

Flood vulnerability zoning based on remote sensing indices and decision making techniques (Case study: Rakat basin of Khuzestan)

Parviz Pavandmehr¹, Amin Zoratipour^{2*}, Mohammad Moazami³, Mitra Cheraghi⁴

¹ Former M.Sc. Student, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

² Associate Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

³ Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

Extended Abstract

Introduction

The expansion of cities in the margins of rivers, alluvial cones, low-altitude coasts, deltas, and downstream areas of storage dams has led to an increase in the vulnerability of watersheds to the risk of flooding. This study was carried out with the aim of flood risk zoning and prioritization of flood-prone areas using multi-criteria decision-making techniques and remote sensing indices using the Fuzzy AHP and VIKOR models in the Rakat Khuzestan watershed. One of the solutions used to identify flood risk and prepare maps of its sensitivity is the use of bivariate and multivariate statistical models, data mining, and machine learning. But since many of these models require a lot of data and their calibration is complex, in recent years, many models have been tested to prepare a flood susceptibility map, among which, the combination of statistical models and decision-making with remote sensing techniques and geographic information systems has been of great interest to researchers due to increased ability of the model in forecasting. The difference between this study and the studies carried out so far is that in this study, for the first time, multi-criteria decision making techniques and remote sensing indicators are used in the zoning of flood risk in the watershed simultaneously in the watershed. Mountainous and flowing Rakat areas will be used in Khuzestan province, and their efficiency will be measured.

Materials and Methods

After making the necessary corrections to the Sentinel 2 satellite images of the region, vegetation indices (EVI, NDVI, and SAVI), vegetation density, and land use of the region were extracted. Then, by using two multi-criteria decision-making techniques (FAHP and VIKOR), the weighting of indicators and the prioritization of sub-basin flooding were carried out. Finally, after extracting the topography, elevation, soil, and geological maps and producing 15 morphometric indicators effective in the flooding situation of the basin, using two multi-criteria decision-making techniques, FAHP and VIKOR, the weighting of the indicators and the prioritization of the flood proneness of the basin were carried out. In order to validate and evaluate the multi-criteria decision-making models, in the future, with a field survey, the use of remote sensing indicators such as NDVI and MNDVI, twenty-five points, flood-prone areas of the basin were randomly selected and placed, and the output of the multi-criteria decision-making models FAHP and VIKOR were validated with these points.

Results and Discussion

It was concluded that among all the indicators, the runoff curve number index, vegetation cover and land use, and distance from the stream have a total contribution of about 50% contribution in basin flooding. Also, slope direction and the rainfall index (due to the uniformity of the index within the basin) were found to have the least effect (total less than 5%) among the investigated parameters. It can be said that due to the combination of land use and soil maps, vegetation and rainfall of the basin, as well as the simultaneous effect of land use and soil hydrological group on the flood potential of the basin, it can be a more effective indicator in determining the flood zoning of the basin. The results obtained are consistent with prior research. Another influential parameter in the flooding of the Rakat basin is vegetation and land use (19 percent). The vegetation cover of the area includes agricultural lands, medium pastures, oak forest, and high-quality pastures from highest to lowest importance, respectively. The distance from the stream (15 percent) is ranked next. The shorter the distance from the stream, the higher the likelihood of flood occurrence in this area. The results of EVI, NDVI, and SAVI spectral indices in

the two methods showed that the EVI index has an overestimation, and vice versa, the SAVI index has an underestimation, but the NDVI index has shown more accurate results in the study area.

Conclusion

This study was carried out with the aim of flood risk zoning and prioritization of sub-basins using multi-criteria decision making techniques, fuzzy AHP, and Vikor, each using three vegetation indicators in the Rakat Khuzestan watershed. In addition, 15 different indicators affecting the flood risk of the basin were examined and evaluated in the decision-making models. Accuracy assessment of the two methods (Fuzzy AHP and VIKOR) using EVI, NDVI and SAVI spectral indices shows that in both methods, the NDVI index with a Kappa coefficient above 0.85 is the best vegetation index for zoning flood-prone areas of the basin. Also, the comparison between the two methods shows that the fuzzy AHP model provided more accurate results than the Vikor model and had the most agreement with the field observations. Therefore, the fuzzy AHP decision-making model using the NDVI index is suggested as the optimal model in this area.

Keywords: Flooding, Vegetation indices, Fuzzy AHP, Vikor, Rakat Khuzestan.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khuzestan for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Parviz Pavandmehr: Visualization, data sampling.

Amin Zoratipour: Writing original draft preparation, Software's analysis and investigation, and Supervision.

Mohammad Moazami: Resources, Software, Manuscript editing.

Mitra Cheraghi: Formal analysis and investigation, Conceptualization, methodology.

*Corresponding Author, E-mail: zoratipour@asnrukh.ac.ir

Citation: Pavandmehr, P., Zoratipour, A., Moazami, M., & Cheraghi, M. (2025). Flood vulnerability zoning based on remote sensing indices and decision making techniques (Case study: Rakat basin of Khuzestan). *Water and Soil Management and Modeling*, 5(2),234 -250.
doi:10.22098/mmws.2024.15911.1501

Received: 29 September 2024., Received in revised form: 18 November 2024, Accepted: 18 November 2024,
Published online: 22 June 2025

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 2, pp. 234-250.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili© Author(s)





پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیل حوضه مبتنی بر شاخص‌های سنجش از دوری و تکنیک‌های تصمیم‌گیری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رکعت خوزستان)

پرویز پاوندمهر^۱، امین ذرتی‌پور^{۲*}، محمد معظمی^۳، میترا چراغی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، خوزستان، ایران

^۲ دانشیار، گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، خوزستان، ایران

^۳ استادیار، گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، خوزستان، ایران

^۴ دانشیار، گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، خوزستان، ایران

چکیده

گسترش شهرها در حاشیه رودخانه‌ها، مناطق پایین دست مخروط افکنه‌ها، مصب دلتاها و پایین‌دست سدهای ذخیره‌ای، منجر به افزایش میزان آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز در برابر خطر سیل شده است. این مطالعه با هدف، پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی و اولویت‌بندی مناطق مستعد سیل با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و شاخص‌های سنجش از دور با استفاده از دو مدل AHP فازی و ویکور در حوزه آبخیز رکعت خوزستان اجرا شد. شاخص‌های مورد استفاده شامل درصد شیب، جهت شیب، تراکم زهکشی، طول جریان آبراهه، فاصله از آبراهه، عامل شکل حوزه، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص شماره منحنی، مقدار بارندگی، گروه هیدرولوژیکی خاک، تغییرات ارتفاعی، شاخص توان آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص‌های سنجش از دور پوشش گیاهی بوده است. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد از بین ۱۵ عامل مذکور، پوشش گیاهی با ۱۹ درصد و شماره منحنی رواناب و فاصله از آبراهه هر کدام با ۱۵ درصد، بیش‌ترین تأثیر را در بین عوامل مورد بررسی در سیل‌خیزی حوضه داشته‌اند. همچنین، نتایج ارزیابی دقت نشان داد که از میان شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در هر دو مدل، شاخص NDVI نسبت به دو شاخص EVI و SAVI از دقت بالاتری برخوردار بوده است. در نهایت ارزیابی دقت نقشه‌های خطر سیل حوزه آبخیز رکعت با دو مدل ویکور و AHP فازی نشان می‌دهد که مدل AHP فازی با شاخص NDVI، با دقت کلی ۰/۹۳ و ضریب کاپای ۰/۸۹ نسبت به مدل ویکور بیش‌ترین تطابق را با مشاهدات زمینی نشان می‌دهد و به‌عنوان مدل بهینه تعیین نقشه مناطق سیل‌خیز در منطقه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیل‌خیزی، شاخص پوشش گیاهی، AHP فازی، ویکور، رکعت خوزستان.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zoratipour@asnruk.ac.ir

استناد: ذرتی‌پور، امین، معظمی، محمد، چراغی، میترا، و پاوندمهر، پرویز (۱۴۰۴) پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیل حوضه مبتنی بر شاخص‌های سنجش از دوری و تکنیک‌های تصمیم‌گیری (مطالعه موردی: حوزه رکعت خوزستان). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۲)، ۲۳۴-۲۵۰.

doi:10.22098/mmws.2024.15911.1501

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۲۳۴ تا ۲۵۰.

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی © نویسندگان



۱- مقدمه

در دهه اخیر با گسترش شهرها در حاشیه رودخانه‌ها، روی پایین دست مخروط افکنه‌ها، دلتاها و پایین دست سدهای ذخیره‌ای، منجر به افزایش میزان آسیب پذیری اراضی پایین دست در برابر خطر سیلاب شده است (Badri et al., 2016). از مهم ترین علل این امر، اختلال در بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی حوضه‌ها در برابر پدیده سیل می باشد. در واقع با برهم خوردن توازن پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز، رودخانه توانایی انتقال رواناب تولید شده در حوضه را نداشته؛ از این رو شرایطی پیش می آید که آب به زمین های پایین دست سرازیر می شود، از آن جایی که هر قسمتی از حوضه پتانسیل معینی در تولید رواناب داشته و بنابراین، سیل رخ می دهد (Nouri et al., 2019)، لذا برای مقابله با این شرایط تهیه نقشه های حساسیت به وقوع سیل و شناسایی مناطق مستعد، برای پیشگیری و مدیریت سیلاب بسیار مهم است (Tincu et al., 2018). در دهه های اخیر روش های جدیدی به منظور شناسایی خطر سیلاب حوضه ها و تهیه نقشه های حساسیت به وقوع آن به کار گرفته می شود، از قبیل استفاده از مدل های آماری چندمتغیره، داده کاوی، روش جنگل تصادفی و روش یادگیری ماشین است. اما لازم به ذکر است که استفاده از این مدل ها نیازمند کالیبراسیون پیچیده و داده اولیه بالایی هستند، از این رو در سال های اخیر مدل های زیادی برای تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل آزمایش شده اند. در این میان، ترکیب مدل های آماری و تصمیم گیری با تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل بالا بردن توانایی مدل در پیش بینی، بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده است. به طوری که Singh et al., (2024) در مطالعه خود به ارزیابی آسیب پذیری و پهنه بندی ساختمان ها و ابنیه ها در محدوده های سیلابی شهر دیکات فلیپین، با استفاده از روش های تصمیم گیری AHP و TOPSIS پرداختند. هدف پژوهش شناسایی ساختمان های آسیب پذیر جهت آگاهی بخشی به برنامه ریزان شهری و آمادگی در برابر بلایای طبیعی در مناطق مستعد سیل، انجام گرفت. بر اساس نتایج بررسی های میدانی از ارزیابی ۵۵۵ حوزه آبخیز شهری مشخص شد با روش AHP، حدود ۹۳ درصد اراضی را به عنوان خطر متوسط تا بسیار بالا طبقه بندی کرد، در حالی که روش TOPSIS نزدیک ۶۸ درصد اراضی را مستعد خطر سیلاب برآورد نمود. (Dutta and Deka, 2024)، در مطالعه خود ۱۶ عامل چندخطی در مدل تصمیم گیری چندمعیاره-تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر GIS با روش (MCDM-AHP)، به منظور شناسایی مناطق بالقوه خطر سیل و مناطق آسیب پذیر

سیل که در صورت ادغام، مناطق خطر سیلاب نهایی (FRZ) را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بیش از ۲۸ درصد از مساحت کل منطقه براهماترا هند تحت خطر سیل زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد، نقشه FHZ^۱ منطقه را با قابلیت اطمینان بیش از ۹۰ درصد ROC-AUC و مجذور خطای باقیمانده (RMSE)، حدود ۴۰ درصد و ضریب تبیین (R^2)، ۰/۶ در هر تابع را نشان دادند. (Mosavi et al., 2017) نقشه وسعت محدوده های سیلابی در سواحل را با استفاده از تصاویر لندست TM و داده های مدل رقومی ارتفاع (DEM) در کارولینای شمالی، مناطق با پتانسیل سیل خیزی بالا را شناسایی کردند. (Saberfar et al., 2017). با دو مدل HEC-RAS و FESWMS، ویژگی های توپوگرافی و ژئومورفومتریک رودخانه های استرودز در کارولینای شمالی و برزس در تگزاس آمریکا را مقایسه و تأثیر هریک از این عوامل را در نقشه پهنه بندی سیلاب به دست آوردند. Karimi mofareh and Ghavam (2016) در مطالعه خود روش تصمیم گیری نوینی را که بر پایه فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی در تولید نقشه خطر سیلاب حوضه است را کارآمد و مؤثر دانستند. به طوری که برای ارزیابی یک مدل فیزیکی با روش تصمیم گیری چندمعیاره، اولین قدم تعریف شکل مناسبی از معیارها است. دومین مرحله انجام محاسبات و یا اجرای مدل ریاضی بررسی اثر هر گزینه روی معیار مربوطه و در مرحله آخر کمی سازی به صورت عدد و رقم پارامترها بوده که با داشتن جدولی از گزینه ها و ارقام معیارها اولویت بندی می شود. به طور کلی وجه تمایز این مطالعه با مطالعات قبلی، استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره و شاخص های سنجش از دوری به صورت همزمان در درجه آسیب پذیری خطر سیل خیزی حوزه آبخیز در حوضه کوهستانی استان خوزستان و آنالیز حساسیت عوامل تعیین کننده در این پدیده است.

۲- مواد و روش ها

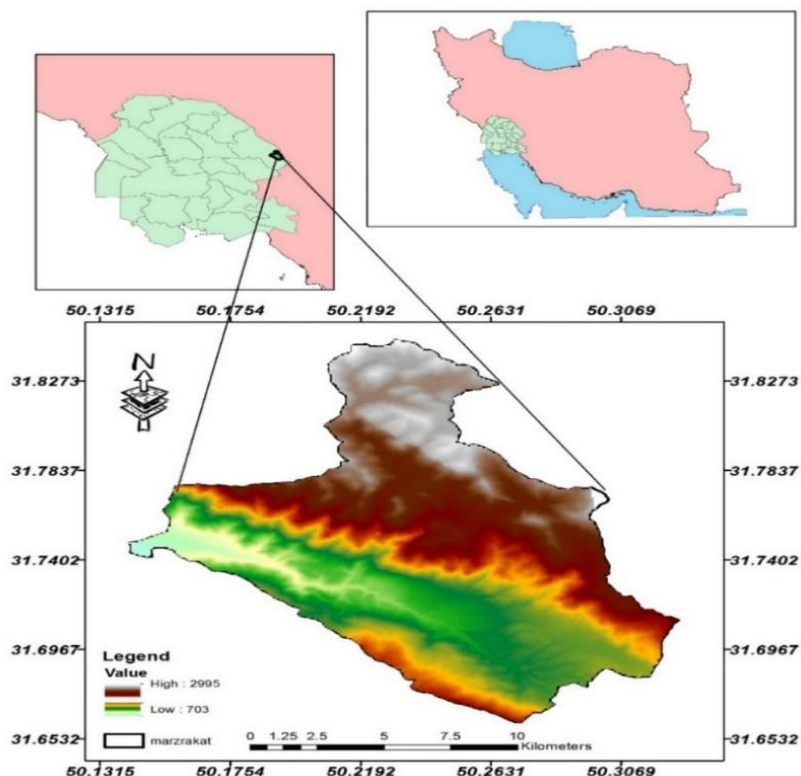
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رکعت خوزستان با مختصات جغرافیایی $31^{\circ}08'06''$ تا $31^{\circ}03'20''$ طول شرقی و $34^{\circ}39'31''$ تا $31^{\circ}50'60''$ عرض شمالی در محدوده ۶۰ کیلومتر سمت شرق شهر ایذه و در محدوده جغرافیایی شهرستان دزپارت استان خوزستان واقع شده است. مساحت حوزه ۱۶۳۴۶ هکتار است و از نظر تقسیمات حوزه های آبخیز کشوری، از زیر حوضه های سد کارون ۳ به شمار می رود و عمدتاً دارای پوشش جنگلی است. چهار کاربری مختلف شامل جنگل، اراضی مرتعی، اراضی مرتعی به همراه اراضی دیم و رخنمون سنگی در منطقه طبقه بندی شد (شکل ۱). بیشترین

¹ Flood Hazard Zoning

پوشش گیاهی کم و نیز ریزش‌های قابل ملاحظه جوی، ویژگی‌های طبیعی و تشکیلات زمین‌شناسی مختلف یکی از مناطق مستعد به پدیده سیل است. غالب سازندهای زمین‌شناسی حوضه آهکی بوده همراه با فرسایش انحلالی و سازندهای دوره کواترنری همراه با فرسایش شیاری و آبراه‌های دیده می‌شود.

ارتفاع منطقه ۳۰۰۰ متر و کم‌ترین ارتفاع منطقه ۷۱۰ متر از سطح دریا است. هم‌چنین، شیب متوسط حوضه حدود ۳۶ درصد بوده و بارش متوسط حوضه حدود ۵۴۰ میلی‌متر است. حوزه آبخیز رکعت یکی از حوزه‌های آبخیز مرتفع کوهستانی در استان خوزستان است که به دلیل کوهستانی بودن، پستی و بلندی‌های فراوان و

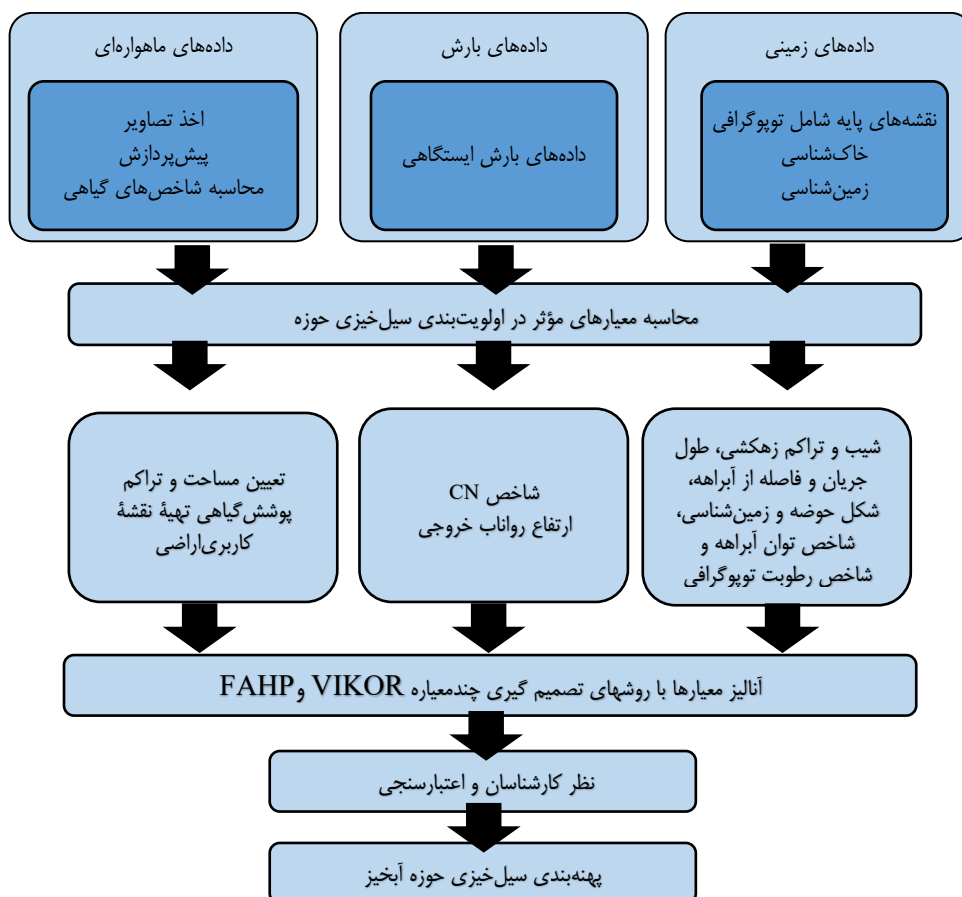


شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز رکعت و تغییرات ارتفاعی آن در استان خوزستان

Figure 1- Location of Rakat Basin and its digital elevation model in the Khuzestan Province

در این مطالعه داده‌های اصلی منطقه نظیر نقشه‌های توپوگرافی، خاک، سازندها و زمین‌شناسی جمع‌آوری شد. با بررسی مرور منابع انجام شده، پارامترهای مورفومتریکی که تأثیر بیشتری در اولویت‌بندی و وضعیت سیل‌خیزی منطقه دارند، انتخاب و سپس مقادیر آن‌ها با استفاده از داده‌ها و نقشه‌های پایه محاسبه و کمی‌سازی شد. پارامترها شامل درصد شیب و جهت شیب حوضه، تراکم زهکشی، طول جریان آبراهه، فاصله از آبراهه، عامل شکل حوضه، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص شماره منحنی، شاخص بارندگی و خصوصیات خاک، تغییرات ارتفاعی، شاخص توان آبراهه و شاخص رطوبت توپوگرافی و در نهایت پوشش گیاهی در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از انجام تصحیحات لازم روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲ منطقه، شاخص‌های گیاهی (NDVI, EVI و SAVI)، منطقه استخراج شد. سپس با استفاده از دو تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره

(FAHP و VIKOR) نسبت به وزن‌دهی شاخص‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها در سیل‌خیزی زیر حوزه‌ها اقدام شد. در ادامه شاخص NDVI (شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده)، که به بررسی وضعیت پوشش گیاهی از جهت میزان کلروفیل موجود در گیاه می‌پردازد، اقدام شد. به‌طوری‌که هرچه میزان کلروفیل موجود در گیاه بیشتر، به همان میزان شاخص NDVI افزایش می‌یابد. شاخص NDVI از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی است. بازه مقادیر در شاخص NDVI بین منفی یک تا مثبت یک متغیر است. مقادیر کمتر از صفر به‌عنوان نواحی آبی و مرطوب در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر بین صفر تا ۰/۳ نیز پوشش‌های خاک و مراتع را شامل می‌شود. مقادیر بیش‌تر از ۰/۳ نیز نشان دهنده پوشش گیاهی تا محدوده پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۲- روند اجرای تحقیق

Figure 2- Schematic design of the study implementation process

پس زمینه و پخش اتمسفری استفاده نموده است. همچنین، این شاخص برای توجیه رابطه بین NDVI و LAI بسیار مناسب دیده شد. چرا که NDVI در زمانی که میزان پوشش گیاهی بسیار بالا باشد به شکل مطلوبی رابطه با LAI را بیان نمی کند.

$$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 \times Red - 7.5 \times Blue + 1)} \quad (2)$$

۲-۴ شاخص Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

این شاخص نیز مشابه شاخص NDVI است با این تفاوت که می تواند اثر خاک پس زمینه پوشش گیاهی را کم تر نماید. در این شاخص از عاملی به نام L استفاده شده که برای تعدیل اثر خاک پس زمینه تاج پوشش استفاده می شود. مقدار این پارامتر تابعی از میزان پوشش گیاهی موجود در منطقه است که کاربر از وضعیت و تراکم پوشش گیاهی در منطقه آگاه است. این شاخص برای مناطقی مناسب است که از پوشش گیاهی پراکنده برخوردار باشد.

۲-۲ شاخص Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

شاخص مذکور، مقدار سلامتی و سبزینگی گیاه بوده و مقدار کلرفیل گیاه را اندازه گیری می کند. استفاده از ساختار اختلاف نرمال سازی شده در این شاخص به همراه باندهایی که از بیشترین و کمترین میزان بازتاب در ارتباط با گیاه برخوردار هستند استفاده از آن در هر شرایط و منطقه ای را میسر ساخته است. با این حال این شاخص در مناطقی که پوشش گیاهی بسیار متراکم است افزایش می یابد.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

۲-۳ شاخص Enhanced Vegetation Index (EVI)

این شاخص اولین بار برای داده های سنجنده مادیس (MODIS)، به منظور ارتقای شاخص NDVI با استفاده از بهینه سازی سیگنال های پوشش گیاهی در شاخص سطح برگ ارائه شد. این شاخص طیفی از باند آبی برای تصحیح تأثیر سیگنال های خاک

4	Strong Importance	(5.2, 2, 3.2)
5	Very Strong Importance	(3, 5.2, 2)
6	Absolute Importance	(7.2, 3, 5.2)

مرحله ۳) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به‌کارگیری اعداد فازی

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

در صورتی که گروه تصمیم‌گیر دارای چندین تصمیم‌گیر باشند، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی وارد می‌شوند، یک عدد فازی مثلی است که عامل اول آن حداقل نظرسنجی‌ها است.

مرحله ۴) محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی S_i که خود یک عدد فازی مثلی است از رابطه زیر برآورد می‌شود.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (7)$$

در این رابطه i بیان‌گر شماره سطر و j بیان‌کننده شماره ستون و M_{gi}^j اعداد فازی مثلی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m M_{gi}^j &= \left(\sum_{j=1}^m l_j \cdot \sum_{j=1}^m m_j \cdot \sum_{j=1}^m u_j \right) \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j &= \left(\sum_{i=1}^n l_i \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot \sum_{i=1}^n u_i \right) \\ \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} &= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

در این روابط l_i و m_i و u_i به ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی است. در نهایت S_i با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} S_i &= \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \\ &= \left(\frac{\sum_{j=1}^m l_j}{\sum_{i=1}^n u_i} \cdot \frac{\sum_{j=1}^m m_j}{\sum_{i=1}^n m_i} \cdot \frac{\sum_{j=1}^m u_j}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

مرحله ۵) محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به هم‌دیگر

$$SAVI = \frac{1.5 \times (NIR - Red)}{(NIR + Red + 0.5)} \quad (3)$$

۲-۵- شاخص توان آبراهه (SPI)^۱

یکی از عوامل وابسته به رواناب، شاخص توان آبراهه است که نشان‌دهنده مقدار جریان تجمعی مربوط به یک نقطه از حوزه آبخیز است که تحت تأثیر نیروی گرانش، تمایل به حرکت به سمت نواحی پست‌تر حوضه دارد. شاخص توان آبراهه نشان‌دهنده قدرت فرسایش رواناب سطحی نیز هست که از رابطه زیر بدست می‌آید، (Mosavi et al., 2017).

$$SPI = A_s \times \tan \beta \quad (4)$$

که در آن: A_s نشان‌دهنده مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و β زاویه شیب (درجه) است.

۲-۶- شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۲

شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص ترکیب پستی و بلندی‌های حوضه بوده که نسبت تغییرات بین کل شیب‌ها را در حوضه نشان می‌دهد و شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم‌انداز زمین است که از (رابطه ۵) به‌دست می‌آید (Eftekhari et al., 2010).

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (5)$$

۲-۷- مدل FAHP^۳ (روش AHP فازی)

به‌منظور استفاده از مزایای هر دو مدل تکنیک فازی و AHP و نیز غلبه بر نقاط ضعف آن، روش فازی تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) ارائه گردید، که به‌طور خلاصه شامل مراحل زیر است:

مرحله ۱) رسم نمودار سلسله مراتبی
مرحله ۲) تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسه‌های زوجی (جدول ۱).

جدول ۱- متغیرهای زبانی و فازی و مقیاس‌های آن‌ها جهت

اولویت‌بندی شاخص‌ها

Table 1- Linguistic and fuzzy variables and their scales for prioritizing indicators

Definite number	Definition	Triangular Fuzzy Scale
1	Exactly Equal	(1, 1, 1)
2	Equal Importance	(3.2, 1, 1.2)
3	Weak Importance	(2, 3.2, 1)

³ Fuzzy Analytical Hierarchy Process

¹ Stream Power Index

² Topography Wetness Index

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم گیری، بردار به صورت رابطه زیر تعریف شد.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (15)$$

به این منظور از فرایند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) استفاده می شود. در این روش معمولاً از مقایسه زوجی یا دو به دو استفاده می شود. در واقع این روش مقایسه ای، زمینه ای برای محاسبه اهمیت و وزن معیارها است. از مزیت های فرایند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده است، برای تعیین اهمیت معیارها و زیر معیارهاست. زیرا وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر محاسبه می شوند، احتمال ناهماهنگی در قضاوت ها به وجود می آید. چنانچه مقدار ضریب سازگاری مساوی یا کوچک تر از ۰/۱ باشد، نشان می دهد سازگاری لازم در قضاوت ها ایجاد شده است.

مرحله ۴ در این مرحله پس از اینکه ماتریس موجود بر اساس رابطه بالا نرمال شد، در وزن هریک از شاخص های به دست آمده از مدل AHP ضرب و سپس ماتریس نرمال شده از رابطه زیر حاصل می شود.

$$V = R_{ij} \times W_j \quad (16)$$

که در آن، R_{ij} ماتریس نرمال شده و W_j وزن معیارهاست که با AHP است.

مرحله ۵ تعیین بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر موجود برای هر معیار
بهترین مقدار (f_j^*) برابر با $\max f_{ij}$ و بدترین مقدار (f_j^-) برابر با $\min f_{ij}$ بود.

مرحله ۶ محاسبه بیشترین مطلوبیت (S) و مقدار عدم مطلوبیت (R) در این مرحله مقدار S_i و R_i با روابط زیر محاسبه می شود.

$$R_i = \max \{W_i \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}\} \quad (17)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^n W_i \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (18)$$

که W_i مقدار وزن برای معیار i و f_{ij} هر معیار است.

مرحله ۷ محاسبه شاخص VIKOR (مقدار Q) که در آن است.

$$Q_i = V^* [S_i - S^- / S^* - S^-] + (1 - V) * (R_i - R^-) / (R^* - R^-) \quad (19)$$

$$R^* = \max R_i, R^- = \min R_i, S^* = \max S_i, S^- = \min S_i$$

مرحله ۸ مرتب کردن گزینه ها بر اساس مقادیر S ، R و Q در این مرحله با توجه به مقادیر S ، R و Q گزینه ها در سه گروه از کوچک تر به بزرگ تر مرتب می شوند و در نهایت گزینه ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود که در هر سه گروه، گزینه برتر مشخص می شود (Kazemini, 2016). روش ویکور یک

به طور کلی درجه بزرگی S_i نسبت به S_j از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V(S_i \geq S_j) = \text{hgt}(S_i \cap S_j) = \mu_{S_j}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } d \geq m_j \\ 0 & \text{if } d_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - u_j)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

مرحله ۹ محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی

برای محاسبه وزن نرمال نشده معیار باید میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی با سایر اعداد فازی مثلثی مقایسه شوند و در نهایت حداقل میزان بزرگی، نشان دهنده وزن نرمال نشده معیار (W) است. بدین منظور از رابطه زیر برآورد می شوند (Eftekhari et al., 2010):

$$d'(A_i) = \min_{k=1,2,\dots,n, k \neq i} V(S_i \geq S_k) \quad (11)$$

$$W = (d(A_1) \cdot d(A_2) \cdot \dots \cdot d(A_n))^t \quad (12)$$

۲-۹- مدل VIKOR^۱ (ویکور)

روش ویکور از یک عبارت صریحی به معنای راه حل توافقی و بهینه سازی چندمعیاره معادل عبارت انگلیسی (Multi-criteria optimization and compromise solution) گرفته شده است. اگر در یک مسئله تصمیم گیری چندمعیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، به ترتیب زیر انجام می دهیم.

مرحله ۱ تعریف معیارها و ایجاد ماتریس (ماتریس تصمیم در روش ویکور)

$$13X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

مرحله ۲ نرمال سازی ماتریس

یک نکته مهم در شاخص های تصمیم گیری، وجود شاخص مثبت و منفی با هم در یک ماتریس است. به منظور تطبیق مقیاس های گوناگون اندازه گیری و نرمال کردن آن ها، از بی مقیاس سازی بهره جست:

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^M X_{ij}} \quad (14)$$

مرحله ۳ تعیین بردار وزن معیار

^۱Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

$$K = \frac{(N * \sum_{i=1}^n m_{ii}) - \sum_{i=1}^n G_i G_i}{N^2 - \sum_{i=1}^n G_i G_i} \quad (21)$$

که در این رابطه، K ضریب کاپا (رابطه ۲۱) تعداد نمونه‌هایی که در واقعیت زمینی کلاس i بوده و در مقادیر اختصاص یافته نیز همان کلاس را دارند، G_i تعداد نمونه‌های واقعیت زمینی در کلاس i، C_{ii} تعداد نمونه‌های اختصاص داده شده به کلاس i، n، تعداد کلاس‌ها و N تعداد کل نمونه‌ها است.

۳- نتایج

در این مطالعه ۱۵ شاخص مؤثر بر سیل‌خیزی که عبارتند از شاخص درصد شیب و جهت حوضه، میزان تراکم زهکشی (کیلومتر به کیلومتر مربع)، طول جریان (کیلومتر)، فاصله از آبراهه (کیلومتر)، شکل حوزه، زمین‌شناسی و سازندها، کاربری‌اراضی، شاخص شماره منحنی، مقدار بارندگی و خاک حوضه، شاخص توان آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص تغییرات ارتفاعی منطقه و در نهایت پوشش گیاهی بررسی شد. نتایج هر کدام از شاخص‌ها به شرح زیر ارائه شد.

۳-۱- تأثیر شاخص درصد شیب و نقشه تراکم زهکشی

نقشه شیب شکل ۳ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان شیب به نواحی غربی و کم‌ترین میزان شیب به نواحی شرقی حوزه آبخیز رکعت اختصاص دارد. در نواحی با شیب بین ۵ تا ۲۵ درصد امکان وقوع سیل افزایشی است و بیش‌ترین امتیاز را نشان داد. در صورتی که در نواحی با شیب زیاد به علت افزایش سرعت رواناب، انباشت آب کم شده و امتیاز پایین‌تری در سیل‌خیزی حوزه آبخیز نشان می‌دهد. تراکم زهکشی شکل ۳، از پارامترهای مثبت و تأثیرگذار بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز است که در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا دو بود. هر چه تراکم زهکشی بالاتر باشد، در نقشه استانداردسازی شده، وزن بیش‌تری را خواهد داشت و بالعکس.

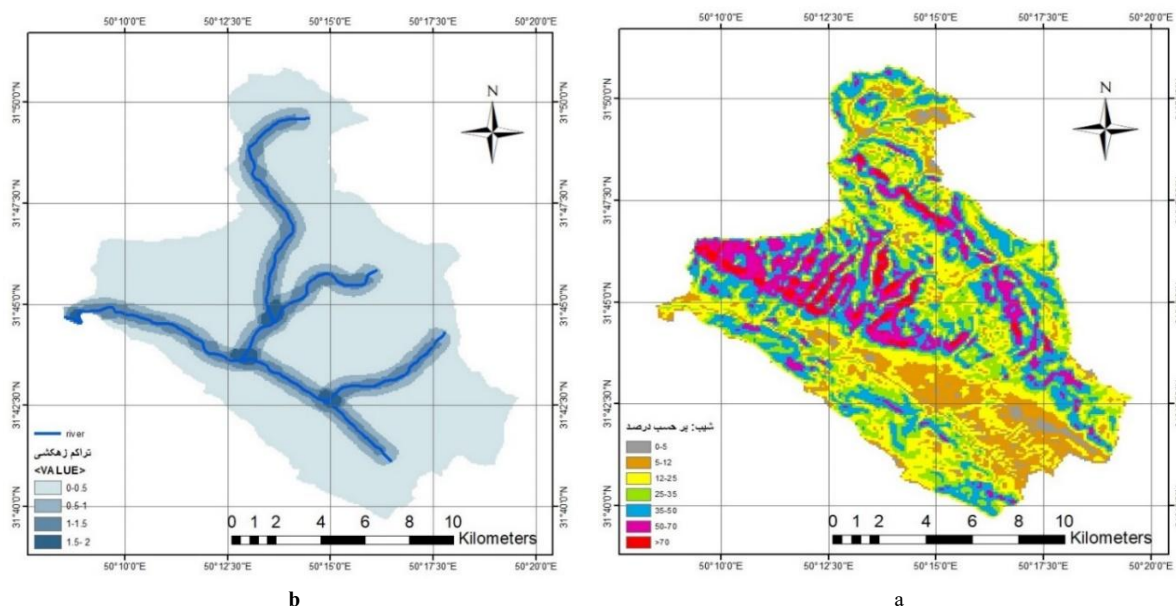
تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل یک مساله تصمیم‌گیری با معیارهای نامناسب و واحدهای اندازه‌گیری مختلف و متعارض است. روش VIKOR بر تمرکز در رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه راه کار در مساله‌ای با داشتن معیارهای مخالف هدف‌گذاری شده است. نتایج نشان داده شده در روش ویکور لیست رتبه‌بندی توافقی به اضافه یک یا چند راه‌حل توافقی خواهد بود.

۱۰-۲- اعتبار سنجی و ارزیابی مدل

در نهایت پس از استخراج ۱۵ شاخص مورفومتری مؤثر در وضعیت سیل‌خیزی حوضه، با استفاده از دو تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره FAHP و VIKOR نسبت به وزن‌دهی شاخص‌ها و اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه اقدام شد. به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با پیمایش‌های میدانی تعداد ۲۵ نقطه مستعد سیل در سه کلاس کم، متوسط و زیاد به طور تصادفی در حوضه انتخاب و جانمایی شد سپس با استفاده از معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا که از ماتریس خطا به دست می‌آیند، خروجی مدل‌ها اعتبارسنجی شد. ماتریس خطا، بیانگر تطابق هر کلاس طبقه‌بندی‌شده با واقعیت زمینی است. معیار صحت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا (نقاطی که به درستی طبقه بندی شده‌اند) تقسیم بر تعداد کل نقاط و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$A = \frac{\sum m_{ii}}{N} \quad (20)$$

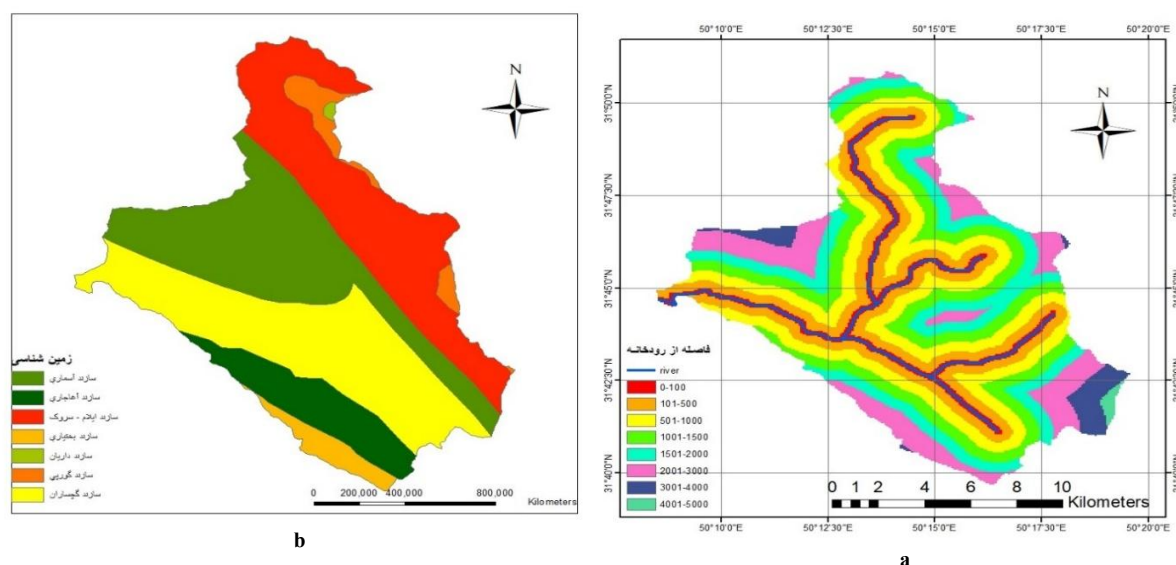
که در این رابطه OA دقت کلی، N تعداد کل نقاط و $\sum m_{ii}$ جمع تعداد نقاطی که درست طبقه‌بندی شده‌اند (رابطه ۲۰)، است. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی تصویر را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. دامنه ضریب کاپا صفر تا یک است که عدد یک بیانگر توافق ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌شود.



شکل ۳- نقشه شیب (a) و نقشه تراکم زهکشی (b)
Figure 3- Slope map (a) and drainage density map (b)

مورد مطالعه شامل آسماری، آغاچاری، ایلام-سروک، بختیاری، داریان، گورپی و گچساران هستند (شکل ۴). در نقشه استانداردسازی شده زمین شناسی به سازندهای نفوذناپذیری مثل آغاچاری و گورپی بیشترین امتیاز، پس از آن سازند آسماری و سپس سازند بختیاری، ایلامسروک، داریان قرار گرفتند و سازند گچساران کمترین امتیاز را دریافت کرد.

۳-۲- تأثیر شاخص فاصله از آبراهه و سازندهای زمین شناسی
فاصله از آبراهه شکل ۴، نقش بسزایی در پهنه بندی سیل داشته به طوری که مناطق نزدیک به آبراهه، نسبت به سایر مناطق ریسک سیلخیزی بالاتری خواهند داشت (Liaghat and Gholami, 2017). به همین دلیل در نقشه استاندارد سازی شده فاصله از رودخانه برای ورود به مدل ها، به نقاط نزدیک به رودخانه بیشترین امتیاز داده شده است. سازندهای زمین شناسی محدوده



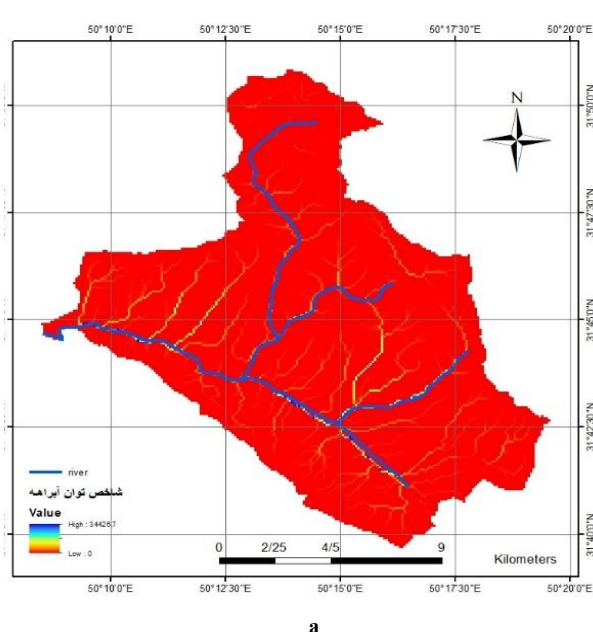
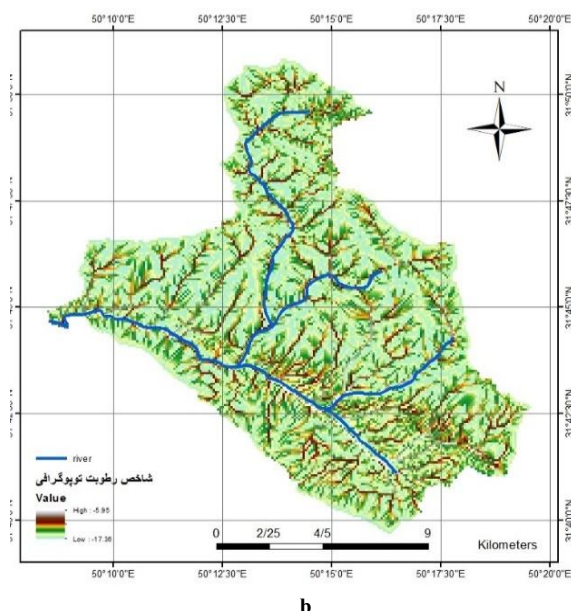
شکل ۴- نقشه فاصله از آبراهه (a) و سازندهای زمین شناسی (b)
Figure 4- Distance from streams map (a) and geology map (b)

شاخص توان آبراهه شکل ۵ اثر توپوگرافی را در تولید رواناب با فرض پایداری و یکنواختی شرایط خاک بیان می کند. مقادیر بالاتر

۳-۳- تأثیر شاخص توان آبراهه و رطوبت توپوگرافی

سیلاب با افزایش مقادیر این شاخص وجود دارد (Samanta et al., 2018). بر این اساس با افزایش مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی، احتمال وقوع سیل بیش‌تر خواهد شد و امتیاز بالاتری به شاخص تعلق می‌گیرد.

در این شاخص، امتیاز سیل‌خیزی بیش‌تری گرفتند. شاخص رطوبت توپوگرافی شکل ۵ که از دیگر پارامترهای مؤثر بر وقوع سیلاب است، بیانگر مقدار انباشت جریان در هر مکان در یک حوزه آبخیز و روند قدرت جریان آب به پایین‌دست بر اثر نیروی گرانش است و رابطه‌ی مثبت و معناداری بین افزایش خطر ریسک

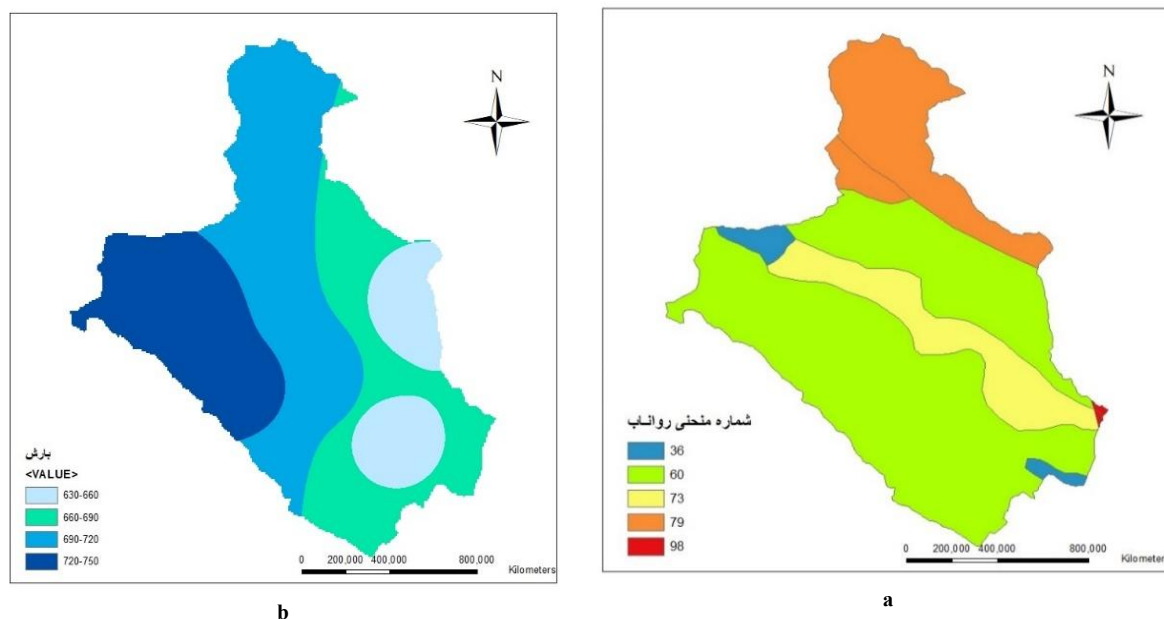


شکل ۵- نقشه‌ی شاخص توان آبراهه (a) و رطوبت توپوگرافی (b)
Figure 5- stream power index (a) and topographic wetness index (b)

مناطق شمالی حوضه که از سازندهای نفوذناپذیر تشکیل شده است و متعاقب آن پوشش گیاهی مناسب ندارد، شماره منحنی بالاتر و مناطق جنوبی حوضه که نفوذپذیر است و در نتیجه رواناب کم‌تری تولید می‌کند شماره منحنی پایین‌تر می‌گیرد.

۳-۴- تأثیر معیار شماره منحنی (CN) و میزان بارش

شماره منحنی رواناب، یک پارامتر تجربی برای پیش‌بینی مقادیر رواناب و نفوذ به‌دنبال یک بارش است. شماره منحنی بالاتر به معنای رواناب بیش‌تر و نفوذپذیری کم‌تر می‌باشد. حوزه آبخیز رکعت دارای شماره منحنی بین ۳۶ تا ۹۸ برآورد شد (شکل ۶). در



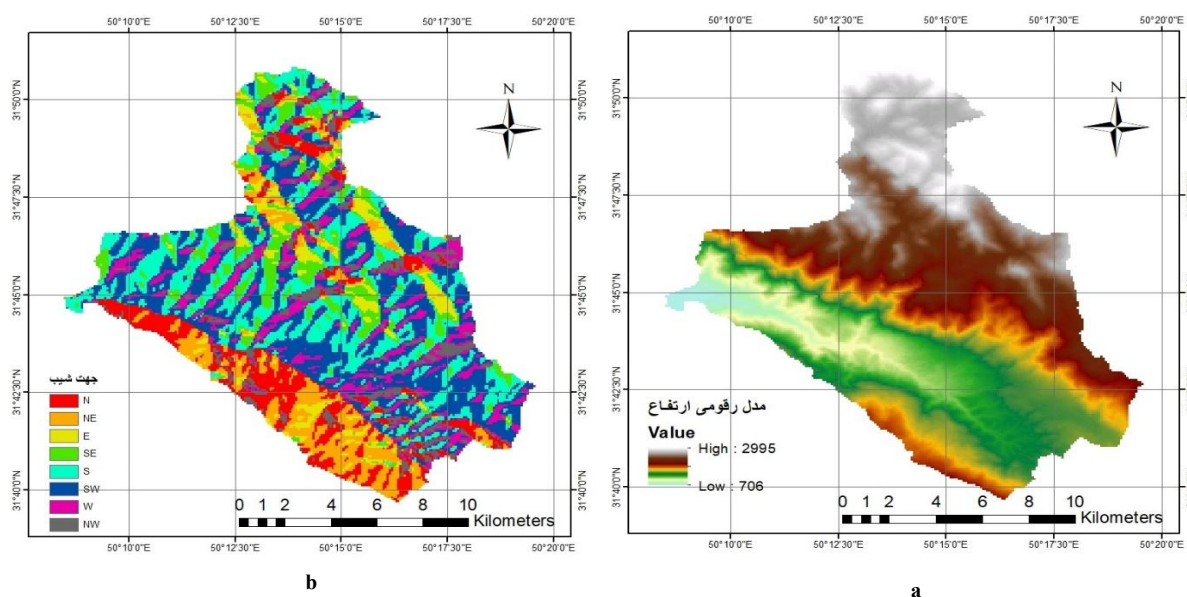
شکل ۶- نقشه شماره منحنی رواناب (a) و ارتفاع بارندگی حوضه (b)

Figure 6- Curve number (a) and precipitation (b) maps

۳-۵- تأثیر شاخص ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب

حوزه آبخیز رکمت در محدوده ارتفاعی ۷۰۶ تا ۲۹۹۵ متر از سطح دریا است (شکل ۷). تقسیم بندی این حوضه به لحاظ مورفولوژیکی بدین گونه است که شمال حوضه دارای چین خوردگی های نسبتاً شدید است و در جهت های شرقی و غربی تپه ماهورهای کم ارتفاع و دشت های سیلابی واقع شده است. از آنجا که مناطق مرتفع تر دارای پتانسیل بیش تر در ارتباط با بارش و هدایت رواناب ها هستند. لذا به مناطقی که دارای ارتفاع بیش تری بودند،

ارزش بالاتری گرفتند. عامل جهت شیب به دلیل تبعیت و رابطه مستقیم مسیر حرکت جریان با جهت شیب از پارامترهای مؤثر و تأثیرگذار در سیل خیزی حوضه به حساب آمد. نکته دیگری که باید در وزن دهی جهت شیب مورد توجه قرار گیرد، جهت حرکت جریان ها، شکل حوضه و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه است. با در نظر گرفتن عوامل فوق در حوضه، مشاهده می شود که غالب جریان ها جنوبی-شمالی و شرقی-غربی است لذا این جهت ها وزن بیش تری به خود گرفتند.



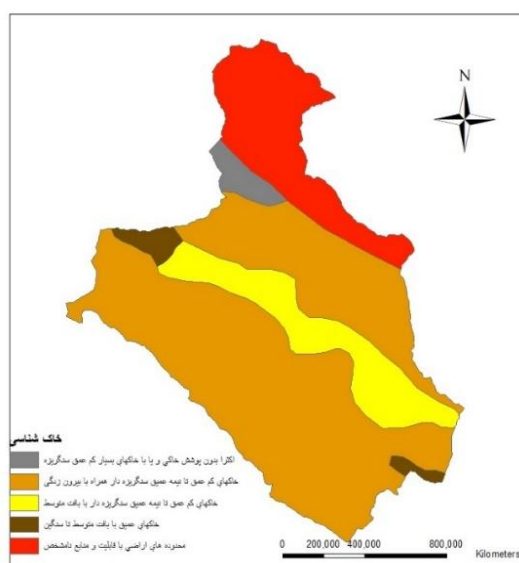
شکل ۷- مدل رقومی تغییرات ارتفاعی (a) و نقشه جهت شیب حوضه (b)

Figure 7- Digital elevation model (a) and slope directions map (b)

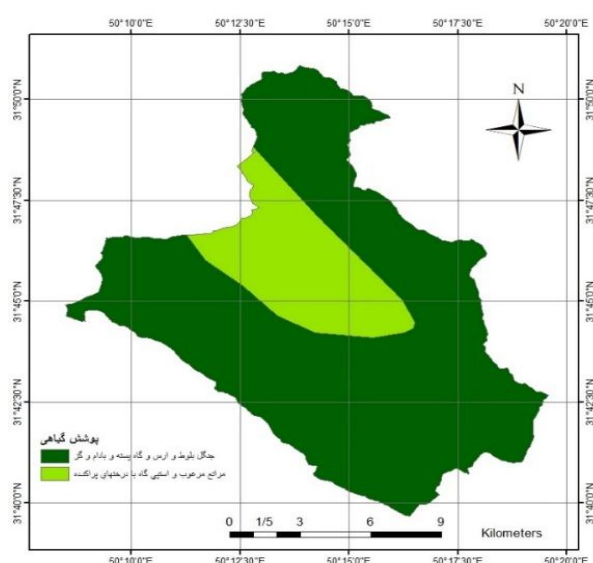
۶-۳- تأثیر پوشش زمین (کاربری اراضی) و خاک

وجود پوشش گیاهی در سطح از عوامل کاهش‌دهنده سیل خیزی حوضه است. با توجه به شکل ۸، بیش‌تر مناطق حوضه از جنگل و بیشه‌زار تشکیل شده و مناطق بدون کاربری، کم‌ترین وسعت منطقه را دارند. در مناطق بدون کاربری به دلیل لخت بودن زمین، ضریب نفوذ کم و میزان تولید رواناب بیش‌تر است و بالاترین امتیاز را گرفتند. از نظر بستر خاک، بخش اعظم حوضه آبخیز رکعت

دارای خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار همراه با بیرون زدگی است (شکل ۸). مشخصات سایر تیپ‌ها عبارتند از: خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار با بافت متوسط، خاک‌های عمیق با بافت متوسط تا سنگین، محدوده‌های ارضی با قابلیت و منابع نامشخص و اکثراً بدون پوشش خاکی و با خاک‌های بسیار کم عمق سنگریزه‌دار. بر اساس نقشه خاک حوزه آبخیز رکعت، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تهیه شد و به‌عنوان یکی از لایه‌های ورودی مدل‌ها استفاده شد.



b



a

شکل ۸- نقشه پوشش گیاهی (a) و نقشه خاک (b)

Figure 8- Land use (a) and soil types (b) maps

سیل‌خیزی بالا کاسته شده و به درصد مناطق با سیل‌خیزی کم اضافه شده است. به‌منظور ارزیابی دقت نقشه استخراج شده از روش AHP فازی از ماتریس خطا و معیارهای دقت بر اساس ۲۵ نقطه مستعد سیل حوضه که در بازدیدهای میدانی به‌دست آمده بودند، استفاده شد. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، نقشه به‌دست آمده از روش AHP با استفاده از شاخص NDVI با دقت کلی ۰/۹۳ و ضریب کاپای ۰/۸۹ نسبت به دو شاخص دیگر از دقت بالاتری برخوردار بوده است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی دقت روش AHP فازی

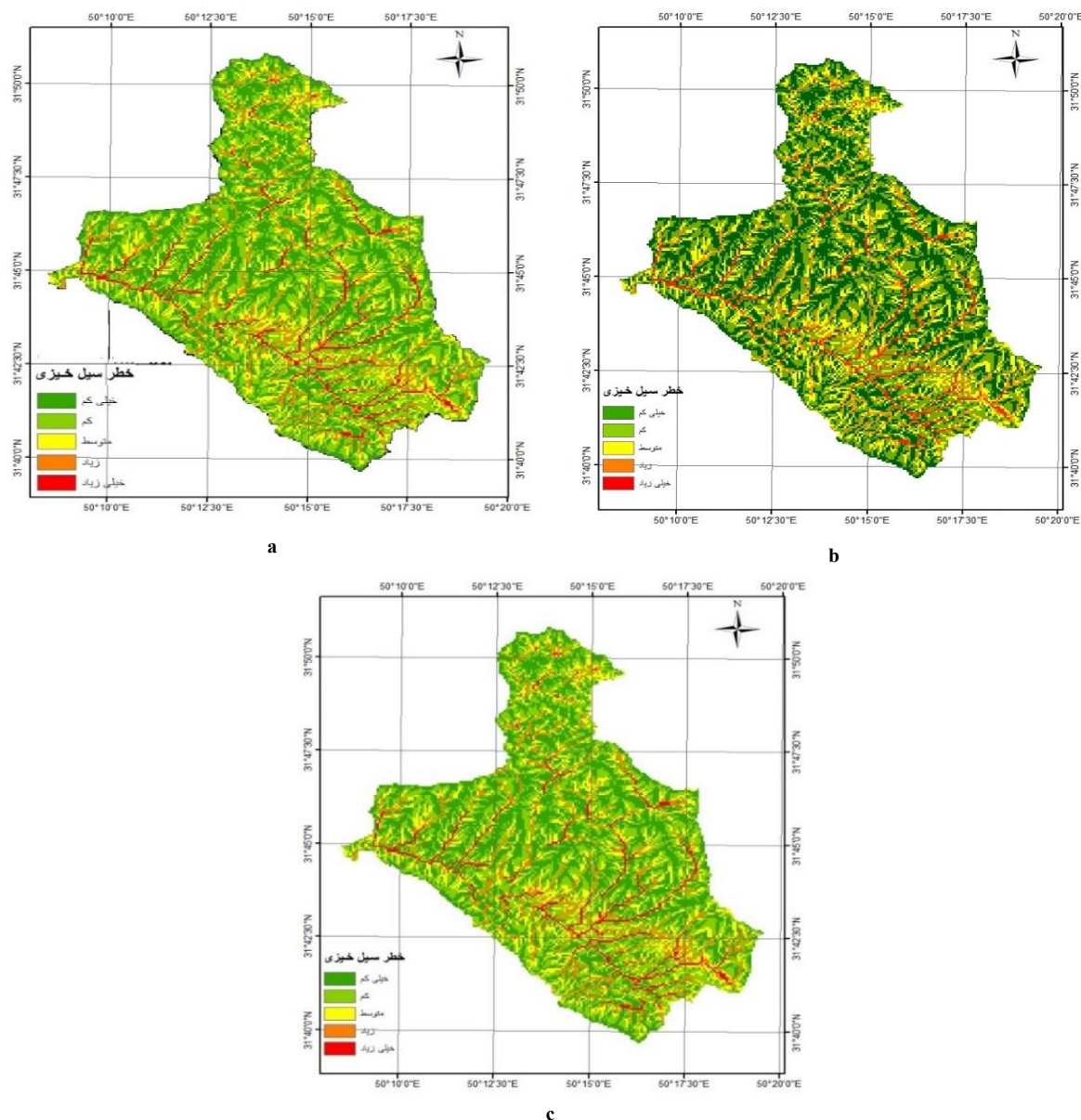
Table 2. Accuracy Assessment Results of the Fuzzy AHP Method

Vegetation Index Used	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
EVI	0.91	0.88
NDVI	0.93	0.89
SAVI	0.88	0.84

۷-۳- پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوزه آبخیز رکعت بر اساس

روش AHP فازی با سه شاخص پوشش گیاهی

نتایج پهنه‌بندی خطر سیلاب حوزه آبخیز رکعت از روش AHP فازی و با استفاده از سه شاخص پوشش گیاهی EVI، NDVI و SAVI در شکل ۹ نمایش داده شده است. بر این اساس، نتایج روش AHP فازی با استفاده از دو شاخص EVI و NDVI، تشابه زیادی با یکدیگر دارند به‌طوری‌که ۷۳ درصد مساحت حوضه در محدوده خطر سیل‌خیزی خیلی کم و کم، ۱۶ درصد خطر سیل‌خیزی متوسط و ۱۱ درصد خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی‌زیاد قرار دارد، ولی شاخص طیفی SAVI، ۸۲ درصد مناطق را در کلاس خطر سیل‌خیزی خیلی کم و کم، ۱۱ درصد خطر سیل‌خیزی متوسط و ۷ درصد خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی کرده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌ترتیب از شاخص طیفی EVI به NDVI و SAVI از درصد مناطق با



شکل ۹- نقشه پهنه بندی خطر سیلاب بر اساس روش AHP فازی با استفاده از شاخص های طیفی (a) EVI، (b) NDVI و (c) SAVI
Figure 9- Flood risk zoning map based on the fuzzy AHP method using EVI (a), NDVI (b), and SAVI (c) vegetation indices

بسیار زیاد قرار گرفته است. در نقشه با استفاده از شاخص طیفی SAVI، ۲۵ درصد منطقه در طبقه با خطر سیل خیزی بسیار کم و کم، ۵۸ درصد خطر سیل خیزی متوسط و ۱۷ درصد منطقه در طبقه سیل خیزی با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. همان طور که نتایج نشان داد از شاخص طیفی EVI تا NDVI و SAVI به ترتیب از درصد مناطق با سیل خیزی بالا کاسته شده و به درصد مناطق با سیل خیزی کم اضافه شده است. به منظور ارزیابی دقت نقشه استخراج شده از روش ویکور از ماتریس خطا و معیارهای دقت بر اساس نقاط بازدید میدانی استفاده شد. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جا نیز نقشه بدست آمده از روش ویکور با استفاده از شاخص NDVI با دقت کلی ۰/۹۱ و

۸-۳- پهنه بندی خطر سیلاب در حوزه آبخیز رکعت بر اساس روش ویکور

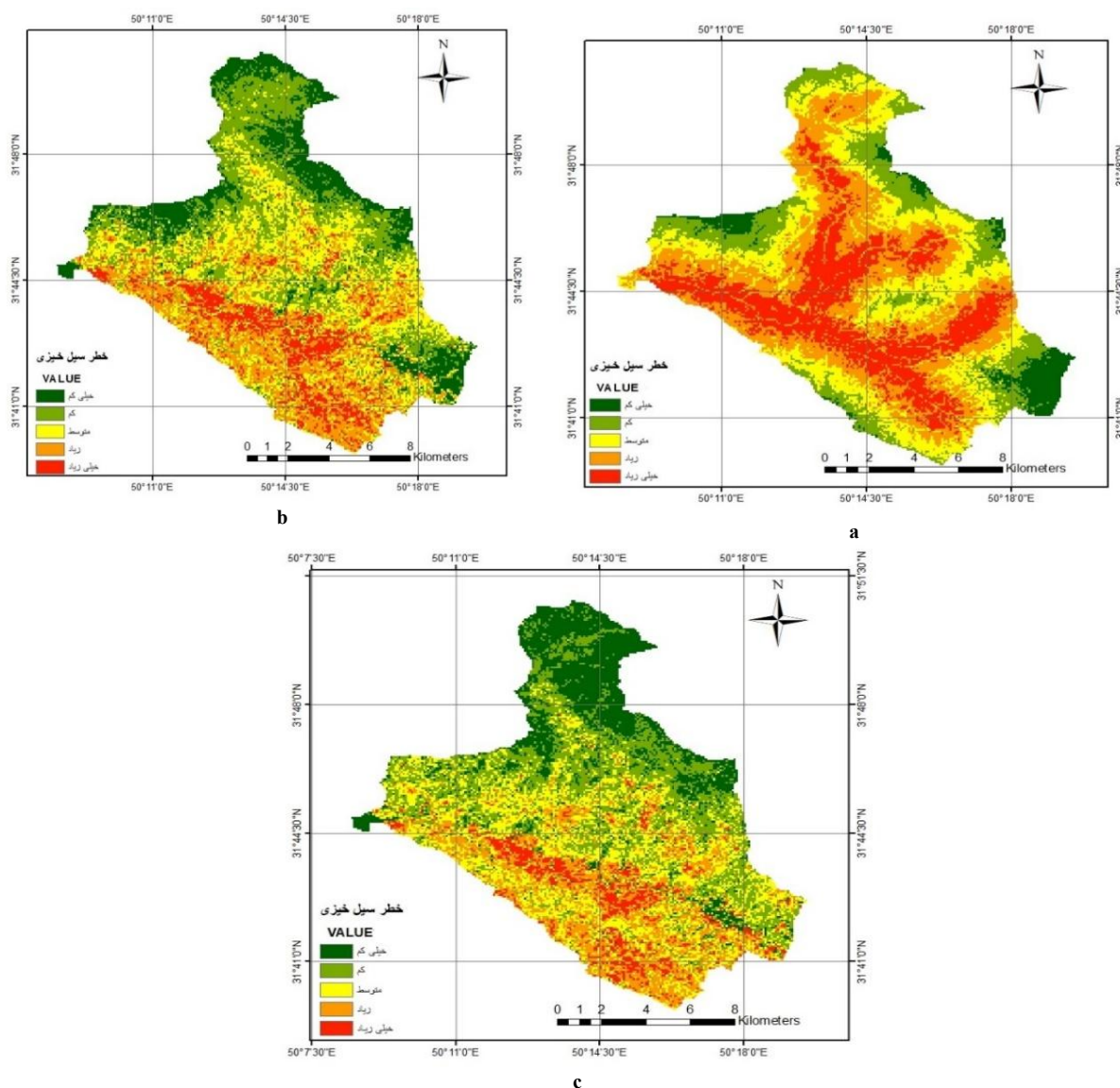
در نقشه طبقه بندی شده خطر سیلاب در حوزه آبخیز رکعت بر اساس روش ویکور شکل ۱۰ با استفاده از شاخص طیفی EVI، ۱۷ درصد حوزه در طبقه با خطر سیل خیزی بسیار کم و کم، ۲۵ درصد خطر سیل خیزی متوسط و ۵۸ درصد منطقه در طبقه سیل خیزی با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. در نقشه با استفاده از شاخص طیفی NDVI، ۲۷ درصد منطقه در طبقه با خطر سیل خیزی بسیار کم و کم، ۵۰ درصد خطر سیل خیزی متوسط و ۲۳ درصد منطقه در طبقه سیل خیزی با خطر زیاد و

جدول ۳- نتایج ارزیابی دقت روش ویکور

Table 3. Accuracy Assessment Results of the VIKOR

Method		
Vegetation Index Used	Overall Accuracy	Kappa Coefficient
EVI	0.85	0.80
NDVI	0.89	0.85
SAVI	0.83	0.78

ضریب کاپای ۰/۸۶ نسبت به دو شاخص دیگر از دقت بالاتری برخوردار بوده است. در نهایت مقایسه نتایج هر دو روش نشان می‌دهد که روش AHP نسبت به روش ویکور، نقشه مناطق سیل خیز حوزه را با دقت بالاتری برآورد نموده است.



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب بر اساس روش ویکور با استفاده از شاخص‌های طیفی (a) EVI، (b) NDVI و (c) SAVI

Figure 10- Flood risk zoning map based on VIKOR method using EVI (a), NDVI (b), and SAVI (c) vegetation indices

۴- بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP فازی و ویکور هر کدام با استفاده از سه شاخص پوشش گیاهی در حوزه آبخیز رکت خوزستان اجرا شد. علاوه بر آن ۱۵ شاخص مختلف مؤثر بر میزان سیل‌خیزی حوضه در

مدل‌های تصمیم‌گیری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در نهایت از بین شاخص‌های انتخاب شده حساسیت سنجی صورت پذیرفت و حساس‌ترین شاخص‌ها به پدیده سیل حوضه انتخاب شد. از بین کلیه شاخص‌ها، شاخص شماره منحنی رواناب (۱۵ درصد)، پوشش گیاهی و کاربری اراضی (۱۹ درصد) و فاصله از آبراهه (۱۵ درصد)، حدود ۵۰ درصد از کل سهم سیل‌خیزی حوضه

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این تحقیق ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این تحقیق از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

پرویز پاوند مهر: نمونه برداری، اجرای مدل‌ها، نوشتن مقاله اولیه؛ **امین ذرتی پور:** انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری تحقیق، نگارش نسخه اصلی مقاله؛ **محمد معظمی:** ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل مدل‌ها و ارزیابی نتایج؛ **میترا چراغی:** مفهوم سازی، مشاوره، تحلیل‌های آماری و نرم‌افزاری.

منابع

صابر فر، رحیمه، فلاحتکار، سامره و کیا، سیدحسین (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های ماهواره لندست. اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۹ (۱)، ۹۱-۷۱.
doi:10.29252/aridbiom.2023.20350.1944
کاظمی‌نیا، عبدالرضا (۱۳۹۶). کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش گیاهی. مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۹ (۱)، ۷۵-۸۵.
doi:10.22034/IJHCUM.2020.02.05
کریمی‌مفرح، بهنوش و قوام، منصوره (۱۳۹۶). مقایسه شاخص‌های NDVI و EVI در بررسی پوشش گیاهی شهرستان دماوند. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران.
doi:20.1001.1.26453851.1401.5.1.12.1
لیاقت، علی، غلامی، علیرضا، انتشاری، نوشین، و خاش، مینا (۱۳۸۸). نقش موثر طرح‌های آب‌خیزداری و احیای پوشش گیاهی در کاهش خسارات سیلاب شهری (مطالعه موردی استان فارس). همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی). <https://sid.ir/paper/817221/fa>. SID.

References

Badri B., Zare, R., Honarbakhsh, A., & Atashkhar, F. (2016). Prioritization of flood potential Beheshtabad Sub- watershed. Physical Geography Research, 48(1), 143-158. doi: 10.22059/jphgr.2016.57032
Dutta, P., & Deka, S. (2024). A novel approach to flood risk assessment: Synergizing with geospatial based MCDM-AHP model, multicollinearity, and sensitivity analysis in the Lower Brahmaputra Floodplain, Assam.

را به خود اختصاص داده و دارای بیش‌ترین تأثیر بر سیل‌خیزی حوضه رکعت می‌باشند. همچنین، جهت دامنه شیب و شاخص بارندگی (با توجه به یکنواختی شاخص در سطح حوضه) دارای کم‌ترین تأثیر (در مجموع کم‌تر از ۵ درصد) در بین پارامترهای مورد بررسی هستند. از آنجایی که نقشه شماره منحنی تأثیر پارامترهای کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، پوشش گیاهی و بارش حوضه را هم‌زمان در نظر می‌گیرید بنابراین شاخص مؤثری در تعیین سیل‌خیزی حوضه است که با نتایج Nouri et al. (2019) مطابقت دارد. پوشش گیاهی و کاربری اراضی با ارزش وزنی ۱۹ درصد دیگر پارامتر تأثیرگذار در سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه است. کاربری‌های اراضی منطقه شامل کشاورزی، مراتع متوسط، جنگل بلوط و مراتع مرغوب است که به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سهم در وقوع سیلاب را به خود اختصاص می‌دهند. فاصله از آبراهه نیز با ارزش وزنی حدود ۱۵ درصد، پارامتر تأثیرگذار بعدی بوده که رابطه کاملاً معکوس با سیل‌خیزی منطقه دارد و با مطالعه (Ghanavati et al., 2013) مطابقت دارد. ارزیابی دقت نقشه‌های استخراج شده از دو روش AHP فازی و ویکور با استفاده از شاخص‌های طیفی EVI، NDVI و SAVI نشان می‌دهند که در هر دو روش، شاخص NDVI با ضریب کاپای بالای ۰/۸۵ بهترین شاخص پوشش گیاهی برای پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز حوضه بوده است. همچنین، مقایسه بین دو روش مورد استفاده نشان می‌دهد که مدل AHP فازی نسبت به مدل ویکور نتایج دقیق‌تری را ارائه داده و بیش‌ترین تطابق را با مشاهدات میدانی داشته است که با مطالعات (Nouri et al. 2019) مطابقت دارد. بنابراین، مدل تصمیم‌گیری AHP فازی با استفاده از شاخص NDVI به عنوان مدل بهینه در این منطقه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

در این بخش از همکاری و مساعدت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در مراحل مختلف انجام تحقیق به‌ویژه در اختیار قرار دادن وسیله نقلیه به منظور بازدیدهای میدانی تشکر و قدردانی می‌شود.

Journal of Cleaner Production. 467, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142985
Eftekhari, A. R., Sadeghloo, T., Ahmad Abadi, A., & Sojasi Qidari, H. (2010). Zoning of rural regions in flood hazard with use of Hec-GeoRAS model in GIS sphere. Journal of rural development, 1 (1), 156-182. https://jrd.ut.ac.ir/article_20819.html. [In Persian]
Ghanavati, E., Karam, A., & Aghaalikhani, M. (2013). Flood risk zonation in the farahzad basin

- (Tehran) using Fuzzy model. *Geography and Environmental Planning*, 23(4), 121-138. doi: 20.1001.1.20085362.1391.23.4.8.2
- Liaghat, M., Ali, A., Gholami, Gh., Alireza, A., Enteshari, N., & Khash, M. (2017). The effective role of watershed management and vegetation restoration projects in reducing urban flood damage (Case study of Fars province). National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Management of Natural Disasters). SID. <https://sid.ir/paper/817221/fa> [In Persion]
- Mosavi, S. M., Negahban, S., Rakhasni Moghadam, H., & Hossinzadeh, S.M. (2017). Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment). *Environmental Hazards*. 5(10): 79-98. doi: 10.22111/jneh.2017.2960
- Karimi Mafarah, B., & Qavam, M. (2016). Comparison of NDVI and EVI indices in the investigation of vegetation in Damavand city. The 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran. doi: 20.1001.1.26453851.1401.5.1.12.1 [In Persion]
- Kazeminia, A.R. (2016). The application of remote sensing and GIS in vegetation survey. *Mapping and Geospatial Information Engineering*, 9(1), 75-85. doi: 10.22034/IJHCUM.2020.02.05 [In Persion]
- Nouri, H., Shahedi, K., Habibnezhad Roshan, M., Kavian, A., & Faramarzi, M. (2019). Susceptibility to flooding in the Razavar Watershed using analytical hierarchy process method. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(19), 35-50. doi: 10.22111/jneh.2018.20760.1280
- Saberfar, R., Falahatkar, S., & Kia, S.H. (2017). Analysis of vegetation index changes in Landsat satellite gauges. *Natural Ecosystems of Iran*, 9 (1), 71-91. doi: 10.29252/aridbiom.2023.20350.1944 [In Persion]
- Samanta, R., Bhunia, G., Shit, P., & Pourghasemi, H.R. (2018). Flood susceptibility mapping using geospatial frequency ratio technique: a case study of Subarnarekha River Basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 395-408. doi: 10.1007/s40808-018-0427-z
- Singh, S. R., Harirchian, E., Edward, C., Monjardin F., & Lahmer, T., (2024). GIS-Based risk assessment of building vulnerability in flood zones of Naic, Cavite, Philippines using AHP and TOPSIS. *GeoHazards* 2024, 5, 1040-1073. doi: 10.3390/geohazards5040050
- Tincu, R., Lazar, G., & Lazar, I., (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation, *Open Geosciences*, 10 (1), 593- 606. doi: 10.1515/geo-2018-0047