دادند ($W_{area} = ۶/۰۰۳$). 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 ($W_{area} = ۶/۱۶۴$). گسل‌خوردگی 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 مؤثرند (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 ($W_{area} = ۱/۸۲۹$). 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 هریک از عوامل مؤثر، با همپوشانی تمام نقشه‌های وزنی، نقشه پهنه‌بندی حساسیت واریزه با استفاده از مدل تراکم سطح به‌دست آمد (شکل ۵). براساس این نقشه پهنه‌بندی، حدود ۲۶ درصد از سطح منطقه در معرض حساسیت زیاد تا خیلی‌زیاد گسترش واریزه‌ها قرار دارد.

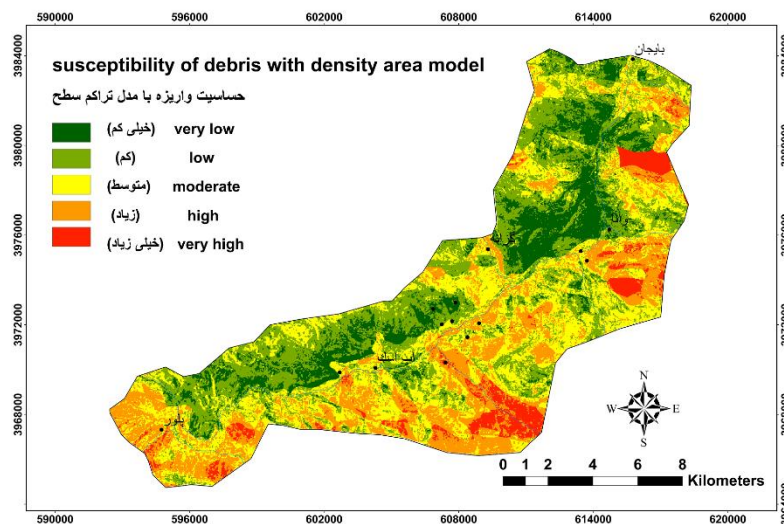


شکل ۴- نقشه‌های وزن طبقات عوامل مؤثر بر گسترش واریزه‌ها
Figure 4. Weight Maps of the effective factors in the spread of debris

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

Table 1. The density weight of the effective layers of each of the debris spread 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	Class طبقه
-3.12	مسکونی Residential	6.16	0-500	3.07	N	-4.44	0-10	-5.89	<1600	-2.64	سازند کرج 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	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	ملافیر Mela-fir-Kv	5
1.83	مرتع Pasture	2.16	>2500	2.07	SW	-7.83	>50	1.73	>2700	7.40	پادگانه 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-Jl	10



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

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 سبلان، از عوامل شیب، لیتولوژی و کاربری اراضی برای پهنه‌بندی واریزه‌ها استفاده 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 اثرگذار 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). به‌علاوه، نتایج تحقیق

در مرحله‌ای دیگر از پژوهش حاضر، اولویت‌بندی عوامل مؤثر 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 مؤثر حساسیت واریزه‌ها در محیط ArcGIS با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید و عوامل مؤثر بر گسترش واریزه‌ها به‌ترتیب اولویت‌بندی شدند. بر این اساس، عوامل کاربری زمین، لیتولوژی و شیب به‌ترتیب ۲۱/۰۴ و ۲۰/۱۲ و ۱۸/۷۲ درصد از وزن میانگین مؤثر حساسیت تشکیل واریزه در منطقه را به‌خود اختصاص دادند و اهمیت بیشتری نسبت به سایر عوامل در گسترش جریان‌های واریزه‌ای دارند. جدول ۲ میانگین وزن مؤثر و اولویت‌بندی سایر عوامل مؤثر بر واریزه‌ها را در منطقه نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق با

کوهستانی پاه (Khezri et al., 2015) اشاره نمود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارند.

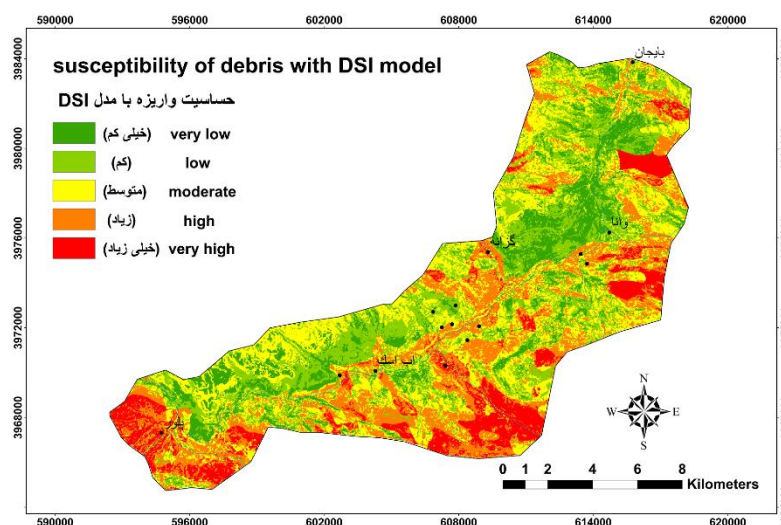
پس از اولویت بندی عوامل مؤثر بر تولید واریزه ها و تعیین وزن میانگین مؤثر لایه ها، از جمع جبری آنها براساس رابطه ۴، نقشه پهنه بندی حساسیت واریزه ها با مدل DSI تهیه شد که در آن، طبقات خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب با مساحت ۵/۰۰، ۲۱/۱۵، ۲۹/۷۸، ۲۹/۵۳ و ۱۴/۵۴ درصد از سطح منطقه را به خود اختصاص دادند (شکل ۶).

بیاتی که عدم پوشش گیاهی گسترده، بستر لیتولوژیکی مساعد و وجود سنگ های حساس مانند بازالت را یکی از عامل های مهم در شکل گیری مخروط های واریزه ای در شمال غرب سیلان می داند با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Bayati, 2007). از تحقیقات دیگر در این زمینه می توان به نتایج عابدینی مینی بر نقش سنگ های رسوبی در پیدایش جریان های واریزه ای شمال غرب آذربایجان (Abedini, 2004) و همچنین تحقیق خضری و همکاران مینی بر تأثیر جنس سنگ ها و اراضی مرتع به عنوان عوامل مهم در تولید واریزه های ناحیه

جدول ۲- اولویت بندی عوامل مؤثر بر گسترش واریزه ها بر اساس مدل DSI

Table 2. Prioritizing factors affecting the spread of debris based on the DSI model

Standard deviation انحراف معیار	Maximum حداکثر	Average effective weight میانگین وزن مؤثر	Effective factors عوامل مؤثر	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 Elevation	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 پهنه بندی حساسیت واریزه ها با مدل DSI
Figure 6. Zoning map of debris susceptibility with DSI model

اولویت بندی عوامل مؤثر و تهیه نقشه دقیق تر از پهنه بندی گسترش مخروط های واریزه ای در منطقه، میانگین وزن مؤثر شاخص حساسیت واریزه ها (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. عامل های شیب، ارتفاع، جهت دامنه و فاصله از گسل به ترتیب با میانگین وزن ۱۸/۷۲، ۱۳/۷۶، ۱۲/۹۲ و ۱۰/۶۷ اولویت های بعدی را به خود اختصاص دادند.

سرانجام نقشه پهنه بندی حساسیت گسترش واریزه ها با استفاده از دو مدل یاد شده در پنج طبقه حساسیت خیلی کم،

نتیجه گیری کلی

در پژوهش حاضر، نقشه پراکنش واریزه های منطقه مورد مطالعه با هریک از نقشه های عوامل مؤثر قطع داده شده و براساس مدل تراکم سطح، روابط بین سطح واریزه ها در منطقه با متغیرها و عوامل مؤثر در آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تحلیل مدل تراکم سطح نشان داد که از نظر سازندهای زمین شناسی، واحد سنگی ملافیر، از لحاظ ارتفاع، طبقه ۲۴۰۰-۲۷۰۰ متر، از نظر شیب، طبقه ۲۰-۱۰ درجه، از لحاظ جهت دامنه، دامنه رو به شمال غرب، از نظر فاصله از گسل، طبقه ۵۰۰-۰ متر و از نظر کاربری زمین، زمین های مرتع بیشترین گسترش واریزه ها را دارند. همچنین برای تعیین

واریزه‌ها در طبقات مختلف حساسیت محاسبه شد و با استفاده از رابطه (۵) میزان دقت مدل‌ها به‌دست آمد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از رابطه احتمال تجربی نشان داد که مدل‌های تراکم سطح و DSI به‌ترتیب 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 پهنه بندی 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).

کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به‌دست آمد. طبقات حساسیت زیاد تا خیلی زیاد واریزه حدود ۲۶ درصد از سطح منطقه را پوشش دادند که از یک منظر توان محیطی به‌حساب می‌آیند؛ به‌طوری‌که با تشکیل ذخیره حجمی به‌عنوان 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. به‌منظور ارزیابی دقت نتایج و مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی 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

References

- 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 Tngra Golestan Province). *Quantitative Geomorphological Research*, 9(4), 59-74 (In Persian).
- Kazakis, N., Kougias, 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 Paveh. *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>