Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 2 - Serial Number 20, January 2025 **Online ISSN: 2783-0764**
Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_214387.html?lang=en

Flood Hazard Zoning and Its Relationship with Land Use Using the Analytic Network Process Model (Case Study: Razi Chay Watershed, Ardabil Province)

Mousa Abedini[1*], Homeyra Sabouri[2], AmirHesam Pasban[3]
1- Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- M.Sc. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3- Ph. D Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received Date: 22 September 2024 **Accepted Date:** 27 January 2025

Abstract

Background and Objective: Floods are one of the natural phenomena that can cause significant damage to infrastructure, farmlands, and the environment. This phenomenon primarily occurs due to heavy rainfall, snowmelt, or a combination of these factors. Therefore, the aim of this study is to map flood hazard zones and examine their relationship with land use using the Analytic Network Process (ANP) model in the Razi Chay watershed in Ardabil Province.

Methodology: In this study, data from Landsat 8 satellite imagery from 2022, a 30-meter ASTER DEM map, a 1: 50,000 scale topographic map, a 1: 250,000 scale geological map, and other detailed information of the studied watershed were utilized. Ten parameters influencing flood occurrence were analyzed, including elevation, slope, slope aspect, vegetation cover, geological formations, distance from the river, flow direction, land use, precipitation, and drainage density. The Analytic Network Process (ANP) model was employed to determine the importance of each variable.

Results and findings: Among the studied parameters, slope (with a weight of 30%), elevation (with a weight of 21%), and land use (with a weight of 17%) were assigned the highest weights, indicating their significant influence in controlling flood occurrence in the Razi Chay watershed. The results show that approximately 36% of the Razi Chay watershed falls within high-risk and very high-risk zones. These areas are typically located in the lower part of the watershed, often at the confluence of the two main streams. Considering the spatial distribution of settlements in the region, it can be concluded that most of the settlements in the lower part of the watershed are exposed to flood risks.

Key words: Flood, ANP, Land Use, Support Vector Machine, Razi Chay, Ardabil Province.

[*] **Correspong Author Email: Abedini@uma.ac.ir**
Cite this article: Abedini, M., Sabouri, H. and Pasban, A. (2025). Flood Hazard Zoning and Its Relationship with Land Use Using the Analytic Network Process Model (Case Study: Razi Chay Watershed, Ardabil Province). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(2), 68-84.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۲، شماره پیاپی ۲۰، شهریور ۱۴۰۴ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_214387.html?lang=fa

پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رضی‌چای، استان اردبیل)

موسی عابدینی*[۱]، حمیرا صبوری[۲]، امیرحسام پاسبان[۳]

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸

چکیده

زمینه و هدف: سیلاب‌ها یکی از پدیده‌های طبیعی هستند که می‌توانند خسارات زیادی به زیرساخت‌ها، مزارع و محیط‌زیست وارد کنند. این پدیده به طور عمده به دلیل بارش‌های سنگین، ذوب برف‌ها یا ترکیبی از این عوامل رخ می‌دهد. بنابراین هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه در حوضه آبخیز رضی چای در استان اردبیل است.

روش‌شناسی: در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۲، نقشه DEM ۳۰ متر استر، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و همچنین استفاده از سایر اطلاعات تفضیلی حوضه مورد مطالعه ۱۰ پارامتر تاثیرگذار در رخداد سیل که شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، سازندهای زمین شناسی، فاصله از رودخانه، جهت جریان، کاربری اراضی، بارش، تراکم زهکشی مورد استفاده قرار گرفته و برای تعیین اهمیت هر متغیر از مدل فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) استفاده شد.

نتایج و یافته‌ها: از میان پارامترهای مورد مطالعه، لایه‌های شیب (با ضریب ۳۰ درصد)، ارتفاع (با ضریب ۲۱ درصد)، کاربری اراضی (با ضریب ۱۷ درصد) وزن بیش‌تری را کسب کردند. در نتیجه وقوع سیلاب در حوضه آبریز رضی چای را به شدت کنترل می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۳۶ درصد از حوضه آبریز رضی‌چای در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. این پهنه‌ها در قسمت پایین حوضه، به طور معمول در تقاطع دو آبراهه اصلی حوضه قرار دارند. با توجه به پراکندگی فضایی سکونتگاه‌ها در منطقه می‌توان گفت که اکثر سکونتگاه‌های قسمت پایین حوضه در معرض سیلاب قرار دارند.

کلید واژه‌ها: سیلاب، ANP، کاربری اراضی، ماشین‌بردار پشتیبان، رضی چای،استان اردبیل.

* نویسنده مسئول: Abedini@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: عابدینی, موسی , صبوری, حمیرا و پاسبان, امیرحسام . (۱۴۰۴). ۵.پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رضی‌چای، استان اردبیل). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۲), ۶۸-۸۴.

مقدمه و بیان مسأله

سیل یک پدیده جهانی است که باعث خسارات گسترده اقتصادی و تلفات انسانی می شود و زمانی رخ می دهد که آب از بستر رودخانه ناشی از سیلاب‌های ناگهانی با دامنه بالا فراتر رود (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳: ۸۰۸) سیل‌های فاجعه بار نه تنها جان مردم را به خطر می‌اندازد، بلکه خسارات اقتصادی هنگفتی به ساکنان وارد می‌کند و امنیت آن‌ها را تهدید می‌کند و عموما دو نوع سیل شناخته می‌شود؛ سیل‌های رودخانه‌ای و سیل‌های ناگهانی (Memon et al., 2015: 102). سیل‌های ناگهانی رویدادهایی متداول هستند که هنگام آزادسازی سریع حجم زیادی آب رخ می‌دهند، معمولاً در سه تا شش ساعت، به دلیل بارش سنگین، ریزش خاک یا خرابی سد ایجاد می‌شود (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۶۹). در سال‌های اخیر وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل با فراوانی بیش‌تر و به طور گسترده‌تری در کشورهای مختلف جهان، منجر به خسارات سنگین در اثرهای مخرب بر محیط زیست و انسان شده است.

سیلاب‌ها از جمله فاجعه بارترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود که به عنوان رویدادهای ناگهانی یا غافلگیر کننده در بازه زمانی کوتاهی رخ می‌دهند و از لحاظ جغرافیایی گسترش می‌یابند ودر بعضی ازمناطق تا صدها هزار کیلومتر مربع را تحت تاثیر قرار دهند. چنین آثاری در کشورهای در حال توسعه یافته بیش‌ترین و در کشورهای توسعه یافته کم‌ترین است، زیرا در کشورهای توسعه یافته اقدامات کنترل سیلاب به منظور کاهش خسارات سیل اجرا شده اند (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱). عوامل زیادی در وقوع سیلاب در یک منطقه نقش دارند، از جمله این عوامل می‌توان به ویژگی‌های توپوگرافی، شکل‌گیری رودخانه‌ها، ساختارهای زیست‌محیطی و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین تاثیرات انسانی در بروز سیل، تغییر کاربری زمین‌ها و عدم هماهنگی آن با ظرفیت زمین‌ها است (Yassin et al., 2023: 8) به دلیل دخالت‌های انسانی، تغییرات قابل توجهی در سطح زمین رخ داده است و حضور انسان در زمین و استفاده از آن تاثیرات عمیقی بر محیط طبیعی داشته است. این امر منجر به ایجاد الگوهای قابل مشاهده در کاربری پوشش زمین در طول زمان شده است(Leh et al., 2013: 413).

تغییر کاربری زمین ممکن است شامل تبدیل یک نوع کاربری به کاربری دیگری باشد، به عبارت دیگر تغییرات در ترکیب الگوهای کاربری در یک منطقه یا اصلاح یک نوع خاص کاربری باشد (Jakeman et al., 2005: 34). تغییر کاربری زمین ممکن است شامل تبدیل یک نوع کاربری به کاربری دیگری باشد، به عبارت دیگر تغییرات در ترکیب الگوهای کاربری در یک منطقه یا اصلاح یک نوع خاص کاربری باشد (Palamuleni et al., 2020: 851). در آینده، به دلیل تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی در کاربری زمین و مهندسی، انتظار می‌رود بزرگی و فراوانی سیل افزایش یابد (Arnell and Gosling et al., 2018: 454).

حفاظت از منابع طبیعی برای حفظ تعادل هر اکوسیستم حیاتی است. تغییرات مداوم و تخریب منابع طبیعی می‌تواند منجر به مشکلات متعددی از جمله فرسایش خاک و افزایش رواناب شود. ویژگی‌های پوشش زمین بخشی از تعادل اکوسیستم هستند و هرگونه تغییر محیطی که بر آن‌ها تاثیر می‌گذارد ارزش مطالعه دارد (Di palma et al., 2016: 109). امروزه مقابله با سیل از طریق مدیریت غیرسازه‌ای حوضه‌های آبخیز مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، نخستین اقدام برای کاهش خطر سیل، کنترل آن در سرچشمه‌ها و زیرحوضه‌های آبخیز است هر بخش از حوضه دارای پتانسیل مشخصی برای تولید رواناب و سیل است.

پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی روشی است که با توجه به این ویژگی‌ها و میزان تولید رواناب در هر بخش، حوضه را براساس توان سیل‌خیزی تقسیم‌بندی می‌کند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳: ۸۰۸). این روش نه تنها اثرات سیل را در یک منطقه کاهش می‌دهد، بلکه اطلاعات ارزشمندی درباره محیط پیرامون، سیلاب‌ها، تاثیرات آن‌ها بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد (نامی و رستمی، ۱۴۰۲: ۱۳۰). در پاسخ به این چالش‌ها، تحقیقات دانشگاهی به طور قابل توجهی روی افزایش ارزیابی خطرات، آسیب‌پذیری و خطر سیل برای جوامع سراسر جهان تمرکز کرده است. با افزایش دانش و درک از خطرات سیل، می‌توانیم استراتژی‌های موثری برای کاهش تأثیر آن‌ها را توسعه دهیم. شناسایی دقیق نواحی آسیب‌پذیر به سیل برای سیاست‌گذاران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا امکان طراحی و اجرای مداخلات جامع برنامه‌ریزی مدیریتی را فراهم می‌کند. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی در حوضه آبخیز رضی‌چای با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه در محیط GIS می‌باشد.

پیشینه تحقیق

مطالعات متعددی در خصوص پهنه‌بندی خطر سیلاب در داخل و خارج از ایران انجام شده است که در ذیل به صورت مختصری به آن‌ها اشاره شده است.

عابدینی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزیابی مخاطرات ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز زنو چای در شهرستان مرند با استفاده از مدل ANP در محیط GIS پرداخته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که متغییرهای فاصله از رودخانه، شیب و تحدب از زمین مهم‌ترین عامل در بروز سیلاب در منطقه است.

زنگنه اسدی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزیابی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، ویکور، L-THIA در تحلیل منطقه‌ای سیلاب در استان خراسان رضوی پرداخته‌اند. نتایج حاصل نشان داد مدل L-THIA نسبت به مدل‌های ویکور، شبکه عصبی مصنوعی از دقت و کارایی بیش‌تری برخوردار است.

حنفی و همکاران (۱۴۰۰)، به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیل در سکونتگاه‌های شهری مرزی خوزستان با روش AHP فازی پرداختند. نتایج حاصل نشان می‌دهد از بین ۳۸ شهر مهم استان خوزستان ۱۸ شهر آن در خطر آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۲ شهر آن در پهنه خطر زیاد قرار دارد.

پاک نژاد و همکاران (۱۴۰۲)، به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تاثیر آن در افزایش رواناب با استفاده از مدل آماری و سنجش از دوز در حوضه گرگان رود گلستان پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد از سال ۲۰۲۰-۱۹۸۶ میزان کاربری کشاورزی افزایش و میزان کاربری اراضی جنگل کاهش یافته است که باعث افزایش میزان رواناب و کاهش نفوذپذیری خاک شده که می‌تواند از مهم‌ترین عامل در بروز سیلاب باشد.

عامری و همکاران (۱۴۰۲)، در پژوهشی به پهنه بندی خطر سیلاب در شهر اهواز با استفاده از منطق فازی AHP و GIS پرداخته‌اند. بدین منظور ۶ پارامتر مهم در ایجاد سیلاب که شامل، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، فاصله از پل، لیتولوژی و پوشش زمین استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد بخش مرکزی شهر اهواز به دلیل نزدیکی به رودخانه کارون و شیب کم دارای خطرات زیادی نسبت به بقیه منطقه دارد.

نامی و همکاران (۱۴۰۲)، در پژوهشی به تهیه نقشه حساسیت‌پذیری در حوضه آبخیز الموت رود با استفاده از مدل ANP و AHP پرداخته‌اند. به این منظور چهار پارامتر موثر که شامل، بارندگی سالانه، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و شیب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان میدهد، ۳/۷ درصد و ۲/۸ درصد از منطقه به ترتیب در پهنه خطر خیلی زیاد و خطر زیاد قرار گرفته است.

حسین‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)، در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده مدل تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره در حوضه نکارود مازندران پرداخته است. بدین منظور از ۴ پارامتر مهم شامل، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه استفاده کرده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد ۵۱/۴۲ درصد از منطقه از هر دو طرف رودخانه دارای پتانسیل خطر زیاد و بسیار زیاد وقوع سیلاب است و همچنین ورودی شهر نکا به دلیل تراکم کاربری مسکونی و زراعی دارای بیش‌ترین میزان خطر می‌باشد.

کاظمی و همکاران (۱۴۰۳)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه انتهایی کارون بزرگ با استفاده از تکنیک یادگیری ماشین پرداخته‌اند. نتایج حاصل نشان داد؛ ۸۶/۳ درصد از منطقه در پهنه سیلاب با ریسک زیاد، ۹۹/۴۰ درصد در پهنه ریسک خیلی زیاد و ۱۳۲/۸۳ درصد با ریسک کم از سطح منطقه قرار دارد.

Azua و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای به بررسی وشناسایی مناطق آسیب پذیر در برابر سیل در منطقه ایالت کانوبا با استفاده از مدل چند معیار در محیط اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند. براین اساس عوامل ایجاد کننده سیل شامل، بارندگی، خاک، شیب، ارتفاع، زمین شناسی، کاربری اراضی و سیستم زهکشی بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد کم‌ترین عامل موثر در سیلاب منطقه، بارندگی و زمین‌شناسی بوده است.

Dutta و همکاران (۲۰۲۴)، در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک سیل با استفاده از مدل MCDM AHP پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، بیش‌تر از ۲۸ درصد از کل منطقه، در منطقه ریسک سیل بسیار زیاد قرار دارد.

Ogato و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به ارزیابی و تحلیل خطر سیل‌خیزی در حوضه آبخیز شهر امبو با استفاده از GIS پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که متغیرهای کاربری زمین، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی، تراکم زهکشی، خاک و بارش از جمله مهمترین عوامل موثر در ایجاد سیل در منطقه مورد مطالعه بودند.

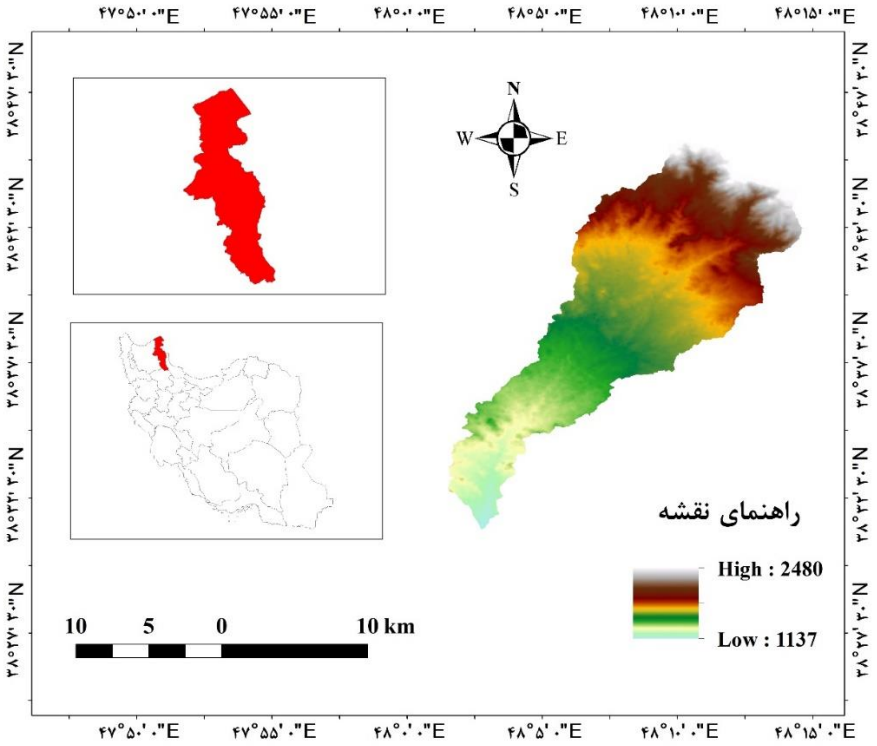
Rashetnia و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی، با استفاده از شاخص مبتنی بر قاعده فازی، آسیب‌پذیری ناشی از سیل را در شهر ملبورن، استرالیا مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که فاصله از رودخانه و میزان بارش از مهم‌ترین عوامل مؤثر در این شهر هستند. بر اساس این مطالعه، ۵۱ درصد از منطقه در سطح سوم و پایین آسیب‌پذیری قرار دارد، در حالی که ۷/۶ درصد از منطقه در دسته‌های با خطر بالا و بسیار بالا جای گرفته است.

Bang و همکاران (۲۰۲۳) به مطالعه‌ای پیرامون مدیریت ریسک و پیش‌بینی خطر سیل در انگلستان پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که سیل ژوئن ۲۰۱۹ اثرات چشمگیر و پنهانی بر جامعه آسیب‌دیده داشته و پیامدهای ویرانگری به همراه داشته است.

روش‌شناسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

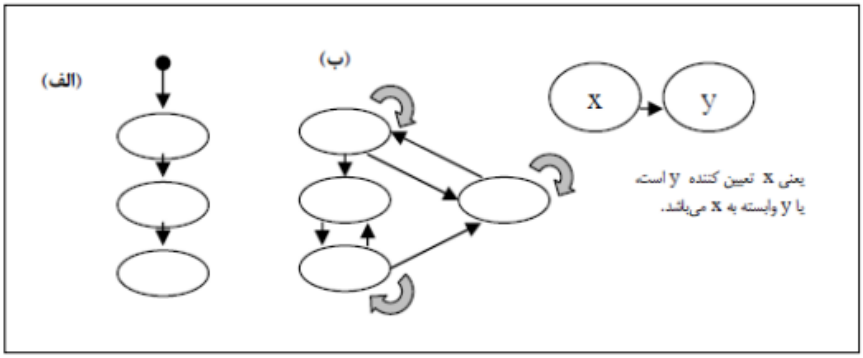
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق آبریز رضی چای می باشد. این حوضه در شرق شهرستان مشگین‌شهر در مساحتی به وسعت ۱۸۰/۱۵ کیلومتر مربع در استان اردبیل قرار دارد. بر اساس سامانه مختصات در۴۷درجه و۵۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۷دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۸درجه و ۴۷ دقیقه ۳۰ ثانیه عرض شمالی و در منطقه ۳۹ شمالی واقع شده است. بلندترین نقطه حوضه به ارتفاع ۲۴۸۰ متر در قسمت شمالی حوضه و پست ترین نقطه حوضه ۱۱۳۷ متر ارتفاع دارد و خروجی حوضه در محل اتصال رضی قرار دارد. رودخانه‌های رضی چای و قره‌سودر جنوب غربی حوزه قرار دارند. این منطقه دارای تنوع نسبتاً زیادی هستند، از جمله مراتع، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مزارع سبز و سکونتگاه های روستایی. مخزن سبلان با گنجایش ۱۰۵ میلیون مترمکعب در سطح عادی و در حدود ۷/۵ کیلومتری دهانه حوضه رضی چای در جهت شرقی قرار دارد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۲۱). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رضی چای در سطح کشور و استان اردبیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز رضی‌چای در ایران و استان اردبیل

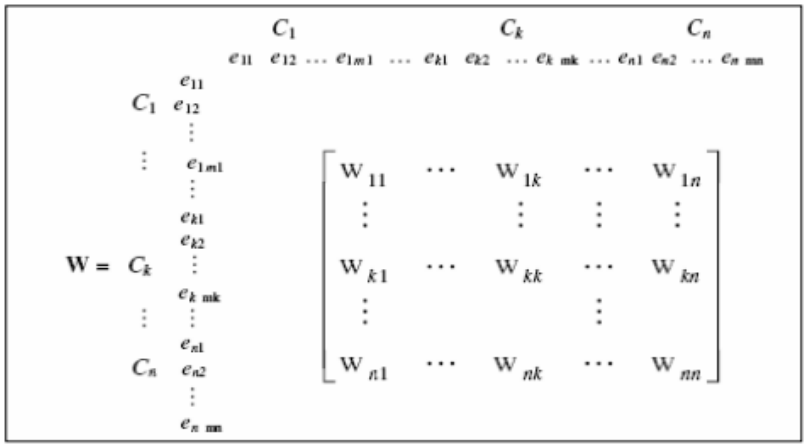
روش ANP

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در مجموعه مدل‌های جبرانی قرار دارد. این مدل، برخلاف فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به جای سلسله مراتب از ساختار شبکه‌ای استفاده می‌کند. ANP به ویژه زمانی کاربرد دارد که عناصر یک سیستم به صورت شبکه‌ای و با ارتباطات داخلی پیچیده‌ای شکل گرفته‌اند. طبق نظر ساعتی و همکاران، AHP برای مسائلی مناسب است که بین گزینه‌ها و معیارها ارتباطی وجود ندارد. بنابراین، مدل ANP توسط ساعتی (۱۹۸۰) برای رفع مشکلات AHP و در مواقعی که گزینه‌ها و معیارها به هم وابسته‌اند، ایجاد شد. برخلاف AHP که ارتباطات بین معیارها و گزینه‌ها سلسله مراتبی و یک‌سویه است، در ANP علاوه بر این نوع ارتباط، معیارها و زیرمعیارها ممکن است وابستگی متقابل داشته باشند (زیردست، ۱۳۸۲: ۸۳). اگرچه AHP و ANP هر دو از طریق مقایسات زوجی عناصر عمل می‌کنند، تفاوت‌های مهمی دارند. اول اینکه AHP نسخه‌ای خاص از ANP است. دوم، ANP ساختاری غیرخطی دارد، در حالی که AHP ساختاری خطی و سلسله مراتبی دارد. این تفاوت‌ها به انتخاب گزینه برتر در شرایط واقعی کمک می‌کند. برای حل یک مساله با ANP، ابتدا شبکه‌ای از هدف‌ها، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها و روابط بین آنها ترسیم می‌شود. سپس تمامی مقایسات زوجی انجام می‌شود. وزن معیارها و گزینه‌ها در سوپر ماتریس به دست می‌آید و گزینه‌ای که بالاترین وزن نهایی را داشته باشد، بهترین گزینه خواهد بود. شکل (۲) تفاوت ساختاری بین سلسله مراتب و شبکه ها را نشان می دهد. فلش ها وابستگی ها را نشان می دهند، در حالی که دایره ها همبستگی های داخلی بین عناصر خوشه را نشان می دهند. در ANP، همانند AHP، مقادیر اهمیت نسبی با مقایسات زوجی و با استفاده از طیف ۱ تا ۹ تعیین می‌شود، که عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان و عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت شدید یکی از عوامل نسبت به دیگری است.



شکل ۲: تفاوت ساختاری بین الف: ساختار **AHP** و ب: **ساختار ANP (مومنی، ۱۳۸۷)**

فرآیند تحلیل تحلیلی (ANP) هر موضوع را به عنوان شبکه ای از معیارها، زیرمعیارها و جایگزین ها (که همگی عوامل نامیده می شوند) در نظر می گیرد که در خوشه ها گروه بندی می شوند. همه چیز در شبکه را می توان به نوعی به یکدیگر متصل کرد به عبارت دیگر امکان دریافت بازخورد و ارتباط در سراسر شبکه و بین خوشه ها وجود دارد بنابراین تحلیل شبکه شامل دو جنبه مدیریت کنترل و ارتباطات شبکه است سیستم‌های مدیریتی شامل روابط بین اهداف، معیارها و زیرمعیارها می‌شوند و بر ارتباطات داخلی سیستم تأثیر می‌گذارند، در حالی که ارتباطات شبکه شامل وابستگی‌های بین اشیا و خوشه‌ها است. این بخش از ANP امکان تجزیه و تحلیل بین مؤلفه‌ها را فراهم می‌کند، بنابراین شرح مفصلی از مشکلات پیچیده ارائه می‌کند تأثیر عناصر بر یکدیگر در شبکه از طریق یک ماتریس بزرگ اندازه گیری می‌شود. (شکل ۳) (زیردست، ۱۳۸۲: ۸۴).



شکل ۳: قالب استاندارد ابر ماتریس (وارثی و همکاران، ۱۳۹۴)

فرآیند تحلیل شبکه را می توان در چهار مرحله زیر خلاصه کرد:

ایجاد مدل و تبدیل مسئله به ساختار شبکه: ابتدا مسئله به شکل ساختار شبکه ترسیم می‌شود که شامل عناصر، معیارهای اولیه و ثانویه برای محاسبات بعدی با تکنیک ANP می باشد. ساخت این مدل مستلزم درک رابطه و تأثیر متقابل معیارها و زیرمعیارهای مسئله است تا بتوان شبکه ای را به واقعی ترین شکل ایجاد کرد (قنبری و روستایی، ۱۳۹۲: ۳۳۹). پژوهش حاضر سه گروه ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و حفاظت از زمین را برای پهنه بندی خطر سیل در نظر می گیرد. خوشه های ژئومورفولوژیکی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب و ساختار زمین شناسی هستند. خوشه های هیدرولوژیکی شامل چهار معیار هستند: تراکم زهکشی، جهت‌جریان، فاصله از حوزه های آبخیز و بارش، خوشه پوشش زمین نیز شامل دو معیار پوشش گیاهی و کاربری اراضی است.

ایجاد یک ساختار مسئله: در این فرآیند، تمام روابط بین عناصر باید در نظر گرفته شود. اینکه چه رابطه‌ای بین عوامل و عواملی که می توانند بر یکدیگر تأثیر بگذارند، گام اصلی و حیاتی مدل ANP است. بدیهی است که این عوامل دقیقاً یکسان نیستند و همه آنها به یکدیگر مرتبط نیستند. بنابراین با درک بهتر موضوع و حوزه مطالعاتی با استفاده از مطالعات قبلی و یا مصاحبه با کارشناسان مربوطه، باید عوامل مرتبط با یکدیگر را مشخص کرد تا بتوان روش‌ها را بین آنها مقایسه کرد. ارزیابی روابط و وابستگی‌ها: تمامی وابستگی‌ها و روابط به وسیله روش سوپرماتریس بررسی می‌شود (فاضل و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۷).

تشکیل ماتریس دودویی و تعیین بردارهای اولویت: در سلسله مراتب کنترل ANP، مجموعه‌ای از معیارها هستند که برای مقایسه تعاملات احتمالی در شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساعتی چهار سلسله مراتب کنترل اصلی شامل منافع، فرصت‌ها، هزینه‌ها، و خطرپذیری را تعیین کرده است، اما برای مدل‌سازی الزامی نیست که حتماً از این چهار سلسله مراتب استفاده شود. انتخاب این سلسله مراتب‌ها به معیارها و مسئله تصمیم‌گیری بستگی دارد.

تعیین وزن نسبی در فرآیند تحلیل شبکه مشابه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. یعنی وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها را می توان با مقایسه جفت تعیین کرد. مقایسه زوجی عناصر در هر سطح با توجه به اهمیت نسبی آنها در رابطه با معیارهای کنترلی انجام می‌شود که مشابه روش تحلیل سلسله مراتبی است. اهمیت نسبی آیتم ها بر اساس مقیاس ۹ ساعته (مشابهAHP) ارزیابی می‌شود. در این مرحله بردار اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که نشان دهنده اهمیت نسبی (ضریب اهمیت) عناصر یا خوشه‌ها است و با استفاده از رویکرد زیر به دست می‌آید (مددی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۳۹). که در آن A (ماتریس مقایسه دودویی معیارها)، W بردار ویژه (ضریب اهمیت)، و λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه عددی است. برای تعیین میزان سازگاری مقایسه ها از شاخص سازگاری با توجه به وزن معیارها استفاده می‌شود که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

رابطه (۱) $$CI\frac{\lambda\max - n}{n-1}$$

در کل متر از ۰/۱ باشد، مقایسه‌ها معتبر تلقی می‌شوند. مقایسه زوجی در دو مرحله، با توجه به هر معیار انجام می‌شود و نتایج این مقایسه‌ها در سوپرماتریس وارد می‌شود (عابدینی و بهشتی، ۱۳۹۵: ۳۰۱). سوپرماتریس را ایجاد کنید و آن را به یک سوپرماتریس محدود تغییر دهید تا نیازهای کلی یک سیستم و برهم کنش‌هایی را که شامل وارد کردن بردارهای اولویت (یعنیWS محاسبه‌شده) در ستون‌های مناسب ماتریس است، برآورده‌کند در مرحله بعد، سوپرماتریس متعادل با مقدار سوپرماتریس نامتعادل در ماتریس خوشه محاسبه می‌شود. سپس با نرمال سازی سوپرماتریس با وزن نرمال، آن را در طول ستون تصادفی می‌کنیم. در مرحله سوم و آخر، حد سوپرماتریس با بسط دادن تمام عناصر سوپرماتریس متعادل محاسبه می‌شود تا زمانی که معکوس حاصل شود (به طور مکرر)، یا به عبارت دیگر، تمام عناصر سوپرماتریس یکسان شوند رابطه (۲).

رابطه (۲) $$\lim_{k\to\infty} w^k$$

ماتریسی که با به توان رساندن یک ماتریس وزنی به دست می‌آید، یک ماتریس حد است که در آن مقادیر هر ردیف برابر است. اگر سوپرماتریس اثر زنجیره ای داشته باشد، ممکن است دو یا چند ابرماتریس وجود داشته باشد. در این حالت، جمع سطرها به شکلی منجر به همگرایی سوپرماتریس وزنی می‌شود (رابطه ۳).

رابطه (۳) $$\lim_{k\to\infty}\left(\frac{1}{N}\right)\sum W_i^K$$

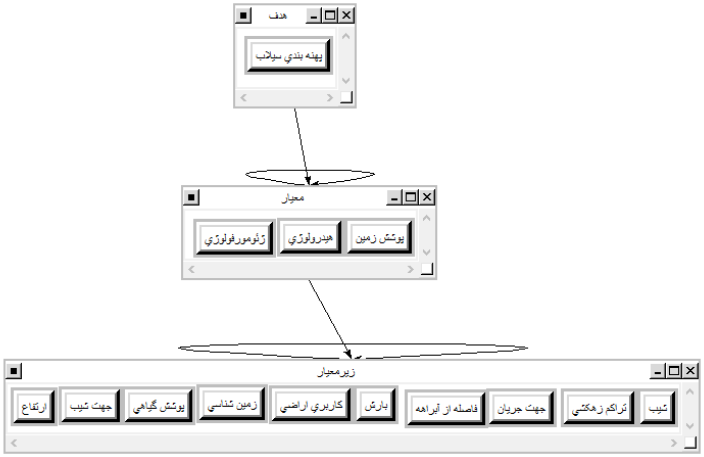
اگر سوپرماتریس ایجاد شده در مرحله سوم، کل شبکه را در نظر بگیرد و گزینه‌ها نیز شامل شوند، اولویت کل گزینه‌ها را می‌توان از ستون مربوط به گزینه‌های موجود در سوپرماتریس محدودیت عادی استخراج کرد. اما اگر سوپرماتریس تنها بخشی از شبکه وابسته به هم را شامل شود و گزینه ها در آن گنجانده نشده باشند، باید محاسبات اضافی برای تعیین اولویت کلی گزینه ها انجام شود. گزینه‌ای با بالاترین اولویت کلی به عنوان بهترین گزینه برای یک موضوع انتخاب شده است.

نتایج و یافته‌ها

تعیین میزان اهمیت متغیرهای موثر بر وقوع سیل

متغیرهای زیادی در میزان سیلاب یک حوزه آبخیز موثر هستند. در این تحقیق متغیرهای موثر بر خطر سیلاب در حوضه آبخیز رضی‌چای عبارتند از: توزیع فضایی ارتفاع در حوضه رضی‌چای، توزیع فضایی شیب در حوضه رضی‌چای، توزیع فضایی جهت شیب در حوضه رضی‌چای، توزیع فضایی پوشش‌گیاهی در حوضه رضی چای، توزیع فضایی زمین شناسی در حوضه رضی چای، توزیع فضایی کاربری اراضی در حوضه رضی چای، بارش، فاصله از آبراهه، جهت جریان، تراکم زهکشی. تاثیر هر یک از این متغیرها یکسان نیست و ممکن است بسته به ویژگی‌های محیطی هر منطقه متفاوت باشد. در حوضه آبخیز رضی‌چای بسته به ویژگی‌های زیست محیطی منطقه، می‌توان این ویژگی‌ها را بر اساس تأثیر آن‌ها بر سیلاب اولویت‌بندی کرد. برای تعیین اهمیت و تاثیر هر یک از این متغیرها از مدل فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) استفاده شد. فرایند تحلیل شبکه شامل چند مرحله می‌باشد که عبارتند از: ۱- مدلسازی و ساخت ساختارهای شبکه ۲- مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت مشابه آنچه در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مقایسه واقعی معیارها انجام می‌شود. این در فرآیند تحلیل شبکه تکرار می‌شود ۳- تشکیل سوپرماتریس‌های اولیه و ناموزون ۴- تشکیل سوپرماتریس موزون ۵- در نهایت در این مرحله از مدل، تمام عناصر سوپرماتریس تعادل به حد خود می‌رسند، به طوری که همگرا می‌شوند و مقادیر آنها برابر می‌شود. وزن های مشترک با ساخت سوپرماتریس از بردارهای عمومی به دست می‌آیند.

در این تحقیق پارامتر ها به سه خوشه تقسیم شدند که شامل؛ خوشه ژئومورفولوژی که شامل پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی می‌باشد. خوشه هیدرولوژیکی که شامل پارامترهای، بارش، فاصله از آبراهه، جهت جریان و تراکم زهکشی می‌باشد. خوشه پوشش زمین که شامل پارامترهای، پوشش گیاهی و کاربری اراضی می‌باشد. خوشه ژئومورفولوژیکی به دلیل تنوع فضایی زیاد، تأثیر زیاد در تشکیل استقرار در منطقه و نقش مهمی که در تولید و تخلیه روان آب های سطحی دارد، اهمیت بیش‌تری نسبت به دو خوشه دیگر دارد و همچنین با سایر متغیرهای خوشه ای مرتبط است. هنگامی که ساختار مدل ایجاد شد، مرحله بعدی ارزیابی عناصر یا مقایسه زوجی است. مقایسه زوجی فرآیندی است که اهمیت، ترجیح یا اعتبار دو مورد را با یک آیتم سطح بالاتر مقایسه می‌کند.در مدل فرایند تحلیل شبکه ابتدا ارتباط شبکه ای بین معیارها با زیرمعیارهای مربوط به خود و سپس معیارها با دیگر و زیر معیارها با دیگر زیر معیارهای مرتبط صورت گرفت. برای سهولت و دقت وزن معیارها از نرم افزار SOPER DECISION استفاده شده است که با وارد کردن مقایسات زوجی ضریب هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص می‌شود.با توجه به نتایج به دست آمده از مقایسات زوجی در تحقیق نشان میدهد عامل شیب با تاثیر ۳۰ درصد، ارتفاع با تاثیر۲۱ درصد و کاربری اراضی با ۱۷ درصد به ترتیب بیش‌ترین تاثیر را در بروز سیلاب منطقه دارد. دلیل اصلی این امر به تغییرپذیری نسبتاً کم این متغیرها نسبت به سایر متغیرها و همچنین کنترل دقیق سایر عوامل مربوط می‌شود. برخی از این متغیرها در حوادث سیلاب از اهمیت بالایی برخوردارند. بنابراین تاثیر آنها به دلیل وزن زیاد اعمال شده در ساختار لایه‌ها از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. در واقع وزن نهایی هریک از لایه ها بعد از ترکیب نهایی وزن‌ها با نقشه‌ها در محیط GIS مشخص می‌شود. در شکل (۴) و (۵) به ترتیب معیارها و زیرمعیارهای مدل ANP جهت پهنه بندی سیلاب منطقه و ضریب تاثیر هریک از کلاسه ها در بروز سیلاب ارائه شده است.



شکل۴: معیارها و زیرمعیارهای مدل ANP

Here are the priorities.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	پهنه بندي سيلاب	0.00000	0.000000
No Icon	هيدرولوژي	0.00000	0.000000
No Icon	ژئومورفولوژي	0.00000	0.000000
No Icon	پوشش زمين	0.00000	0.000000
No Icon	ارتفاع	0.21172	0.211717
No Icon	شيب	0.29843	0.298429
No Icon	جهت شيب	0.02866	0.028664
No Icon	پوشش گياهي	0.05106	0.051055
No Icon	زمين شناسي	0.11028	0.110278
No Icon	كاربري اراضي	0.16682	0.166815
No Icon	بارش	0.06199	0.061991
No Icon	فاصله از ابراهه	0.02642	0.026416
No Icon	جهت جريان	0.00331	0.003308
No Icon	تراكم زهكشي	0.04133	0.041327

Okay | Copy Values

شکل۵: ضریب تاثیر هریک از کلاسه ها در بروز سیلاب منطقه

تحلیل پارامترهای مورد استفاده

ارتفاع: با توجه به پراکندگی ارتفاع در حوضه آبریز رضی چای، با درجه بالایی از نابرابری مشخص می‌شود. بنابراین اختلاف ارتفاع به ۱۱۸۴ متر می‌رسد. متوسط و زیاد زبری و اختلاف ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر نشان دهنده پتانسیل انرژی بالای رودخانه ها در

حوضه آبریز مورد مطالعه است. این امر در نیمرخ طولی رودخانه رضی چای نیز منعکس شده و مورفولوژی آن شیب نسبتاً تند را به ویژه در قسمت بالادست نشان می‌دهد و در نتیجه شیب پر انرژی رودخانه، بستر رودخانه در ارتفاع قرار گرفته است. از طبقه ارتفاعی ۱۵۸۱-۱۷۰۳ تا طبقه ارتفاعی ۲۱۸۹-۲۴۸۰، مساحت طبقات ارتفاعی روند کاهشی را نشان می‌دهد. این امر غلبه طبقات ارتفاع متوسط در حوضه آبریز را تأیید می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که حوضه آبخیز رضی چای حوضه‌ای کوهستانی است و سطوح هموار و دشت درصد بسیار کمی از مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. این امر منجر به تراکم پوشش‌گیاهی کم، سیل و تولید رواناب زیاد می‌شود. در مجموع با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد در حوضه آبریز رضی چای می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه پتانسیل سیل بالایی دارد. به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد و در نتیجه شیب زیاد حوضه، رواناب تولید شده در قسمت‌های بالایی رودخانه با سرعت زیاد به سمت قسمت‌های پایین و هموار قسمت‌های میانی و پایینی حوضه حرکت می‌کند. . و در نتیجه میزان رواناب و خطر سیل در این قسمت ها افزایش می‌یابد. از طرفی نیروی فرسایشی رواناب به دلیل اختلاف ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد (شکل ۶).

شیب: سطح حوضه تأثیر زیادی بر رفتار هیدرولوژیکی و رواناب سطحی دارد. سرعت و حرکت سازه‌های سطحی به توپوگرافی زمین بستگی دارد. با بالا آمدن کوه‌ها، انرژی جنبشی آب در سطح زمین افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان آب ورودی به زمین کاهش و میزان رواناب افزایش می‌یابد، به طوری که میزان سیل و جریان زمین به طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از حوضه آبریز با افزایش مساحت، نسبت نیاز به ورود کاهش می‌یابد و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان جمع آوری افزایش می‌یابد. میانگین شیب حوضه آبخیز رضی چای ۱/۱۷درصد است. حدود ۱۴ درصد از منطقه مورد بررسی دارای شیب کم‌تر از ۵ درصد است. اراضی کم شیب بیش‌تر در کف دره‌ها و قسمت های بیرونی حوضه پراکنده است. پوشش شیب ۱۰-۵ درصد با مساحت تقریبی ۵/۳۲ کیلومتر مربع کمی بیش از ۲۵ درصد حوضه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. توجه به توزیع فضایی شیب را می‌توان به دو ناحیه متمایز تقسیم کرد: هر چه میزان بارندگی بیش‌تر باشد رواناب به دلیل شیب تند بیش‌تر می‌شود، سپس جریان کاهش می‌یابد و جریان های حاصل در پایین‌تر جریان می‌یابد. قسمت‌هایی از حوضه که شیب کم‌تری دارد. در شیب زیاد، لازم به ذکر است که در این منطقه به دلیل کمبود خاک و سنگدانه های قوی، آب کمی کم‌تر از حد متوسط در دسترس است که در برخی مناطق دارای مورفولوژی خمیری است، اگرچه پتانسیل آن برای تولید رواناب است. کاهش می‌یابد، اما در بخش‌های بالادست مشارکت رواناب و همچنین پراکندگی بیش‌تر شیب‌های پایین‌تر که امکان پخش جریان‌های آب را فراهم می‌کند، فراوانی تپه ماهوری احتمال وقوع سیل و پتانسیل رواناب و سیل را افزایش می‌دهد. فرسایش هنوز بالاست از سوی دیگر خطرات حوادث ناشی از استقرار در این مناطق وجود دارد (شکل ۷).

جهت شیب: یکی از مهمترین اثرات جهت شیب ، میزان تابش خورشیدی دریافتی و اثرات آن مانند وقوع اقلیم محلی است. در نیمکره شمالی جهات رو به جنوب و غرب نسبت به جهات شمال و شرق در معرض نور خورشید قرار دارند و بنابراین گرمتر هستند. نتیجه این است که اثر تشعشع بیش‌تر و گرمای بیش‌تر به سمت جنوب و غرب باعث افزایش تبخیر و تعرق سالانه و در نتیجه کاهش رطوبت خاک به سمت جنوب و غرب می‌شود. وضعیت پوشش‌گیاهی از نظر تراکم و نوع گیاهان نسبی است و از شمال و شرق متفاوت است و غالباً تراکم کم‌تری دارد و در نتیجه فرسایش خاک در این جهات بیش‌تر است. اثر مهم دیگر جهت گرادیان غلظت ذوب برف است. در جهات جنوبی و غربی سرعت ذوب برف به دلیل افزایش دما بیش‌تر است. در این مناطق برف مدت کوتاه‌تری روی زمین می‌ماند و آب شدن آن به تدریج در زمستان و اوایل بهار اتفاق می‌افتد و به همین دلیل جریان زمستانی در این مناطق بیش‌تر و جریان چشمه یکنواخت تر از مناطق آبی با جهت شمال است. و در شرق، طول برف در زمستان بیش‌تر و عمق و تراکم آن نیز بیش‌تر است. در این مناطق ذوب برف عمدتاً در فصل بهار اتفاق می‌افتد و در نتیجه جریان بهاره رودخانه اغلب بیش‌تر از دبی زمستانی است و به دلیل تجمع برف زمستانی و تخلیه ناگهانی احتمال وقوع سیلاب‌های بزرگ وجود دارد. دمای هوا در بهار نیز بسیار بالاتر است. در منطقه مورد مطالعه، شیب جنوب غربی با توجه به روند و جهت کلی حوضه آبخیز رضی چای ۱,۲۱ درصد و شیب جنوبی ۵,۱۷

درصد است. شیب و ذوب سریع برف در اواخر زمستان و اوایل بهار به طور قابل توجهی بر رواناب و سیل در حوضه آبریز مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد (شکل ۸).

پوشش‌گیاهی: این عامل از اهمیت بالایی برخوردار است و هم از نظر تأثیر آن بر سایر عوامل محیطی مانند فرآیندهای ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و حتی حیات وحش حائز اهمیت است. در این تحقیق از شاخص پوشش گیاهی NDVI برای برآورد پوشش گیاهی کل استفاده شد. شاخص مذکور با پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ محاسبه شد. شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) اندازه‌گیری غیرمستقیم فعالیت فتوسنتزی است. محدوده این شاخص بین -۱ برای کم‌ترین مقدار و +۱ برای بیش‌ترین میزان فعالیت فتوسنتزی است. شاخص NDVI به صورت زیر تعریف می‌شود (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۸).

رابطه (۴) $$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR: باند مادون قرمز نزدیک و RED مادون قرمز است. و مقادیر ۰/۱۵ تا ۰/۲۲ نشان دهنده مناطق بایر یا مناطق با پوشش گیاهی ضعیف است.این بخش با پوشش گیاهی کم به دلیل فشار کم جو و دخالت انسان است. برخی از بخش‌های این زمین به دلیل برداشت محصول به عنوان دیم با مقادیر NDVI کمی پایین‌تر طبقه‌بندی شدند. کلاس های با مقادیر NDVI بین ۰/۲۲ تا ۰/۳۰ مناطقی با پوشش گیاهی متوسط را نشان می‌دهند. حدود ۳۴/۴ درصد از این کلاس را به خود اختصاص داده است. کلاس های با مقادیر بین ۰/۳۰ تا ۰/۴۰ مناطقی با پوشش گیاهی متراکم و زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد. در قسمت های بالای ارتفاعات پراکندگی نشان دهنده مزارع متراکم و در دره‌های میانی و بالایی نشان دهنده زمین های کشاورزی است. دو کلاس با مقادیر NDVI بیش‌تر از ۰/۴۰ باغ ها، مراتع و مراتع با پوشش گیاهی غنی و متراکم را نشان می‌دهد (شکل ۹).

زمین شناسی: ارتفاعات منطقه مورد مطالعه از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن تشکیل شده است. حوضه آبریز رضی چای در شکاف زمین شناسی ایران در استان البرز-آذربایجان واقع شده است. بر روی سطح حوضه آبریزرضی چای، واحدهای سنگ‌شناسی مختلفی پراکنده است که بیش‌تر مربوط به سنوزوییک تا ائوسن است. از نظر مقاومت و نفوذپذیری الف) واحدهای سنگ شناسی با مقاومت بالا و نفوذپذیری کم شامل کلیه سنگ‌های آتشفشانی حوضه آبریز رازاکی، چکای و مکی. این واحدها عمدتاً از بازالت تشکیل شده اند. ب) واحد سنگ‌شناسی با مقاومت و نفوذپذیری متوسط، متشکل از سنگ‌های آهک حوضه‌ای. این واحد سنگ شناسی مربوط در سن کرتاسه بوده و در طبقات حوضه عیار چندانی ندارد و ج) یک واحد سنگ‌شناسی با پایداری کم است. نفوذپذیری آب بالا، از جمله آبخوان‌ها. این زیربخش بیش‌تر در حوضه مطالعه پراکنده است. این نوع سنگ‌شناسی در حوضه مورد مطالعه دارای اثر رواناب و فرسایش در سطح حوضه می‌باشد.خاطرنشان می‌شود که سطح حوضه آبریز مورد مطالعه عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی دوره ائوسن پوشیده شده است که پایداری نسبتاً بالایی دارند و برعکس سطح سیلاب حوضه پایین است و آبراهه ها از قلمرو واحدهای سنگ‌شناسی اطراف آبرفت‌های جوان پراکنده و شکسته است.سیل می‌تواند باعث فرسایش شدید در این واحد شود. واحدهای سنگ‌شناسی حوضه آبریز رضی چای به شرح زیر است (سازمان زمین شناسی کشور، گزارش نقشه زمین‌شناسی رضی در سال ۱۳۸۴). همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود بخش عظیمی از سازندهای زمین‌شناسی منطقه را سنگ‌های آندزیتی همراه با سنگ‌های بازالتی که در جنوب منطقه مشاهده می‌شود تشکیل می‌دهند (شکل ۱۰).

کاربری اراضی: یکی از مهمترین اثرات فعالیت انسان در بروز سیل، تغییر کاربری زمین و کمبود ظرفیت زمین است.امروزه استفاده نامناسب از زمین مهمترین دلیلی است که سیلابها بیش‌تر و در حال افزایش است، به ویژه در دهه اخیر خسارات اقتصادی ناشی از این گونه سیلابها تخریب ساختمانها، تأسیسات و تخریب زمین است. در این پژوهش، پوشش زمین منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و گوگل ارث تهیه شد. طبق هدف پژوهش، لایه کاربری اراضی در قالب هفت طبقه اراضی ساخته شده ، زمین بایر، مرتع با پوشش گیاهی خوب، مرتع با پوشش گیاهی ضعیف، مرتع با پوشش گیاهی متوسط، کشاورزی دیم، کشاورزی آبی و اراضی مسکونی طبقه‌بندی شد. ۳۴ درصد از مساحت حوزه آبخیز رضی‌چای را مراتع با پوشش گیاهی کم تشکیل می دهد. همچنین تقریباً ۲۱ درصد از حوزه آبخیز رضی چای دارای کاربری بایر است. در این دو بخش از کاربری بسیاری از نزولات جوی به آب تبدیل می‌شود. سکونتگاه‌های منطقه مورد مطالعه عمدتاً در قسمت‌های پایین حوضه متمرکز شده‌اند که با وجود مخاطرات، مساعدترین

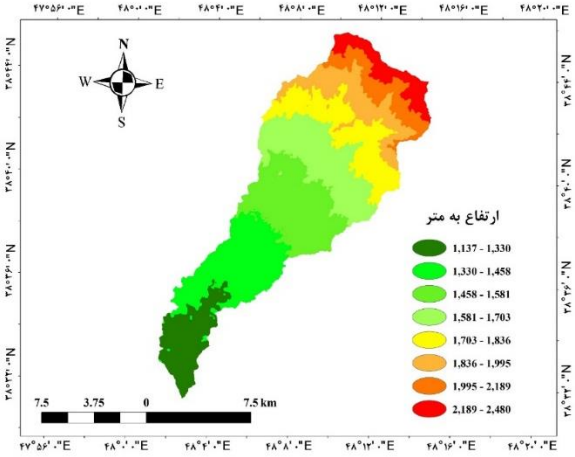
شرایط را برای توسعه سکونتگاه‌ها و فعالیت های کشاورزی ایجاد کرده است. همچنین در قسمت‌های بالای حوضه، نقاط روستایی متعددی بر روی سطحی نسبتاً هموار یا به عبارتی بر روی گسل ها یا شیب های کوچک منطقه‌ای قرار دارند. انواع کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه، علاوه بر اینکه به عنوان یک طبقه مجزا در ترکیب متغیرهای تاثیر سیل گنجانده شد، به طور غیرمستقیم در ارائه کلاس ارتفاعی جریان حوضه گنجانده شد. واضح است که اراضی مسکونی و دیم بیش‌ترین ضریب تأثیر را در رویدادهای سیلاب دارند و برعکس، باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی آبی از کم‌ترین ضریب تأثیر برخوردارند (شکل ۱۱).

بارش: بارش در قسمت شمالی منطقه روند افزایشی دارد. به‌طوری که هرچقدر ارتفاع بیش‌تر می‌شود بارش افزایش می‌یابد به همین دلیل بخش عمده‌ای از مراتع خوب و اراضی جنگل در این قسمت قرار دارد. به‌طوری که هرچقدر از جنوب به سمت شمال حرکت می‌کنیم میزان بارندگی بیش‌تر می‌شود و در نتیجه باعث ایجاد رواناب زیاد در این منطقه می‌شود (شکل ۱۲).

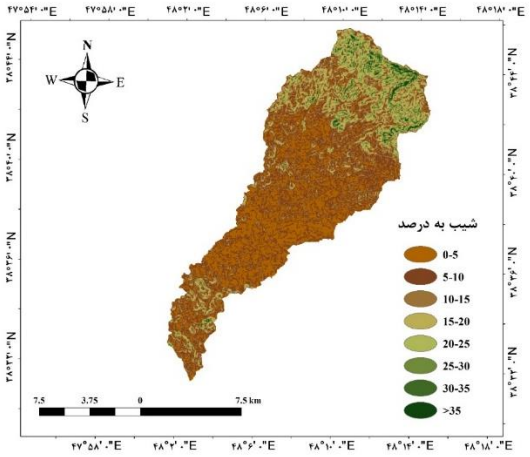
فاصله از آبراهه: فاصله از رودخانه ها نیز عامل موثری در ایجاد مناطق خطر سیل است. سیلاب‌های نزدیک به رودخانه‌ها دارای فراوانی و ظرفیت حمل بالاتری هستند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از دشت‌های سیلابی در کنار رودخانه‌های دارای خاک حاصلخیز برای فعالیت‌های کشاورزی اجتناب ناپذیر است. اما ساختن مکان‌ها، تأسیسات و صنایعی که با منابع زیاد انجام می‌شوند یا اهمیت استراتژیک دارند، چندان هوشمندانه به نظر نمی‌رسند. جاذبه‌های دشت‌های سیلابی برای ساخت و ساز و فعالیت‌های مختلف، از یک سو ناکافی بودن مرزبندی رودخانه‌ها حداقل در کشورهای در حال توسعه و عدم برنامه‌ریزی برای هدایت این گونه فعالیت‌ها، مرزها و حتی کف رودخانه‌ها را مشروط کرده است. کانال‌های اشغال شده توسط مردم ندانیم که روزی سیل دوره‌ای همه چیز را ویران خواهد کرد. در حوضه آبخیز رازی چای ایجاد آبراهه و کانال در مرزها منجر به باریک شدن مجرای رودخانه شده که ظرفیت سیلابی را کاهش داده و از سوی دیگر عاملی برای افزایش خسارات سیل آینده شده است. در نتیجه نزدیکی و فاصله از آبراهه‌های اصلی حوضه مورد مطالعه که وظیفه کنترل رواناب حوضه به پایه را بر عهده دارند، یکی از مهم‌ترین متغیرها در افزایش یا کاهش خطر سیل است. بدیهی است که مناطق سیلابی رودخانه رضی چای نسبت به سایر مناطق حوضه دارای پتانسیل سیلابی بالاتری هستند (شکل ۱۳).

تراکم زهکشی: این عامل توزیع آبراهه‌ها را در واحد سطح نشان می‌دهد. چگالی زهکشی شرط مهمی برای تعیین شدت سیل، میزان رسوب بارگذاری شده، تعادل آب در کل سطح و به طور کلی در فرآیند جریان سطحی است (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷). با افزایش چگالی آب، جریان آب نیز افزایش می‌یابد. به همین دلیل، تراکم زهکشی یک عمل رایج در سطح حوضه است. به عبارت دیگر، در مناطقی با ظرفیت زهکشی زیاد، واکنش حوضه به بارندگی سریعتر رخ می‌دهد و امواج سطحی با سرعت بیش‌تری تشکیل می‌شود، بنابراین سیلاب‌های بیش‌تری را به دنبال خواهد داشت (صالحی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به سناریوهای فوق، تراکم زهکشی به عنوان یکی از متغیرهای موثر بر خطر سیل در رودخانه رضی چای استفاده شد. می‌توان گفت که تراکم زهکشی در پایین دست و در نوار غربی حوضه دیده می‌شود و در نوار شرقی و بالادست حوضه از کم‌ترین میزان تراکم برخوردار می‌باشد. به طورکلی میتوان گفت در قسمت‌هایی که تراکم زهکشی بیش‌تر است شرایط برای وقوع سیلاب بهتر فراهم می‌شود. بنابراین در نوار غربی و پایین دست حوضه بخصوص در فصل‌هایی که میزان بارندگی زیاد است به دلیل پرآب شدن رودخانه احتمال وقوع سیل بیش‌تر می‌شود (شکل ۱۴).

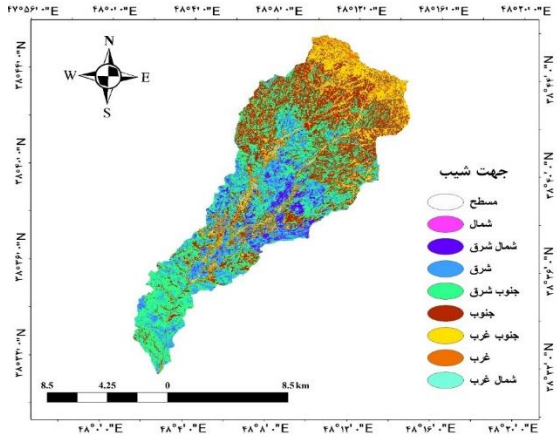
جهت جریان: شیب آبراهه یکی از ویژگی‌های مهم حوضه آبخیز است که به لحاظ اهمیت خاص خود در مطالعات هیدرولوژی مد نظر قرار گرفته است. شیب بیش‌تر آبراهه‌ها می‌تواند باعث افزایش سرعت جریان آب و در نتیجه افزایش توان حمل رسوبات و آب باشد، که این امر می‌تواند منجر به تشدید سیلاب شود. جهت جریان از طرف شمال به جنوب در جهت خطوط ارتفاعی و همچنین شمال غرب و شرق نیز دارای جهت های متفاوتی می‌باشد. بیش‌ترین جهت جریان در شمال شرق و کم‌ترین آن در شرق می‌باشد (شکل ۱۵).



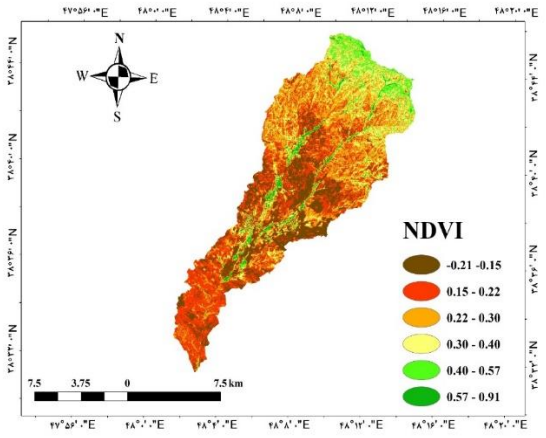
شکل ۶: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز رضی چای



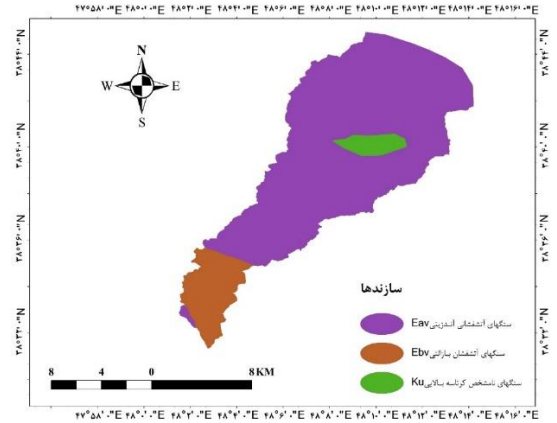
شکل ۷: نقشه طبقات شیب حوضه آبخیز رضی چای



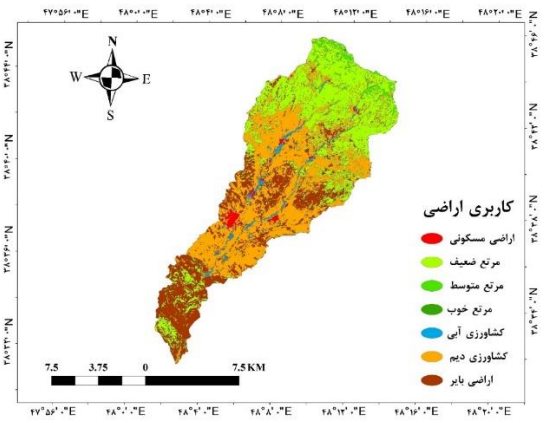
شکل ۸: نقشه طبقات جهت شیب حوضه آبخیز رضی چای



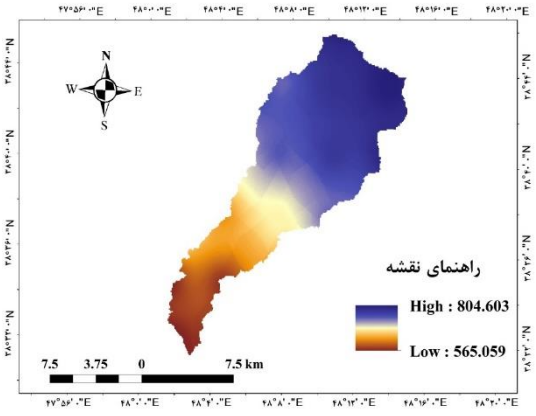
شکل ۹: نقشه طبقات پوشش گیاهی حوضه آبخیز رضی چای



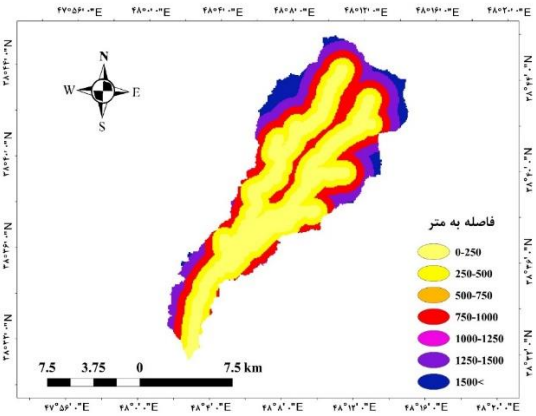
شکل ۱۰: نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز رضی چای



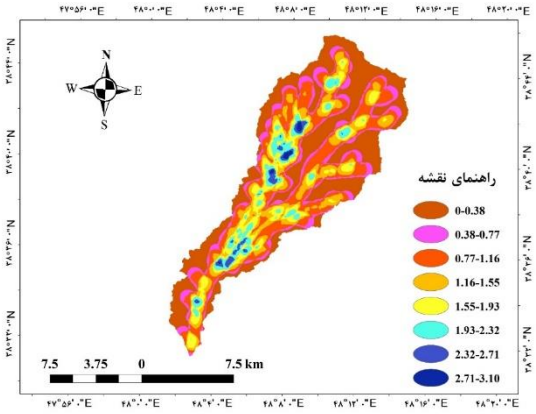
شکل ۱۱: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رضی چای



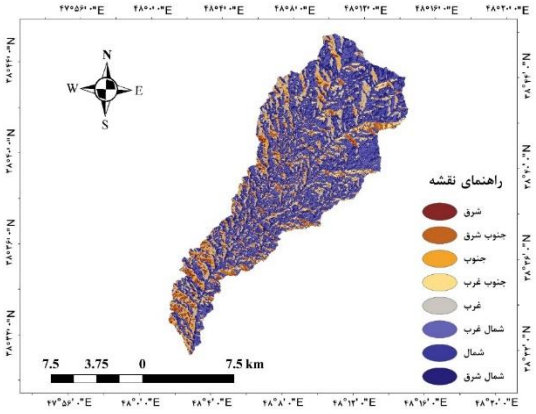
شکل ۱۲: نقشه بارش حوضه آبخیز رضی چای



شکل ۱۳: نقشه فاصله از آبراهه حوضه آبخیز رضی چای

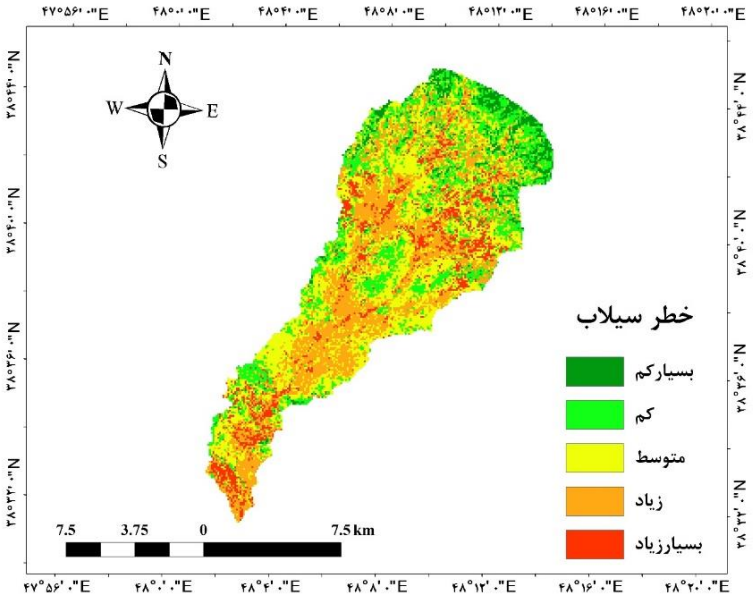


شکل ۱۴: نقشه تراکم زهکشی حوضه آبخیز رضی چای



شکل ۱۵: نقشه جهت جریان حوضه آبخیز رضی چای

جهت پهنه‌بندی ابتدا وزن هر یک از کلاس‌ها توسط فرایند تحلیل شبکه (ANP) محاسبه شد. سپس وزن هر کلاس با نقشه نرمال شده همپوشانی شدند. لایه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در نرم افزار GIS به پنج کلاس خطر بسیارزیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطرکم، خطربسیارکم طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۸ درصد حوضه آبریز رضی‌چای در خطر بسیار زیاد و ۲۸ درصد در خطر زیاد قرار دارد. این مناطق بیش‌تر در نزدیکی آبراهه‌های اصلی و دشت‌های سیلابی در اطراف آن‌ها قرار دارند. قسمت‌های پایین دست حوضه، یعنی از مصب رودخانه رضی چای از واحد کوهستانی تا واحد دشتی و همچنین در محل تلاقی دو آبراهه اصلی حوضه مورد مطالعه، در معرض سیلاب‌های مخرب قرار دارند. با توجه به اینکه بیش‌تر سکونتگاه‌های منطقه از جمله شهر رضی در آن قسمت از حوضه قرار دارند، خطرات سیل دو چندان می‌شود. بخش‌های بالادستی مجموعه مطالعاتی بیش‌تر در کلاس‌های بسیار کم خطر و کم خطر قرار دارند. در شکل (۱۶) و جدول (۱) نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز رضی چای و مساحت هر کلاس ارائه شده است.



شکل ۱۶: نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب رضی‌چای

جدول ۱: مساحت و درصد پهنه خطر سیلاب رضی‌چای

پهنه خطر سیلاب رضی‌چای	مساحت(کیلومترمربع)	مساحت (درصد)
بسیار کم	۹/۶۷	۶
کم	۳۳/۱۹	۲۲
متوسط	۵۸/۴۳	۳۶
زیاد	۵۰/۳۴	۲۸
بسیار زیاد	۱۶/۹۱	۸

نتیجه‌گیری

در این مطالعه حوضه آبریز رضی‌چای در شهرستان مشگین شهر در استان اردبیل بر اساس خطر سیل پهنه‌بندی شد. در این راستا جهت پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز رضی‌چای ۱۰ پارامتر موثر بر وقوع سیلاب مورد برررسی قرار گرفت که عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، بارش، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، جهت جریان، کاربری‌اراضی. برای یافتن اولویت یا اهمیت هر متغیر از مدل فرآیند تحلیل شبکه استفاده شد. زیرا اهمیت هر یک از متغیرها با توجه به ویژگی‌های طبیعی و انسانی حوضه یکسان نیست. در بین مطالعات انجام شده، مقاطع شیب، ارتفاع و کاربری اراضی بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص دادند و در نتیجه تأثیر بسزایی در وقوع سیلاب در رودخانه رضی‌چای داشتند. پس از تعیین اهمیت متغیرها، هر یک از این متغیرها به زیرمعیارها یا طبقات فرعی تقسیم شدند و با توجه به اهمیت هر عامل، مقایسه و اولویت‌بندی انجام شد و تأثیر زیرمعیارها مشخص شد. وزن‌های به دست آمده بین صفر تا یک قرار گرفتند. در نهایت لایه‌های موضوعی جدیدی بر اساس این وزن‌ها تهیه شد و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل در سطح حوضه از روی هم‌پوشانی این لایه‌ها با توجه به وزن هر لایه تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۳۶٪ درصد از حوضه آبریز رضی‌چای در مناطق پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. این پهنه‌ها در قسمت پایین حوضه، به طور معمول در تقاطع دو آبراهه اصلی حوضه قرار دارند. با توجه به پراکندگی فضایی سکونتگاه ها در منطقه می‌توان گفت که اکثر سکونتگاه‌های قسمت پایین حوضه در معرض سیلاب قرار دارند. از طرفی در این پژوهش، طبقه‌بندی تصویری منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش

ماشین بردار پشتیبان برای ایجاد نقشه کاربری اراضی انجام شد. پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، اصلاحات و پیش پردازش‌های لازم برای شناسایی و تصحیح خطاهای جوی روی تصاویر انجام شد. در مرحله بعد، با استفاده از نمونه‌های آموزشی جمع‌آوری‌شده از هر کاربر، تصاویر هدف با استفاده از روش فوق در هفت دسته کاربری، مرتع ضعیف، مرتع متوسط، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، اراضی بایر، اراضی مسکونی، مرتع خوب طبقه‌بندی شدند. که بیش‌ترین درصد مساحت مربوط به کشاورزی دیم (۷۰/۱۵ کیلومترمربع)، مرتع ضعیف (۶۰/۹۵ کیلومترمربع)، اراضی بایر (۳۸/۴۹ کیلومترمربع) را به خود اختصاص داده است همچنین کلاس‌های، مرتع متوسط با مساحت (۵/۰۱ کیلومترمربع)، کشاورزی آبی (۲/۹۶ کیلومترمربع)، اراضی مسکونی (۲/۵۰ کیلومترمربع)، مرتع خوب (۰/۰۶ کیلومترمربع) را به خود اختصاص داده است. این موضوع به ویژه در مورد شهر رضی که در نزدیکی رودخانه رضی‌چای قرار دارد، به یک تهدید جدی زیست محیطی تبدیل شده است. بنابراین لازم است اقداماتی در سطح حوزه برای کاهش احتمال وقوع سیلاب انجام شود. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های عابدینی و محرم‌زاده ساریخانبیگلو (۱۳۹۷) و عابدینی و بهشتی (۱۳۹۵) تا حدی شباهت دارد. در مطالعات فوق، از مدل ANP برای پهنه‌بندی خطر سیل در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کرده‌اند. در این مطالعات همانند مطالعه حاضر عوامل فیزیوگرافی حوضه مانند شیب اهمیت بیش‌تری دارند و نواحی مرکزی و پست حوضه مستعد سیلاب هستند.

منابع و مأخذ

Abedini, M. , Babaee Olam, T. and Pasban, A. (2024). Flood risk assessment and zoning using MFFPI model (case study: Shafarood watershed, Gilan province). *Geography and Human Relationships*, *7*(1), 871-821. [In Persian].

Abedini, M., & Beheshti Javid, E. (n.d.). Potential flooding, ANP, fuzzy logic, zoning, Lighvan river. *16*(55), 293-312. [In Persian].

Abedini, M., Fathalizadeh, B., & Rajabi, M. (2021). Assessing the geomorphological hazards of the Zonouzchay catchment. *Journal of Geography and Planning, 25*(77), 131-148. [In Persian].

Amiri, M., Afifi, M., & Moghli, M. (2023). Micro-zoning flood hazard in Ahvaz city using GIS, AHP, and fuzzy logic. *Geographical Sciences Journal, 45*(19), 144–168. [In Persian].

Arnell, N. W. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change,* 134, 454–467.

Azua, S., Youngu, T. T., Aliyu, Y. A., Shebe, M. W., & Sule, J. O. (2019). Spatial multi-criteria analysis for mapping of flood vulnerable areas in Fagge Local Government Area of Kano State, Nigeria. *FUTY Journal of Environment, 13*(1), 23–35.

Bang, N., & Church Burton, N. (2021). Contemporary flood risk perceptions in England: Implications for flood risk management foresight. *Henry Disaster Management Centre, Bournemouth University, Dorset.*

Di Palma, F., Amato, F., Nolè, G., Martellozzo, F., & Murgante, B. (2016). A SMAP supervised classification of Landsat images for urban sprawl evaluation. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 5*(6), 109.

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 Flood Plain, Assam. *Journal of Cleaner Production.*

Fazel, S., Taghvaii, M., & Mahmoodzadeh, A. (2017). Zonation of urban seismic vulnerability using ANP model (Case study: Najaf Abad city). *Emergency Management, 6*(1), 121-132. [In Persian].

Ghanbari, H., & Roostaei, S. (2013). Evaluation priorities in planning and spatial planning of border areas in East Azarbaijan using network analysis process (ANP). *Town and Country Planning, 5*(2), 335-360. [In Persian].

Hanafi, A., Barani Pesyan, V., & Ebadi Nejad, S. A. (2021). Flood risk assessment and zoning in urban settlements of Khuzestan Border Province using the fuzzy-AHP method. *Journal of Border Science and Technology, 10*(2), 1–35. [In Persian].

Jakeman, A., Letcher, R. A., Rojanasoonthon, S., Cuddy, S., & Scott, A. (2005). *Integrating knowledge for river basin management*. Australian Centre for International Agricultural Research.

Kazemi, M., & Jafarpoor, A. (2024). Identifying the threshold of variables affecting flood zones using machine learning technique (Case study: the downstream region of the Karun River). *Water and Soil Management and Modelling, 4*(1), 214-232. [In Persian].

Leh, M., Bajwa, S., & Chaubey, I. (2013). Impact of land use change on erosion risk: An integrated remote sensing, geographic information system, and modeling methodology. *Land Degradation & Development, 24*(5), 409–421.

Madadi, A., Piroozi, E., & Parastar, S. (2020). Flood hazard zonation in the Aghlaghan Chay watershed using the ANP model. *Environmental Researches, 10*(20), 21-34.

Mahmood Zadeh, H., Emami Kia, V., & Rasooli, A. A. (2015). Micro-zonation of flood risk in Tabriz suburb using analytical hierarchy process. *GeoRes, 30*(1), 167-180. [In Persian].

Memon, A. A., Muhammad, S., Rahman, S., & Haq, M. (2015). Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 18*(2), 99–106.

Nami, M. H., & Rostami, M. (2023). Preparing a flood vulnerability map using GIS-AHP approach; Case study: Alamut Rood river basin. *JHRE, 42*(182), 125-138. [In Persian].

Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West Shoa Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 27*, 100659.

Paknejad, F., Ghanavati, E., & Ahmadabadi, A. (2023). The relationship between land use changes in the increase of runoff in the Gorgan River watershed using satellite image data and statistical models. *E.E.R., 13*(4), 20-55. [In Persian].

Palamuleni, L. G., Ndomba, P. M., & Annegarn, H. J. (2020). Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire River catchment, Malawi. *Journal of Regional Environmental Change, 11*(4), 845–855.

Rashetnia, S., & Jahanbani, H. (2021). Flood vulnerability assessment using a fuzzy rule-based index in Melbourne, Australia. *Sustainable Water Resources Management, 7*(2), 351–362.

Vafakhah, M., & Moghaddamnia, A. (2018). *Flood Control*. Tarbiat Modares University Publications. [In Persian].

Yassin, N. A. M., Adnan, N. A., & Md Sadek, E. S. S. (2023). Analysis of Flash Flood Potential Index (FFPI) and scenarios assessment in Shah Alam using GIS approach. *Journal of the Malaysian Institute of Planners, 21*(2), 1–12.

Zanganeh Asadi, M. A., Amir Ahmadi, A., & Naemi Tabar, M. (2021). Efficiency evaluation of the VIKOR, L-THIA, and Artificial Neural Network (ANT) models in flood zone analysis (Case study: Khorasan Razavi Province). *Journal of Ecohydrology, 8*(1), 89-108. [In Persian].

Zebardast, E. (2010). The application of Analytic Network Process (ANP) in urban and regional planning. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning, 2*(41), 79-90. [In Persian].