



## Investigation of Flood Hazard Potential in Watersheds Using AHP (Case Study: Ilam City Watershed)

Fatemeh Rostami<sup>1</sup>, Mohsen Tavakoli<sup>2\*</sup>, Noredin Rostami<sup>2</sup> and Haidar Ebrahimi<sup>3</sup>

1- M.Sc. Graduate, Watershed Management Engineering, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran

2- Associate Professor. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agricultural, Ilam University, Ilam, Iran

3- Ph.D. in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran

\*Corresponding author: m.tavakoli@ilam.ac.ir

(Received: 16 November 2021

Revise: 5 December 2021

Accepted: 12 December 2021)

### Extended Abstract

**Introduction:** There are several parameters in the catchments that cause high peak flows, as a consequence of which nature will be degraded. Among these factors, land-use change, vegetation degradation, soil infiltration, rainfall intensity, slope, and infiltration rate of the catchment are the most important.

Watershed management activity is one of the effective methods for increasing the time concentration of the catchments. Flood hazard zoning of the catchment can also provide suitable information about floods and their effects on floodplains, which can be a strong tool for flood warning. Flood potential zoning determines the area with higher potential runoff. This calculation can be done by comparing hydrologic and hydrogeologic factors of the watersheds and then flood potential of all areas can be evaluated. Using this method, the areas with high potential flood risk could be identified. These results enable us to predict probable flood events. Nowadays, using new technologies like GIS and RS can help decision-makers to have a quick evaluation of natural flood hazards.

**Materials and Methods:** For the aims of this study, first, the main effective factors for zoning flood potential have been collected using documents, expert ideas, and other common techniques. Using GIS all required maps and factors have been prepared including slope, geology, pedology, vegetation index, drainage density and form factor. Then, for weighting parameters, AHP method is used. Combining this method with GIS can provide a strong tool for calculating flood hazard zones. AHP is a suitable tool for final weighting parameters which use comparing matrix and has been done in Expert choice software. At the end, the final weights of parameters were overlaid in ArcGIS and a potential flood hazard zone map was prepared for both catchments. These maps include the areas with very low, low, moderate, high and very high classes. For comparing flood hazard zonation of the, specific high flows were calculated using Fuller's method. Specific high flow is the number of peak flows divided by the area of the watershed that is a suitable factor for comparing two areas related to discharge. Hence, by calculating specific high flows of both watersheds, it is possible to specify the watershed with higher flood potential between Arghavan and Kal-Anar subwatersheds.

**Results:** The final flood potential zonation of both subwatersheds shows that there are five classes of flood potential in both subwatersheds including very high, high, moderate, low and very low. Investigations show that 1.45% of Arghavan and 14.77% of Kal-Anar subwatersheds are in the very high flood potential class, 18.11% of Arghavan and 35.00% of Kal-Anar subwatersheds are in the high flood potential class, 58.23% of Arghavan and 40.08% of Kal-Anar subwatersheds are in moderate flood potential class, 19.35% of Arghavan and 8.90% of Kal-Anar subwatersheds are in low flood potential class and 2.86% of Arghavan and 1.25% of Kal-Anar subwatersheds are in very low flood potential class.

**Discussion and Conclusion:** Results indicate that based on the final flood potential zonation of the subwatersheds, because of high slope, impermeable geology, low-density vegetation and watershed shape and higher specific peak flows, Kal-Anar subwatershed has higher flood potential related to Arghavan watershed. On the other hand, Arghavan watershed has more volume of flood in the same storm. Furthermore, based on AHP method, slope with 29.3% and watershed shape with 7.2% have the most and the least effects on flood potential, respectively.

Finally, it was concluded that experts and government decision-makers should focus more on Kal-Anar which is in a higher risk of flood and prepare a suitable plan for combating flood in this subwatershed. Paying more attention to mentioned subwatershed minimizes different kinds of damage.

**Keywords:** AHP, Flood hazard zoning, Ilam, Pair comparison.

**Citation:** Rostami, F., Tavakoli, M., Rostami, N. & Ebrahimi, H. (2021). Investigation of flood hazard potential in watersheds using AHP (Case study: Ilam city watershed). *Integrated Watershed Management*, 1(1), 1-16. doi: 10.22034/iwm.2021.247934

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شهر ایلام)

فاطمه رستمی<sup>۱</sup>، محسن توکلی<sup>۲\*</sup>، نورالدین رستمی<sup>۲</sup> و حیدر ابراهیمی<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

\*نویسنده مسئول: m.tavakoli@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

### چکیده

این تحقیق با هدف مقایسه تحلیلی عوامل مؤثر در وقوع سیلاب و تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در دو زیرحوضه ارغوان و کل‌انار، از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز شهر ایلام، با استفاده از روش AHP انجام شده است. برای این منظور ابتدا خصوصیات شیب، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، نفوذپذیری خاک، تراکم زهکشی و شکل حوضه به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار در سیل خیزی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه، انتخاب و پس از تکمیل پرسشنامه توسط کارشناسان آشنا به حوضه، وزن‌دهی این عوامل انجام شد. سپس با استفاده از نتایج حاصل از وزن‌دهی، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی محاسبه گردید. بر اساس نتایج، شاخص‌های شیب و شکل حوضه‌ها به ترتیب بیشترین (۰/۲۹۳) و کمترین وزن (۰/۰۷۲) و تأثیر را در سیل خیزی داشته است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی وقوع سیل، پهنه‌های با کلاس سیل خیزی خیلی زیاد، در زیرحوضه ارغوان ۱/۴۵ درصد از مساحت و در زیرحوضه کل‌انار با ۱۴/۷۷ درصد بود و پهنه‌هایی با کلاس سیل خیزی خیلی کم، در زیرحوضه ارغوان ۲/۸۶ درصد و زیرحوضه کل‌انار با ۱/۲۵ درصد از سطح حوضه‌ها را شامل می‌شوند. بر اساس نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی، زیرحوضه کل‌انار به دلیل شیب زیاد، سازندهای نفوذناپذیر، پوشش گیاهی اندک و شکلی نسبتاً گرد و همچنین دبی ویژه زیاد (۰/۵۲ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع) نسبت به زیرحوضه ارغوان (دبی ویژه ۰/۲۹ مترمکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع) دارای پتانسیل سیل خیزی بیشتر و زیرحوضه ارغوان به دلیل داشتن سطحی گسترده نسبت به زیرحوضه کل‌انار، حجم بیشتری از سیل را در برمی‌گیرد. در نتیجه کارشناسان باید به زیرحوضه کل‌انار که دارای پتانسیل سیل خیزی بیشتری است، توجه بیشتری داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: ایلام، پهنه‌بندی، روش AHP، سیل خیزی، مقایسه زوجی.

استناد: رستمی، ف.، توکلی، م.، رستمی، ن. و ابراهیمی، ا. (۱۴۰۰). ارزیابی پتانسیل سیل خیزی حوزه‌های آبخیز با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شهر ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱(۱)، ۱-۱۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

**مقدمه**

همه‌روزه در سراسر جهان وقایع طبیعی زیادی رخ می‌دهد که تعدادی از آن‌ها تبدیل به بلایای طبیعی می‌شوند. بلای طبیعی در واقع یک فاجعه ناشی از وقوع یک پدیده طبیعی پرخطر مانند سیل، خشکسالی، زلزله، رانش زمین، طوفان و یا آتش‌فشان است که باعث وارد آمدن خسارت مالی و جانی فراوان به جوامع انسانی می‌گردد. سیل جزء آن دسته از حوادث طبیعی است که همیشه به‌عنوان بلای طبیعی مهمی قلمداد شده و در کشور ما بیشتر بر اثر به هم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی منطقه ایجاد می‌شود. از بین رفتن پوشش گیاهی در اثر مدیریت نامناسب منابع طبیعی تجدیدشونده و نبود جایگاهی برای آن در سیاست‌گذاری‌های کلان، شرایطی را فراهم نموده است که گاهی باعث بروز سیلاب و از دست رفتن میلیون‌ها تن از خاک‌های با ارزش می‌شود. سیلاب پدیده‌ای است که اغلب دلیل اصلی آن عوامل طبیعی بوده اما دخالت انسانی باعث بر هم خوردن تعادل طبیعی حوزه‌های آبریز و وقوع این پدیده شده و خسارات و زیان‌های ناشی از آن را تشدید می‌کند (Niknajad & Alizadeh, 2006).

عواملی مانند تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی، اشباع شدن خاک، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، شدت بارندگی، شیب و نفوذپذیری باعث می‌شوند جریان رودخانه از حالت طبیعی و تعادل خارج شده و به یک عامل مخرب تبدیل شود. یکی از روش‌های مهم در کنترل و کاهش رواناب سطحی به‌منظور به تعویق انداختن سیل، عملیات آبخیزداری می‌باشد. یکی دیگر از روش‌های مدیریت خطرات سیل، پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت، سیلاب‌ها و اثرات آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد، در نتیجه امکان ارسال هشدارهای مناسب در مواقع خطر سیل و تسهیل عملیات امداد و نجات را فراهم می‌سازد (Niknajad & Alizadeh, 2006).

پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی عبارت از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی است. این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مناطق مورد بررسی صورت گرفته و از این طریق امکان استفاده از پتانسیل هر پارامتر، وزن مشخص و ارزیابی می‌شود (Abdi, 2006). در واقع با تعیین محل‌های دارای پتانسیل بالا به نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل‌خیزی منطقه به‌دست آورد، چرا که وجود پتانسیل بالای سیل‌خیزی در یک منطقه، مقدمه‌ای بر افزایش احتمال وقوع سیل در آن منطقه می‌باشد (Alijani, 2000). در ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رگبار شدید، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، شرایط برای وقوع سیلاب کاملاً فراهم شده است. بیشتر مناطق ایران با قرارگیری مرکز پرفشار جنب‌حاره‌ای در ماه‌های متوالی، از ریزش‌های جوی محروم و در ماه‌های دیگر سال، ممکن است میزان قابل‌توجهی باران در مدت چند روز یا گاهی چند ساعت ریزش کرده و سیلاب‌های مخربی را به‌وجود آورد (Malekian et al., 2013). ویژگی هندسی آبخیزها در مطالعات و برآوردهای سیلاب بسیار مورد توجه است. این مشخصه در حوضه‌های فاقد آمار مهمترین نقش را در برآوردهای هیدرولوژی دارد. تنوع آبخیزهای کشور به لحاظ شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی، خاک و زمین‌شناسی و نبود ایستگاه‌های هیدرومتری، مسئله اساسی در عدم برآورد صحیح پیش‌بینی‌های سیلاب است (Chen et al., 2009).

امروزه استفاده از علوم جدید به‌ویژه سنجش‌ازدور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به برنامه‌ریزان کمک می‌نماید تا ارزیابی سریعی از پتانسیل خطرات طبیعی از جمله سیل را در حداقل زمان داشته باشند و بنابراین تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گستره سیل، پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر و برآورد

تشخیص داده شد. در پژوهش دیگر در حوضه گیلارد دماوند، به منظور ارزیابی مناطق تحت تأثیر سیلاب از روش ارزیابی چند معیاری استفاده شد. در این پژوهش ابتدا عوامل مؤثر برای وقوع سیل در منطقه بررسی شده و مهمترین آن‌ها شامل میزان بارندگی سالانه، مساحت و شیب حوضه، تراکم شبکه زهکشی، کاربری اراضی و نوع خاک استفاده و سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، این عوامل وزن دهی و در پایان برحسب وزن نهایی به دست آمده، میزان خطرپذیری دسته‌بندی شده است. نتایج نشان داد که میزان بارندگی سالانه با ۲۶/۵ درصد بیشترین و کاربری اراضی با ۳/۴ درصد کمترین تأثیر را داشته‌اند (Damavandi *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مناطق با بیشترین ظرفیت تولید رواناب و سیل در حوزه آبخیز استان مازندران تعیین شده است. بدین منظور از پارامترهای ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شدت جریان تجمعی و شدت بارش استفاده و نقشه درجه سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی در پنج دسته مختلف شامل خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم استفاده شد (Shahiri *et al.*, 2020). همچنین در مطالعه‌ای، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های هواشناسی، تحلیل سلسله مراتبی، پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز قره‌سو مدل‌سازی و نقشه نهایی خطر سیل‌خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل مؤثر و بر اساس روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) تهیه شده است که کلاس‌های خطر متفاوتی در حوزه مشخص شده است (Mohamadi *et al.*, 2020).

Al-Ghamdi و همکاران (۲۰۱۲) شهر مکه را با استفاده از آنالیزهای مکانی در GIS از نظر خطر سیل گرفتگی بر پایه دو سیل مهم سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ پهنه‌بندی کردند و نقشه پتانسیل سیلاب شهری را برای مناطق مختلف آن به دست آوردند. Elsheikh و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی عوامل مؤثر بر سیلاب در مالزی پرداخته شد و چهار فاکتور بارندگی سالیانه، شیب

خسارات وارده در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Broushkeh *et al.*, 2006).

در این راستا در تحقیقی وضعیت سیل‌خیزی دو حوزه آبخیز مجاور هم، طرقله و حصار-دهبار که در بالادست کلان‌شهر مشهد قرار دارند مورد بررسی قرار داده شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حوضه طرقله دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالاتری است که این مسئله به دلیل داشتن کاربری اراضی توسعه یافته و در نتیجه نفوذپذیری کمتر در این حوزه آبخیز نسبت به حوضه مجاور می‌باشد (Taheri *et al.*, 2014). همچنین در تحقیقی دیگر با استفاده از معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، خاک، شیب و جهت شیب به پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه سفارود به روش AHP مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج مؤثرترین عامل در پتانسیل سیل‌خیزی شیب منطقه بود (Karimi Dehbekordi & Araghi Shaebani, 2012). Rostami و Kazemi (۲۰۱۹) نیز به ارزیابی پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS پرداختند. آن‌ها عوامل شماره منحنی، ارتفاع، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، جمعیت، شیب، خاک‌شناسی، تراکم ساختمان، بافت فرسوده و تجمع جریان را به عنوان خصوصیات تأثیرگذار در خطر سیلاب شهر ایلام معرفی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق با خطر خیلی کم، ۰/۸ درصد، مناطق با خطر کم، ۸/۵ درصد، مناطق با خطر متوسط، ۴۹/۶ درصد، مناطق با خطر زیاد، ۳۲/۵۴ درصد و مناطق با خطر خیلی زیاد، ۸/۵۶ درصد از مساحت حوزه آبخیز شهر ایلام را تشکیل می‌دهند. در مطالعه‌ای دیگر عوامل مؤثر بر بروز سیلاب شهری در حوزه آبخیز شهر ایلام بررسی شد (Baghalani *et al.*, 2019). با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت عوامل مهم مدل، خصوصیات مؤثر بر بروز سیلاب در شهر ایلام را به ترتیب شامل کافی نبودن ابعاد کانال‌های شهری برای عبور حجم سیلاب، افزایش مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مناطق نفوذپذیر، شیب، مساحت، عرض معادل و ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر

گذشته به تناوب محل ورود سیل‌های فراوانی به داخل شهر بوده که سیل سال ۱۳۹۴ نمونه‌ای مخرب از آن‌ها می‌باشد. با توجه به تفاوت‌های طبیعی این دو زیرحوضه، عکس‌العمل آن‌ها در برابر بارش یکی نبوده و سیل‌خیزی آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. در این تحقیق، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی دو زیرحوضه آبخیز در بالادست شهر ایلام با استفاده از مقایسه تحلیلی عوامل مؤثر در وقوع سیلاب و تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در این دو زیرحوضه مدنظر است.

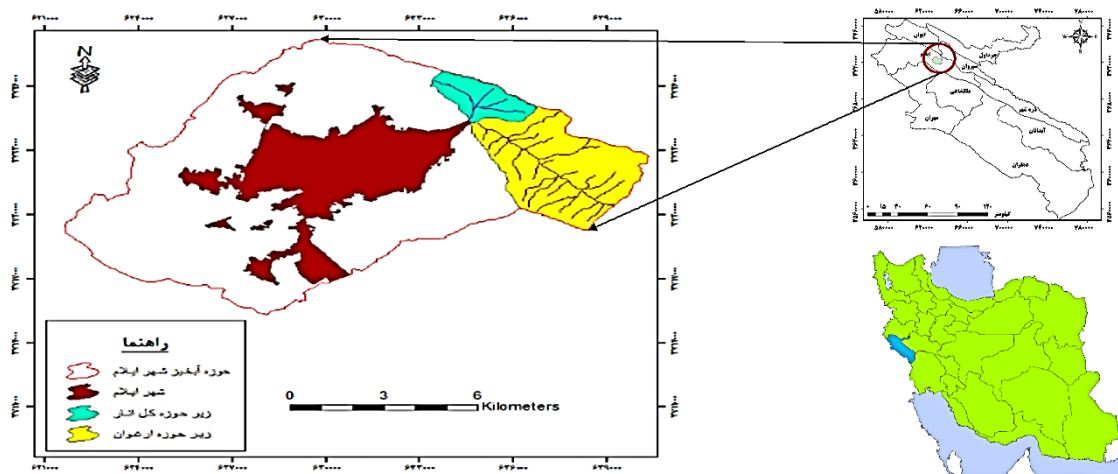
## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار از حوزه آبخیز شهر ایلام می‌باشند (شکل ۱). این دو زیرحوضه به ترتیب با مساحتی برابر ۱۸/۴ و ۴/۴۱ کیلومترمربع و موقعیت جغرافیایی بین ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی در شمال حوزه آبخیز شهر ایلام قرار دارند. طول آبراهه‌های اصلی در دو زیرحوضه کل‌انار ۲/۶۷ و ارغوان ۷/۲۳ کیلومتر و تراکم شبکه آبراهه‌ای دو زیرحوضه به ترتیب ۱/۴۸ و ۲/۲ کیلومتر در کیلومترمربع می‌باشد، حداکثر ارتفاع زیرحوضه‌ها ۲۴۶۵ متر و حداقل ارتفاع ۱۵۱۲ متر می‌باشد.

زمین، شبکه زهکشی و نوع خاک را مورد بررسی قرار گرفته دادند. نتایج حاصل از بررسی توسط GIS و AHP بیانگر این بوده است که بارندگی سالیانه با ۳۸/۷ درصد بیشترین و نوع خاک با ۱۴ درصد کمترین تأثیر را در وقوع سیلاب دارند. Zehra و Sheeba (۲۰۱۶) با ادغام GIS و AHP به تجزیه و تحلیل مناطق مستعد سیل و تهیه نقشه خطر سیلاب در پایین‌دست رودخانه سند در پاکستان پرداختند. شیب، جهت، انحنا، خاک، فاصله از شبکه فاضلاب، کاربری اراضی، بارش، جهت جریان و تجمع جریان به عنوان عوامل مؤثر در جاری شدن سیل در حوضه سند مورد بررسی قرار گرفته شد. همچنین در تحقیق دیگر به ارزیابی خطر بالقوه جاری شدن سیلاب‌های شهری و شناسایی عوامل مؤثر در کاهش خطر سیل پرداخته شده است. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر آن است که رفتار انسان با محیط، عوامل محیطی و انسداد در شبکه‌های فاضلاب شهری از عوامل تأثیرگذار هستند (Kuei-Hsien *et al.*, 2019). Ozturk و همکاران (۲۰۲۱) برای پهنه‌بندی خطر سیل در استان کوروم ترکیه از AHP مبتنی بر GIS استفاده نمودند که نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه در پنج کلاس خطر سیل (بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم) طبقه‌بندی شده است.

شهر ایلام همانند بسیاری از شهرها در خروجی دو حوضه پرشیب (ارغوان و کل‌انار) قرار گرفته است که از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

Figure 1- Geographical location of the studied subwatersheds in the country and Ilam province

۴. پوشش زمین: کاربری و نوع پوشش زمین از فاکتورهای کلیدی مؤثر بر سیل خیزی می‌باشند. در این تحقیق از معیار شاخص پوشش گیاهی NDVI برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

۵. شکل حوضه: با توجه به اهمیت شکل حوضه بر زمان تمرکز و سیل خیزی، از این پارامتر استفاده شده است. بدین ترتیب که هر چه شکل حوضه کشیده‌تر باشد، زمان تمرکز بیشتر و سیل خیزی کمتر خواهد بود که در این تحقیق برای تعیین و مشخص کردن شکل حوضه‌ها از ضریب فرم یا شکل حوضه از روش هورتون بر اساس رابطه ۱ استفاده شده است:

$$F.F. = \frac{A}{L^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن A: سطح و L: طول حوضه بوده و عبارت از طول خطی است که نقطه خروجی حوضه را با یک خط مستقیم به دورترین نقطه مرز حوضه وصل می‌کند. تراکم زهکشی نیز بر اساس رابطه ۲ محاسبه شده است:

$$\mu = \frac{\sum L_i}{A} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه،  $L_i$ : طول تمام آبراهه‌ها برحسب کیلومتر، A: مساحت برحسب کیلومتر مربع است.

در مرحله بعد، جهت وزن‌دهی پارامترها از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد که ترکیب این مدل با نرم‌افزارهای GIS ابزار قدرتمندی برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی فراهم می‌کند. مدل AHP برای تعیین وزن نهایی پارامترها، از ماتریس مقایسه و رابطه دوجه‌دو فاکتورها بهره می‌برد که این عملیات در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه گردید. کار این نرم‌افزار تعیین هدف تحقیق، مشخص نمودن پارامترهای دخیل در آن، وزن‌دهی پارامترها و در نهایت رسیدن به نتیجه (تعیین وزن هر یک از پارامترها) می‌باشد. سپس، ماتریس مقایسات زوجی پارامترهای مختلف تهیه و نتایج حاصل از نظرات اساتید و کارشناسان (از طریق پرسشنامه) در خصوص عوامل مؤثر در سیل خیزی وارد نرم‌افزار Expert Choice گردید. ضمناً با ورود جداگانه نظرات کارشناسان به نرم‌افزار، مقدار نهایی وزن هر کدام از پارامترها از طریق

در این بررسی با توجه به اهداف پژوهش، در مرحله اول، عوامل مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی و با نظر اساتید و کارشناسان و مطابق با تکنیک تحقیق تکمیل شد و نقشه هر یک از پارامترها در محیط GIS تهیه شد. با توجه به اینکه دو زیرحوضه دقیقاً در کنار هم قرار گرفته‌اند، در بسیاری از عوامل با هم شباهت داشته و این عوامل در نظر گرفته نشده‌اند. لذا به‌عنوان مثال، علی‌رغم اهمیت بارش از نظر شدت و میزان تأثیر بر سیل خیزی، چون برای دو زیرحوضه مورد مطالعه از آمار ایستگاه سینوپتیک ایلام که در داخل حوضه اصلی قرار گرفته، استفاده شده است، بنابراین تفاوتی وجود نداشته و از لیست عوامل مؤثر حذف شده است. برای سایر عوامل هم به همین ترتیب در صورت تطابق کامل، در نظر گرفته نشده و از محاسبات حذف شده‌اند.

۱. شیب: عامل شیب یکی از پارامترهای مهم در هیدرولوژی است. شیب حوضه رابطه مستقیم و پیچیده‌ای با مقدار نفوذپذیری، جریان سطحی و رطوبت خاک داشته و نقش زیادی در ایجاد سیلاب در حوضه‌ها ایفا می‌کند. در این تحقیق نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی منطقه، مستخرج از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده است.

۲. زمین‌شناسی: واحدهای زمین‌شناسی حوضه مورد مطالعه شامل سازندهای آسماری، پابده، گچساران و پادگانه‌های آبرفتی جوان کواترن می‌باشد. برای بررسی تأثیر عامل زمین‌شناسی، نقشه سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه به‌صورت رقومی درآمدند.

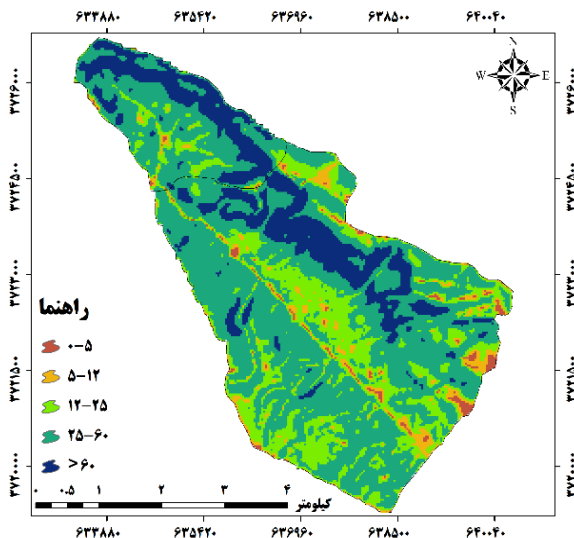
۳. گروه‌های هیدرولوژیکی خاک: با توجه به اهمیت خاک از نظر بافت و ساختمان و سایر خصوصیات، در این مطالعه از گروه‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان شاخصی از خاک‌شناسی استفاده شده است. لذا پارامتر گروه‌های هیدرولوژیکی بر اساس نقشه بافت خاک و طبق استاندارد برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شده است.

ویژه زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار، در نهایت زیرحوضه‌ای که دارای دبی ویژه بیشتری باشد، به‌عنوان حوضه سیل‌خیز معرفی شده است.

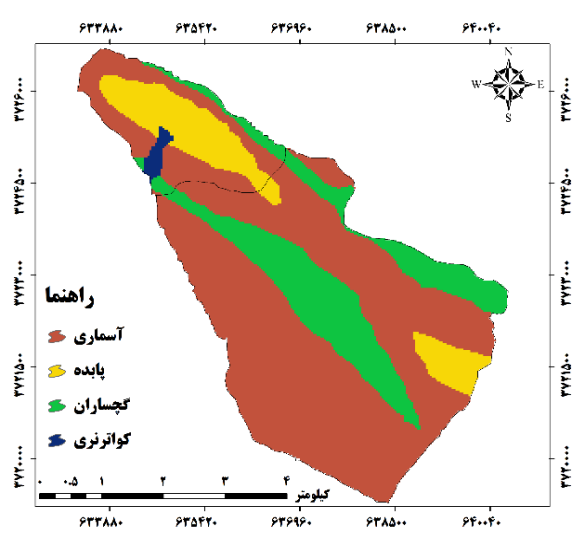
### نتایج

نقشه‌های اولیه مورد استفاده به‌منظور پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است. تراکم زهکشی به‌طور مؤثری به لیتولوژی، شیب و شرایط اقلیمی مربوط می‌شود و نقش اساسی در زمان تمرکز و اوج سیلاب در هر حوضه‌ای دارد. در این راستا زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار به ترتیب دارای تراکم زهکشی ۲/۲ و ۱/۴۸ کیلومتر در کیلومترمربع بوده‌اند و همچنین ضریب شکل آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۵ و ۰/۹ محاسبه شده است که این موضوع نشان دهنده این است که زیرحوضه کل‌انار با شکلی نزدیک به گرد دارای زمان تمرکز کمتر و در نتیجه پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری است.

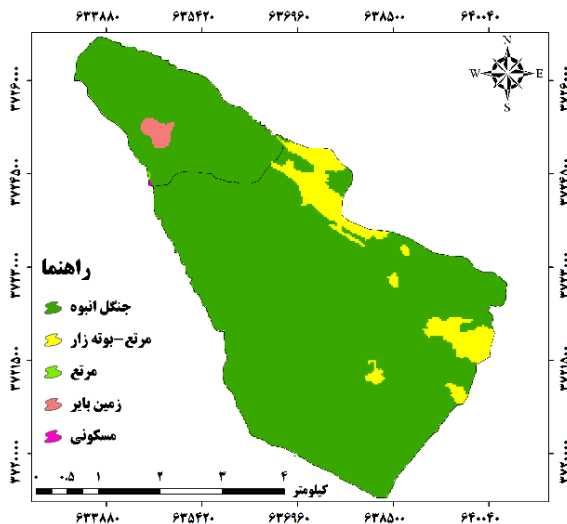
میانگین حسابی نیز محاسبه گردید. سپس برای هر ماتریس، نرخ ناسازگاری (I.R.) که معیار مناسبی برای قضاوت در مورد آن می‌باشد، محاسبه گردید. چنانچه این عدد کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری سیستم قابل قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر شود. در نهایت وزن نهایی هر پارامتر بر اساس جداول استاندارد و مدل‌ها مشخص و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS با تلفیق نقشه‌های وزن‌دهی شده پارامترها، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی هر دو زیرحوضه به‌دست آمد که شامل پهنه‌هایی با احتمال سیل‌خیزی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد و سرانجام دبی ویژه هر یک از زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار برای مشخص شدن میزان سیل‌خیزی در زیرحوضه‌ها بر اساس روش فولر محاسبه گردید. دبی ویژه یا مخصوص، میزان دبی ناشی از واحد سطح است که برحسب مترمکعب بر ثانیه بر کیلومترمربع بیان می‌گردد. این عامل امکان مقایسه دو ناحیه را از نظر میزان آبدهی فراهم می‌نماید، بنابراین با محاسبه دبی



شکل ۳- نقشه شیب زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار  
Figure 3- Slope map of Arghavan and Kal-Anar subwatersheds



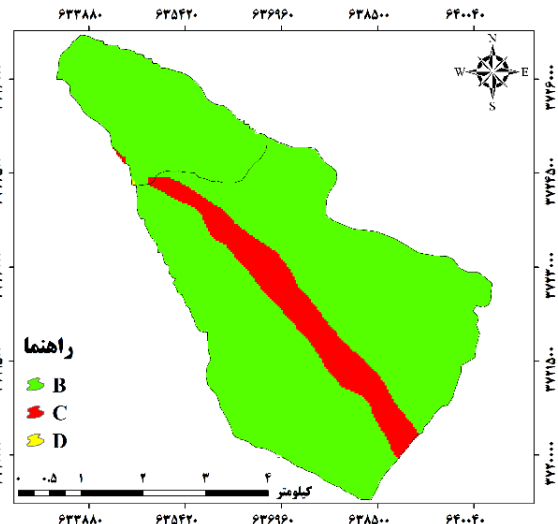
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار  
Figure 2- Geological map of the Arghavan and Kal-Anar subwatersheds



شکل ۵- نقشه پوشش گیاهی زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار

Figure 5- Vegetation map below the Arghavan and Kal-Anar subwatersheds

۰/۱ بوده و میزان سازگاری مورد قبول است. پس از مشخص شدن میزان سازگاری پرسش‌نامه‌ها و تلفیق همه پرسش‌نامه‌ها با استفاده از میانگین حسابی، در نهایت ماتریس همبستگی بین عوامل مؤثر ایجاد شده است.



شکل ۴- نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار

Figure 4- Map of hydrological groups of Arghavan and Kal-Anar subwatersheds

ماتریس مقایسات زوجی پارامترهای مختلف در نرم‌افزار Expert Choice بر اساس نظرات اساتید و کارشناسان مرتبط تنظیم و نتایج حاصل از آن در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به محاسبات انجام شده، نرخ ناسازگاری پرسش‌نامه‌های تکمیل شده، کمتر از

جدول ۱- ماتریس همبستگی بین پارامترهای مؤثر بر اساس نظرسنجی کارشناسان

Table 1- Correlation matrix between effective parameters based on expert opinion polls

پارامترها parameters	شکل حوضه‌ها Shape of watersheds	تراکم زهکشی Drainage density	گروه‌های هیدرولوژیکی Hydrological groups	زمین‌شناسی Geology	پوشش گیاهی Vegetation	شیب Slope
شیب Slope	3.3	2.6	2.1	3.1	1.1	1
پوشش گیاهی Vegetation	3.0	2.5	1.8	2.8	1	
زمین‌شناسی Geology	1.9	1.4	1.2	1		
گروه‌های هیدرولوژیکی Hydrological groups	2.0	2.4	1			
تراکم زهکشی Drainage density	1.7	1				
شکل حوضه‌ها Shape of watersheds	1					

choice شد که وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت

در مرحله بعد و پس از مشخص شدن وزن هر کدام از پارامترها، مقادیر به‌دست آمده وارد نرم‌افزار Expert

پتانسیل سیل خیزی شیب با وزن  $0/293$  بیشترین تأثیر را در پتانسیل سیل خیزی و شکل حوزه‌ها با وزن  $0/072$  کمترین تأثیر را داشته است.

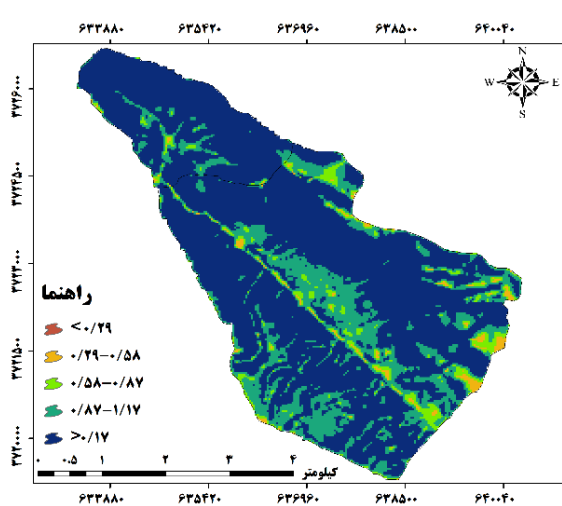
شکل‌های ۶ تا ۱۱ نقشه‌های وزن‌دهی شده جهت پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

معیارها در وزن گزینه‌ها به‌دست آمده است. در این تحقیق پس از ورود اطلاعات، نرم‌افزار با مقایسه زوجی داده‌های ورودی، وزن نهایی پارامترهای دخیل در پتانسیل سیل خیزی محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار Expert choice از بین پارامترهای مؤثر در

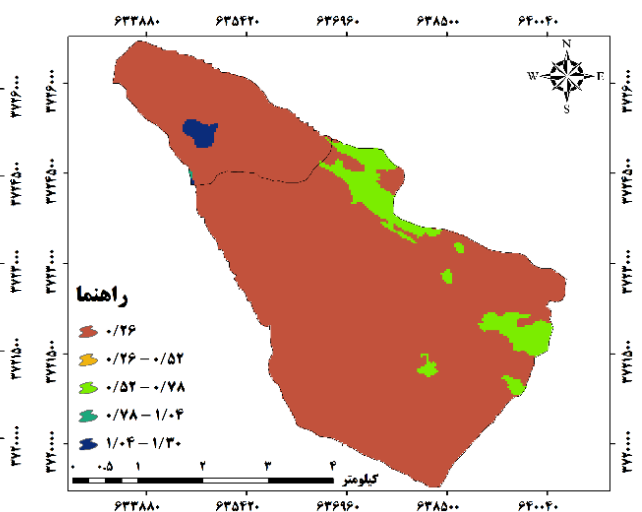
جدول ۲- وزن نهایی پارامترهای مؤثر در پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار

Table 2- Final weight of effective parameters in flooding potential of Arghavan and Kal-Anar subwatersheds

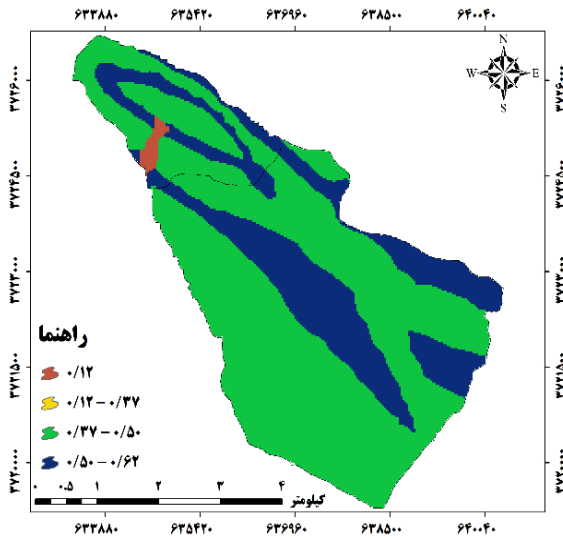
پارامترها parameters	شیب Slope	پوشش گیاهی Vegetation	زمین‌شناسی Geology	گروه‌های هیدرولوژیکی Hydrological groups	تراکم زهکشی Drainage density	شکل حوضه‌ها Shape of watersheds	وزن نهایی Final weight
شیب Slope	1	1.1	3.1	2.1	2.6	3.3	0.293
پوشش گیاهی Vegetation		1	2.8	1.8	2.5	3.0	0.260
زمین‌شناسی Geology			1	1.2	1.4	1.9	0.126
گروه‌های هیدرولوژیکی Hydrological groups				1	2.4	2.0	0.150
تراکم زهکشی Drainage density					1	1.7	0.096
شکل حوضه‌ها Shape of watersheds						1	0.072



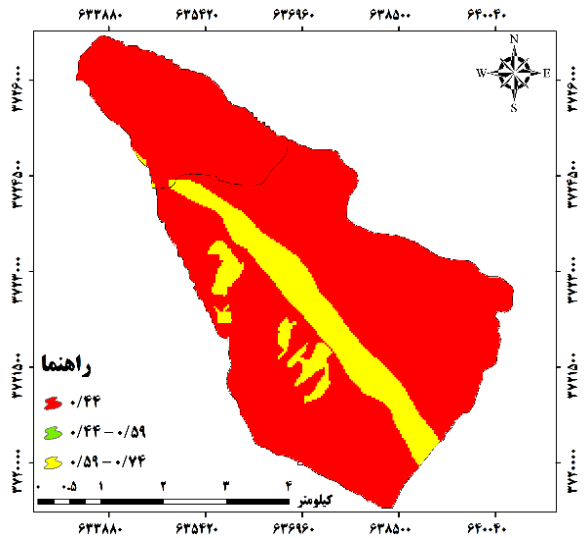
شکل ۷- نقشه وزن‌دهی شده شیب  
Figure 7- Weighted slope map



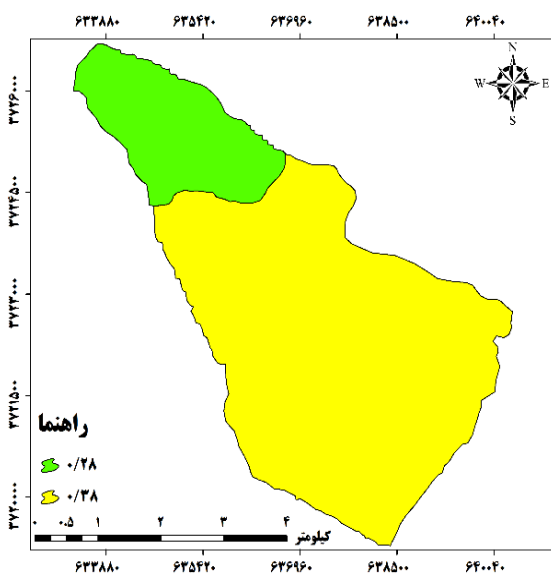
شکل ۶- نقشه وزن‌دهی شده پوشش گیاهی  
Figure 6- Weighted map of vegetation



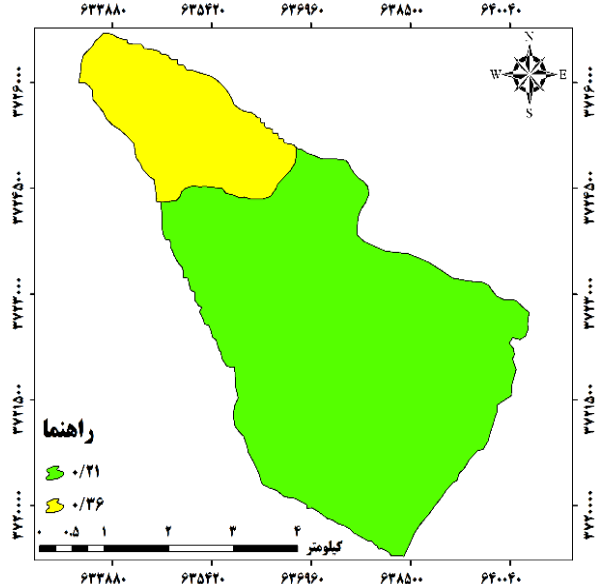
شکل ۹- نقشه وزن دهی شده زمین شناسی  
Figure 9- Weighted geological map



شکل ۸- نقشه وزن دهی شده گروه‌های هیدرولوژیکی  
Figure 8- Weighted map of hydrological groups



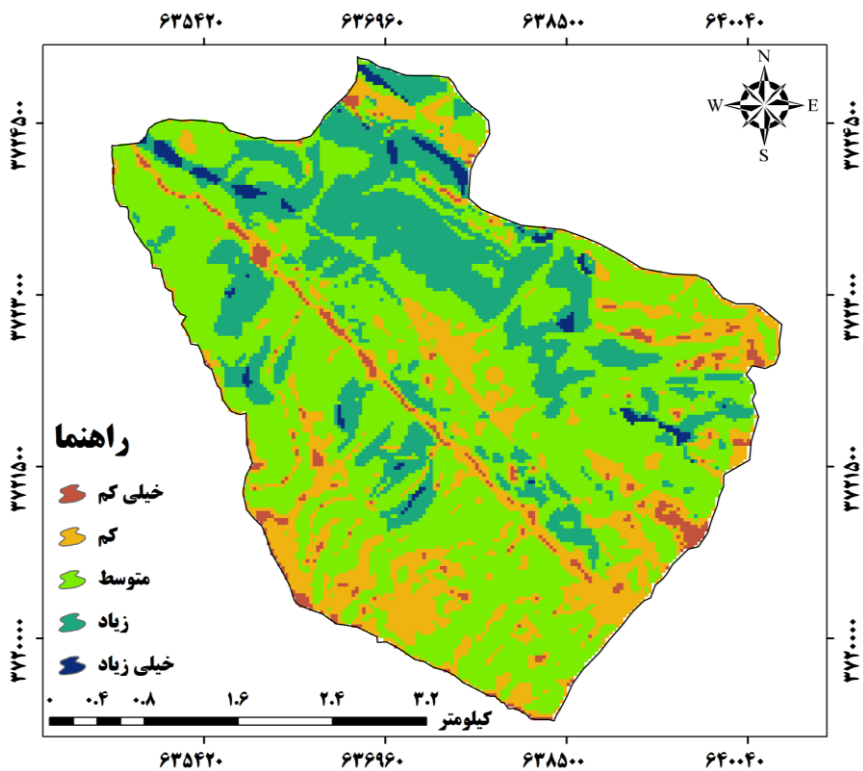
شکل ۱۱- نقشه وزن دهی شده تراکم زهکشی  
Figure 11- Weighted map of drainage density



شکل ۱۰- نقشه وزن دهی شده شکل حوضه‌ها  
Figure 10- Weighted map of watersheds

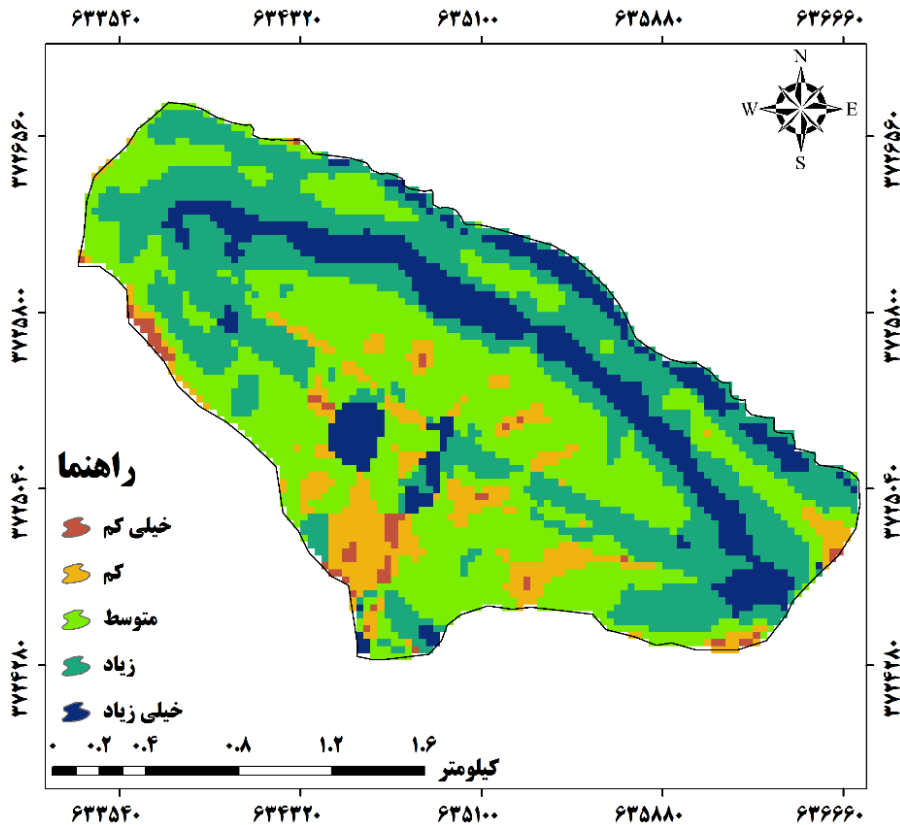
حوضه‌ها تهیه شد. شکل ۱۲ نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه ارغوان و شکل ۱۳ نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه کل انار را نشان می‌دهد.

در مرحله آخر، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌های ارغوان و کل انار با تلفیق لایه‌های مختلف و اعمال وزن هر کدام و همچنین با دخالت رتبه‌بندی آبراهه‌ها و ضریب شکل



شکل ۱۲- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه ارغوان

Figure 12- Flood potential zoning map of Arghavan subwatersheds

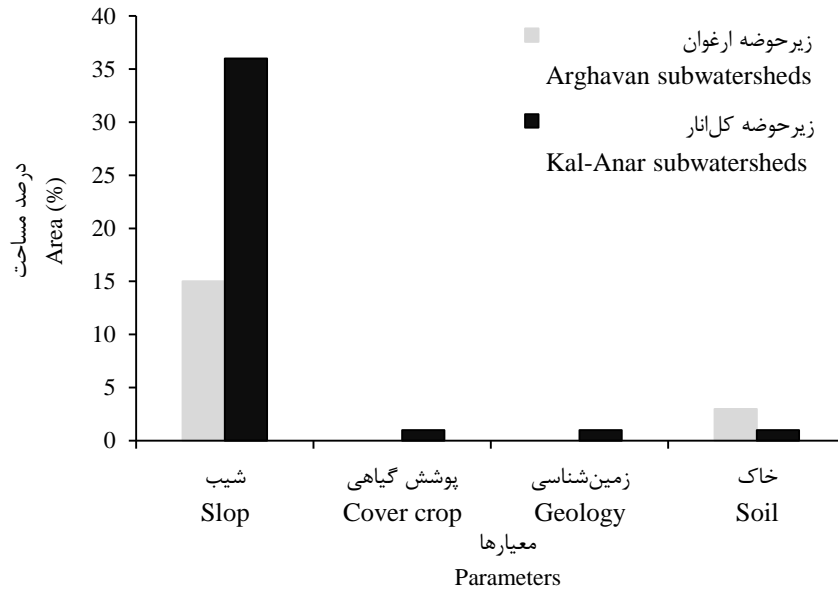


شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه کل‌انار

Figure 13- Flood potential zoning map of Kal-Anar subwatersheds

خیلی زیاد است، عموماً شامل شیب‌های بالای ۶۰ درصد، پهنه‌هایی پوشیده از سازندهای با نفوذپذیری خیلی کم، سطوح عاری از پوشش گیاهی (مناطق مسکونی) و سطوح فاقد پوشش خاکی می‌باشد. شکل ۱۴ درصد پهنه‌های سیل خیز با وقوع خیلی زیاد در سطح زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار را نشان می‌دهد.

زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار از لحاظ عوامل مورد بررسی (شیب، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، تراکم زهکشی و شکل حوضه)، به پهنه‌هایی با احتمال سیل خیزی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد پهنه‌بندی شده که دارای ویژگی‌هایی می‌باشند: پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها

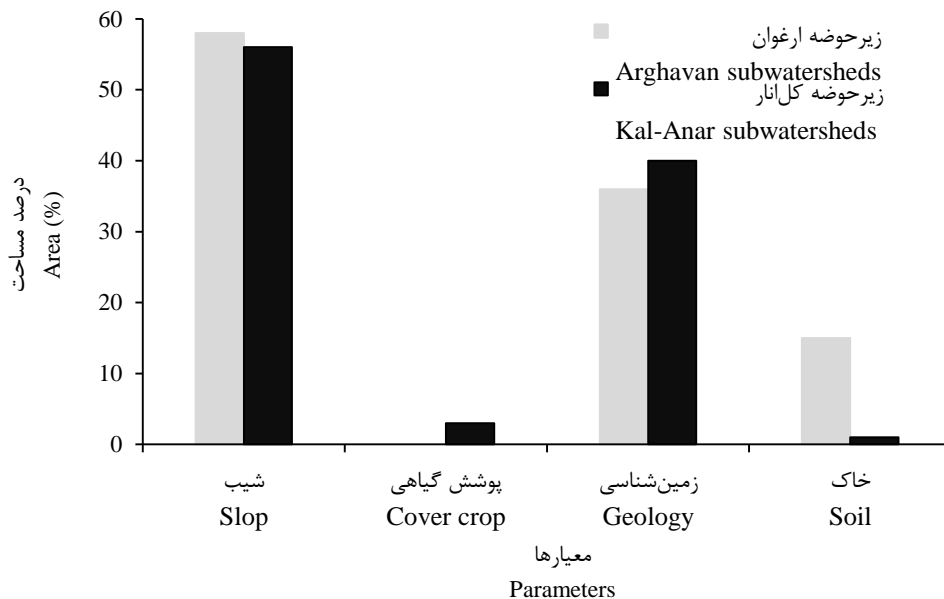


شکل ۱۴- سهم عوامل مؤثر در سیل خیزی در کلاس خیلی زیاد

Figure 14- The share of factors influencing with very high flooding class

گیاهی (زمین بایر) و خاک دارای نفوذپذیری کم می‌باشد. شکل ۱۵ درصد پهنه‌های سیل خیز با وقوع زیاد در سطح زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار را نشان می‌دهد.

پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها زیاد است، شامل شیب‌های ۶۰-۲۵ درصد، پهنه‌هایی پوشیده از سازندهای با نفوذپذیری کم، سطح لخت و بدون پوشش

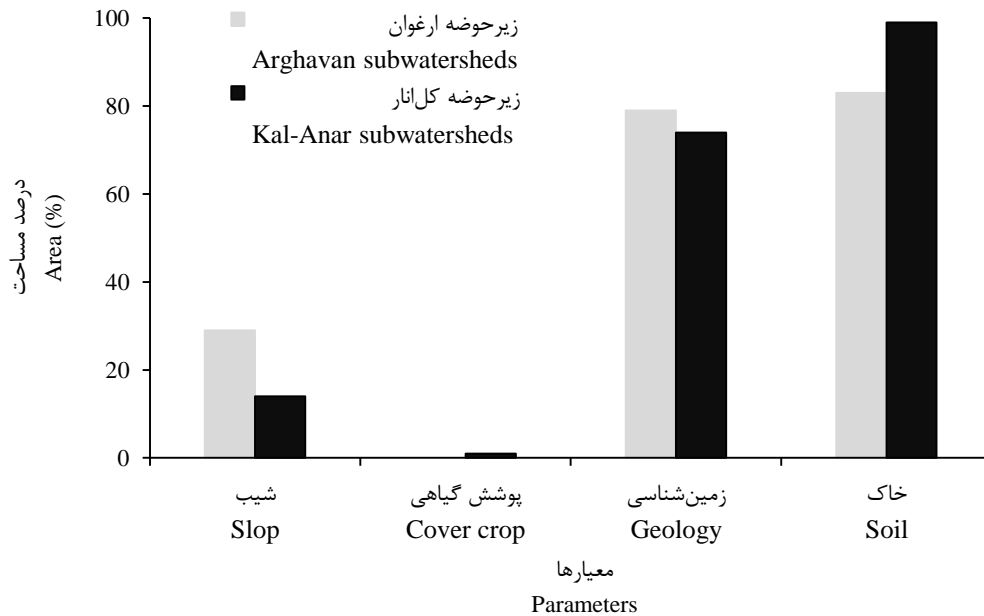


شکل ۱۵- سهم عوامل مؤثر در سیل خیزی در کلاس وقوع زیاد

Figure 15- The share of factors influencing with high flooding class

گیاهی متوسط (مرتع) و خاک دارای نفوذپذیری متوسط می‌باشد. شکل ۱۶ درصد پهنه‌های سیل‌خیز با وقوع متوسط در زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار را نشان می‌دهد.

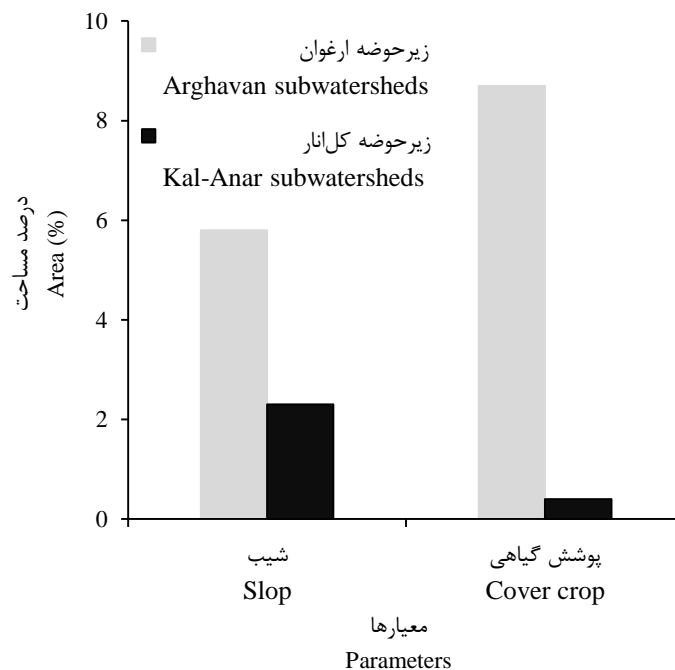
از طرفی دیگر، پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها متوسط است، عموماً شامل شیب‌های ۱۲-۲۵ درصد، پهنه‌هایی پوشیده از سنگ‌های با نفوذپذیری متوسط، سطح دارای پوشش



شکل ۱۶- سهم عوامل مؤثر در سیل‌خیزی در کلاس وقوع متوسط  
Figure 16- The share of factors influencing with moderate flooding class

می‌باشد. شکل ۱۷ درصد پهنه‌های سیل‌خیز با وقوع کم در سطح زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار را نشان می‌دهد.

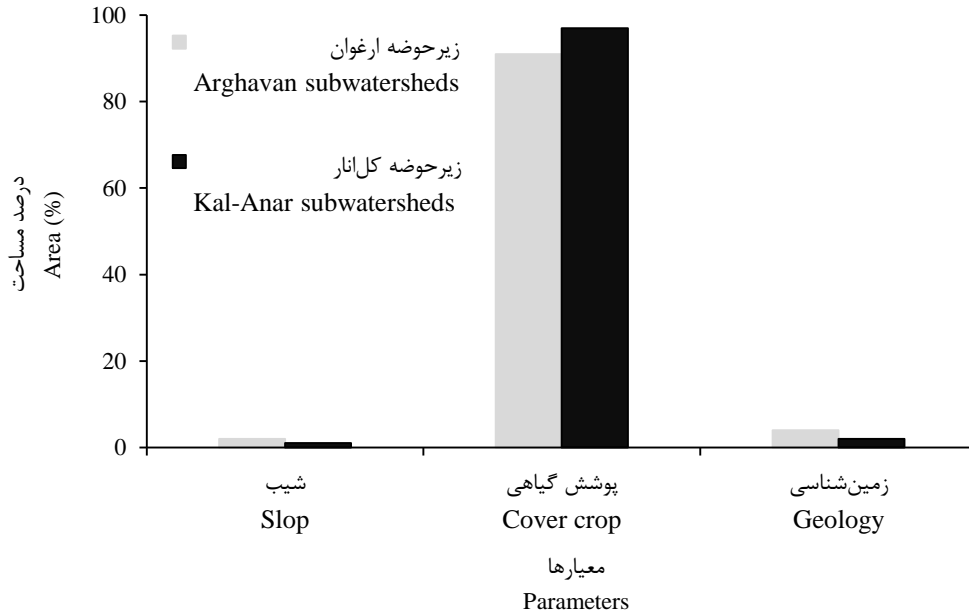
از طرف دیگر، پهنه‌هایی که احتمال وقوع سیل در آن‌ها کم است، شامل شیب‌های ۵-۱۲ درصد و سطوح دارای پوشش گیاهی نسبتاً زیاد (مرتع- بوته‌زار)



شکل ۱۷- سهم عوامل مؤثر در سیل‌خیزی در کلاس وقوع کم  
Figure 17- The share of factors influencing with low flooding class

پوشش گیاهی زیاد (جنگل انبوه) می‌باشند. شکل ۱۸ درصد پهنه‌های سیل خیز با وقوع خیلی کم در سطح زیرحوضه‌های ارغوان و کل‌انار را نشان می‌دهد.

پهنه‌هایی با احتمال سیل خیزی خیلی کم نیز، عموماً شامل شیب‌های ۵-۰ درصد، پهنه‌هایی پوشیده از سنگ‌های با نفوذپذیری خیلی زیاد و سطح دارای



شکل ۱۸- سهم عوامل مؤثر در سیل خیزی در کلاس وقوع خیلی کم  
Figure 18- The share of factors influencing with very low flooding class

شدت سیل خیزی آن‌ها بوده است. در این تحقیق این فرضیه آزمون شده تا نتایج آن چراغ راه مدیران اجرایی باشد.

نقشه نهایی پهنه‌بندی وقوع سیل در این زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که می‌توان منطقه را از نظر سیل خیزی به پنج پهنه خطر وقوع سیل یعنی پهنه‌هایی با احتمال وقوع خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تفکیک نمود. با توجه به نقشه پهنه‌بندی وقوع سیل، می‌توان گفت که پهنه‌هایی با کلاس سیل خیزی خیلی زیاد، در زیرحوضه ارغوان ۱/۴۵ درصد (عمدتاً واقع شده در شمال حوضه) و زیرحوضه کل‌انار ۱۴/۷۷ درصد (عمدتاً واقع شده در شمال شرق حوضه)، پهنه‌هایی با کلاس سیل خیزی زیاد، در زیرحوضه ارغوان ۱۸/۱۱ درصد (عمدتاً واقع شده در شمال و شمال غرب حوضه) و زیرحوضه کل‌انار ۳۵ درصد از مساحت (عمدتاً واقع شده در دامنه‌های شمال، شمال شرق و جنوب شرق حوضه)، پهنه‌هایی با کلاس سیل خیزی متوسط، در زیرحوضه

برای مقایسه میزان سیل خیزی زیرحوضه‌ها، از مقایسه میزان دبی ویژه زیرحوضه‌ها استفاده شده است که نتیجه آن به صورت روابط ۳ و ۴ به دست آمده است:

رابطه (۳)

$$= \frac{5.5}{18.4} = 0.29 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$$

رابطه (۴)

$$= \frac{2.3}{4.41} = 0.52 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$$

با توجه به محاسبات انجام شده، زیرحوضه کل‌انار دارای دبی ویژه بیشتری نسبت به زیرحوضه ارغوان است که در نتیجه زیرحوضه کل‌انار دارای آبدهی بیشتر و به تبع آن دارای سیل خیزی بیشتری نسبت به زیرحوضه ارغوان می‌باشد.

### بحث

قرار گرفتن دو زیرحوضه ارغوان و کل‌انار با شیب تند و سیل خیز در بالادست شهر ایلام، انگیزه انجام این تحقیق بوده است. بررسی‌های اولیه نشان‌دهنده تفاوت‌هایی در



- growth and flood hazards: a case study of mecca city, Saudi Arabia*. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage, Rome, Italy, 6-10 may.
- Alijani, B. (2000). *Iranian Climate*. Payame Noor Publications. (In Persian)
  - Baghalani, M., Rostami, N. & Tavakoli, M. (2019). Identification of factors affecting urban flood in Ilam City Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(2), 523-536. Doi: 10.22092/ijwmse.2018.120069.1417. (In Persian)
  - Broushkeh, A., Sokoti, R., Montaseri, M. & Qahramani, A. (2006). *Investigating the phenomenon of flooding and its zoning using satellite images*. 7th International River Engineering Seminar. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
  - Chen, J., Hill, A., Urben, A. D. & Lency, L. (2009). AGIS-based model for urban flood ideation. *Journal of Hydrology*, 373, 184-192. Doi: 10.3390/w13111483.
  - Damavandi, A., Rezaie, F., Panahi, M. & Shirazi, M. (2011). *Flood vulnerable areas mapping using analytical hierarchy process and GIS in Gilard Basin of Damavand*. The First conference of Drought and Climate Change, Karaj, Iran. (In Persian)
  - Elsheikh, R., Ouerghi, S. & Elhag, A. (2015). Flood risk map based on GIS, and multi criteria techniques (case study Terengganu Malaysia). *Journal of Geographic information system*, 7, 348-357. Doi: 10.4236/jgis.2015.74027.
  - Karimi Dehbekordi, S. & Araghi Shaebani, A. (2012). *Flood hazard zoning of Shafaroud catchment in Rezvanshahr County*. 4<sup>th</sup> geographic student scientific conference, Tehran. (In Persian)
  - Kuei-Hsien, L., Hui, j. & Yin-Ling, H. (2019). Environmental justice and flood prevention: The moral cost of floodwater redistribution. *Landscape and Urban Planning*, 189, 36-45.
  - Malekian, A., Oftadegan Khuzani, A. & Ashurnejad, Q. (2013). Flood Hazard Zoning in Watershed Scale using Fuzzy Logic (Case study: Akhtar Abad Watershed). *Physical Geography Research*, 22, 131-152. Doi: 10.22059/jphgr.2012.30246. (In Persian)
  - Mohamadi, G., Barta, R. & Asadian, F. (2020). Flood potential analysis in Gharehso basin in Kermanshah province. *Geography and Environmental Hazards*, 36, 1-33. Doi: 10.22067/geoeh.2021.66986.0. (In Persian)
  - Niknajad, D. & Alizadeh, A. (2006). *Study of flood and its control in two sub-basins leading to Urmia Lake*. Flood coexistence technical workshop. (In Persian)
  - Ozturk, D., Yilmaz, I. & Kirbas, U. (2021). Flood hazard assessment using AHP in Corum, Turkey. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, 12(2), 1-26.
  - Rostami, N. & Kazemi, Y. (2019). Flood hazard zoning in the Ilam city using AHP and GIS. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(1), 179-192. (In Persian)
  - Sani, Y. (2008). *Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are river basin, Nigeria*. ASPRS 2008 Annual Conference. Portland, Oregon. April 28 - May 2.
  - Shahiri Tabarestani, E. & Zokaei, M. (2020). Assessment of flood hazard using analytic hierarchy process method (AHP) in Mazandaran Province, Iran. *Environmental Water Engineering*, 6(4), 331-344. Doi: 10.22034/jewe.2020.235593.1370. (In Persian)
  - Taheri, M., Ghasemieh, H. & Dastorani, M. T. (2014). *Flood analysis of upstream urban watersheds (Case study: Torqabeh and Hesar-Dehbar watersheds)*. National Conference on Water, Human and Earth. (In Persian)
  - Zehra, S. & Sheeba, A. (2016). Flood hazard mapping of lower Indus basin using multi-criteria analysis. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4, 54-62. Doi: 10.7275/R53J3B5H.