



ارزیابی و تحلیل فضایی خطر سیلاب در مناطق کویر و بیابان بر پایه ی تلفیق روش های ANP و مقایسه ی زوجی در محیط GIS

مطالعه ی موردی استان خراسان رضوی

حجت‌اله یونسی^{1*}، احمد گودرزی²، بهزاد جوادی³

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه لرستان

2- دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه لرستان

3- کارشناس ارشد مهندسی آب، شرکت آب منطقه ای لرستان

تأیید نهایی مقاله: 1399/09/22

وصول مقاله: 1399/07/10

چکیده

در این پژوهش سعی شده با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM)، مناطق با درجات مختلف ریسک سیلاب جهت استقرار پایدار جمعیت در سطح هر یک از شهرستان های استان خراسان رضوی شناسایی شوند. بدین منظور، ابتدا داده های 6 پارامتر مؤثر شامل حداکثر دبی با دوره بازگشت های 2، 3، 5، 10، 25، 50، 100 و 200 ساله حاصل از خروجی نرم افزار HEC-HMS، تراکم زهکشی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، CN، شیب و نفوذپذیری منطقه ی مورد مطالعه، در محیط نرم افزار GIS آماده سازی گردید. سپس با استفاده از روش ANP و مقایسه ی زوجی به ترتیب وزن هر معیار و وزن کلاس های هر لایه در نرم افزار Super Decision محاسبه شد. سپس با استفاده از توابع تحلیل نرم افزار GIS، کل محدوده برای هر یک از معیارهای تعیین شده پهنه بندی شد. در نهایت، با تلفیق نقشه های پهنه بندی شده براساس وزن لایه ها که از روش ANP محاسبه شده است نقشه ی نهایی در پنج کلاس سیل خیزی خیلی کم تا سیل خیزی خیلی زیاد تهیه شد. نتایج مساحت شهرهایی که در معرض سیل خیزی با درجه ی خیلی زیاد هستند را نشان داد همچنین نتایج پهنه بندی ریسک سیلاب با دوره ی بازگشت 2 ساله در سطح کل استان نشان داد که بیش از 86 درصد مناطق دارای سیل خیزی کم و خیلی کم، 12/2 درصد مناطق دارای سیل خیزی متوسط و 1/8 درصد نیز از لحاظ سیل خیزی در درجه زیاد می باشد. در حالی که نتایج پهنه سیلابی در دوره ی بازگشت 200 ساله نشان داد که 41/3 درصد سیل خیزی کم، 31/4 درصد سیل خیزی متوسط، 13/3 درصد سیل خیزی زیاد و 14/1 درصد سیل خیزی خیلی زیاد را در سطح کل استان شامل می شود.

واژه های کلیدی: خطر سیلاب، استقرار جمعیت، مقایسه ی زوجی، استان خراسان رضوی

1- مقدمه

سیل رایج‌ترین مخاطره‌ی طبیعی در جهان است که هر ساله بسیاری از مردم جهان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و بیش از 90 کشور در جهان که در حدود 82 درصد از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد در معرض مخاطره‌ی سیل قرار دارند. و ایران نیز جزء این کشورها می‌باشد که در معرض خطر سیل قرار دارد (Yari & et all., 2019). علاوه بر آن تخمین زده می‌شود که تا سال 2050 بیش از 1/3 میلیارد نفر از جمعیت جهان در معرض مخاطره سیل قرار گیرند. (Falah & et al., 2019). و جوامع بشری آن را به عنوان یک واقعه اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند اما رویداد، اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط اقلیمی، طبیعی و جغرافیایی هر منطقه تغییر می‌کند. به همین دلیل رابطه‌ی بین بارندگی و رواناب به طور محسوسی از حوضه‌ای به حوضه‌ی دیگر فرق می‌کند و نه فقط هر حوضه بلکه هر زیرحوضه شرایط ویژه خود را دارد که بایستی مستقلاً مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه برای جلوگیری از بروز این‌گونه پدیده‌های زیان‌بار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود. بنابراین هرگونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه‌های آبریز جستجو کرد از این نظر مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند باید به طریقی شناسایی شوند. در این ارتباط اولین اقدامی که برای کاهش خطر سیل در جهت استقرار پایدار جمعیت مطرح می‌شود مهار سیل در سر منشأ آن یعنی زیرحوضه‌های آبریز است. مسلماً برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه می‌باشد، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوضه‌های آبریز انجام عملیات اجرایی و اصلاحی در سراسر حوضه امکان پذیر نبوده و حتی در صورت عدم بررسی دقیق می‌تواند امکان تشدید دبی اوج را با تغییر هم‌زمانی دبی‌های اوج زیرحوضه‌ها سبب گردد. لذا باید به طریقی مناطق سیل‌خیز شناسایی شوند، تا امکان عملیات اجرایی و اصلاحی در سطوح کوچک‌تر و خطر ساز فراهم شود. برای این منظور از مدل‌های رایانه‌ای متنوعی که برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز ارائه شده است می‌توان استفاده نمود. این مدل‌ها به‌طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی سیلاب به کار گرفته می‌شوند.

2- پیشنه‌ی تحقیق

مطالعات متعددی در مورد روش‌های ارزیابی خطر سیلاب از سال 2000 تا 2019 انجام شده‌است که مبتنی بر 4 روش اصلی می‌باشد. الف) روش‌های آماری: در این روش ارزیابی خطر سیل مستلزم ثبت سیلاب‌های تاریخی طولانی مدت است و تصور می‌شود که گذشته کلیدی برای آینده می‌باشد (Lyu et al, 2019). از جمله نات¹ (2006) به بازسازی فیزیکی و خطر ریسک مخاطره‌های بزرگ به مطالعه‌ی پرداخته و تعدادی از

1- Nott, J.

روش‌ها برای ارزیابی مخاطرات بر اساس ثبت طولانی مدت این مخاطرات را توصیف کرده‌است.

ب) سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور: که اولین بار مجیا ناوارو^۱ و همکاران (1994) به استفاده از GIS در ارزیابی خطر سیل را به کار گرفتند (Lyu et al., 2019). و در ادامه شوومان^۲ و همکاران (2000) به استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مفهومی کردن مدلسازی بارش رواناب به مطالعه پرداخته‌اند که در این مطالعه بیان کرده‌اند که چگونه می‌توان توصیفات آماری از ویژگی‌های حوضه‌ها برای بررسی ناهمگونی فضایی در مدل‌های مفهومی مورد استفاده قرار گیرد و مشکلات پارامترهای مبتنی بر مدل‌ها را حل کرد. ج) تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو (inundation analysis Scenariobased): در این روش برای ارزیابی خطر سیلاب تحت سناریوهای مختلف با تغییر دامنه‌ی فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یک روش کمی بوده که داده‌های مختلف را با استفاده از مدل‌های یک بعدی و دو بعدی باهم ترکیب می‌کند و فراوانی در مورد احتمال خطر سیل را نشان می‌دهد (lyu et al , ۲۰۱۹). که از جمله زلناکووا^۳ و همکاران (2019) به مدلسازی احتمال خطر سیلاب رودخانه اسلاوینس در اسلواکی به مطالعه پرداخته‌اند که با تلفیق GIS و ارزیابی آسیب‌های سیل را با استفاده از تحلیل هزینه (CA) انجام داده‌اند که این مدل در (HEC-RAS) اجرا شده است که در نهایت مناطق احتمال خطر سیلاب مشخص گردیده‌است و میزان خسارت محاسبه شده‌است. کیم و همکاران^۴ (2020) پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌های بازگشت 10، 20، 50 و 100 ساله رودخانه‌ی مکنونگ پایین کامبوج تایلند را انجام دادند و عنوان کردند مدل HEC-RAS با نقشه‌ی خطرپذیری سیل خود می‌تواند سطح عمق سیلاب را در رودخانه مورد مطالعه تخمین بزند و در ارائه‌ی اطلاعات در مورد عمق و مشخصات سیلاب برای جوامع رودخانه‌ای مفید باشد. د) سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA): یک روش تحلیل تصمیم‌گیری ترکیبی از مسائل را بیان می‌کند که اولین بار توسط ووگ^۵ (1983) ارائه گردید و پس از آن در دهه‌ی 1960 روش‌های متعدد دیگری برای بررسی روش (MCA) پیشنهاد شد. روش جدید (MCA) اغلب با فرایند تحلیل سلسه مراتبی فازی (FAHP) و تکنیک (GIS) برای ارتقا دادن به این رویکرد ترکیب شده‌است. (Lyu et al., Hajkovicz and Collins, 2007, 2019). روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که در سال 1980 به وسیله‌ی ساعتی پیشنهاد شد که معیارها را در یک چهارچوب سلسله مراتبی قرار می‌دهد که با تلفیق و رتبه‌بندی و وزن‌دهی به لایه‌ها که به دانش کارشناس بستگی دارد نقشه‌های احتمال خطر سیلاب را تهیه می‌کند. این روش به دلیل سادگی در

1- Mejia-Navarro, et al.,
2- Schumann, et al.,
3- Zelenakova M., et al.,
4- KIM, et al.,
5- Voogd, H.

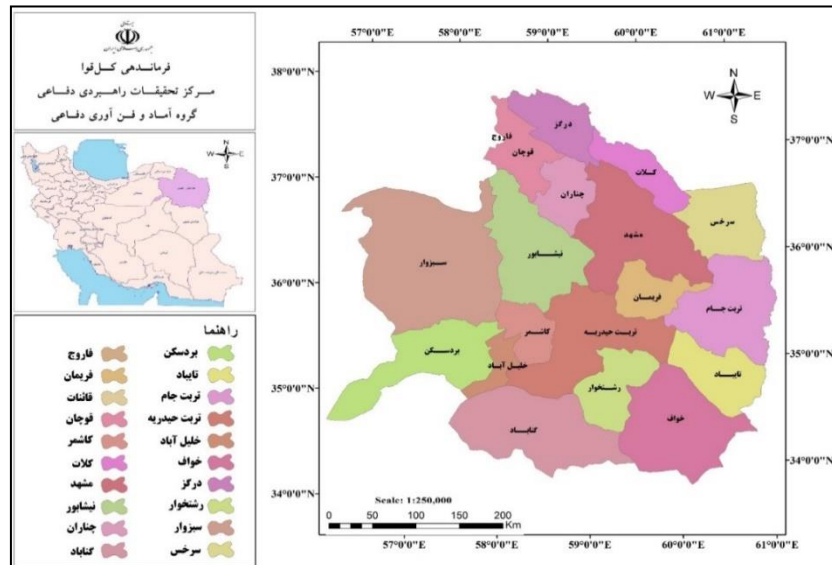
اجرا و با حداقل داده‌های در دسترس به طور گسترده در حوضه‌های آبریز در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود (Xiao et al, 2017. Das et al, 2019) و همچنین شیائو¹ و همکاران (2017) به مطالعه‌ی یکپارچه ارزیابی خطر سیل مبتنی بر روش متوسط میانگین وزنی محاسبه شده به مطالعه پرداخته‌اند که در این مطالعه یک چهارچوبی از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره با کمک GIS و فرایند تحلیل سلسه مراتبی و روش میانگین وزنی (OWA) انجام داده‌اند و اهمیت نسبی معیارها از طریق (FUZZY AHP) محاسبه شده است و در نهایت مناطق مستعد سیلاب را محاسبه کرده‌اند. و همچنین حسن لو و همکاران² (2020) به مطالعه، نقش GIS در یک فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره برای طبقه‌بندی خطرپذیری مناطق مانده و سملقان خراسان شمالی از نظر سیلاب را مورد بررسی قرار دادند با تلفیق GIS و MCDA، عوامل مؤثر در وقوع سیل بهتر ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که 5/8 درصد از مناطق منطقه در رده‌ی بسیار پر خطر، 14/1 درصد در منطقه پرخطر قرار دارند. و علاوه بر آن بسیاری از پژوهشگران داخلی از جمله عابدینی و جوکدان (1395) و مددی و همکاران (1397) و قاسمیان و نجفی (1398) با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی و همچنین مختاری و همکاران (1399) به مطالعه‌ای با استفاده از مدل ANP و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و با کمک معیارهای هیدرولوژی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی به پهنه بندی احتمال خطر سیلاب پرداخته‌اند و مناطق مستعد ریسک سیلاب را بیان داشته‌اند. هدف از این پژوهش تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و شناسایی مناطق با درجات مختلف ریسک سیلاب، جهت استقرار پایدار جمعیت در سطح هر یک از شهرستان‌های استان خراسان رضوی می‌باشد.

3- مواد و روش

3-1- منطقه پژوهش

استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران از تقسیم استان خراسان سابق به وجود آمده است. این استان از شمال و شمال شرق به کشور ترکمنستان، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب به استان خراسان جنوبی، از غرب به استان‌های یزد و سمنان و از شمال غرب به استان خراسان شمالی محدود است. مرکز این استان شهر مقدس مشهد است که در عرض شمالی 36 درجه 17 دقیقه، طول شرقی 59 درجه 36 دقیقه و ارتفاع 970 متری از سطح دریا واقع شده است. شکل (1) نقشه‌ی سیاسی استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد.

1- Xiao, Y. et al.,
2- Hasanloo et al.,

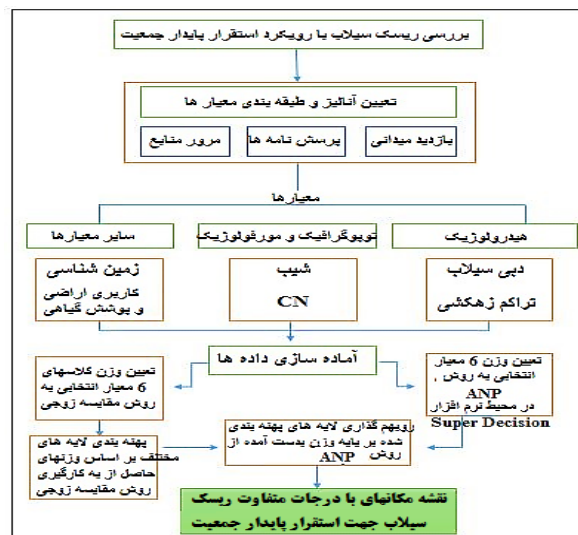


شکل (1): نقشه‌ی سیاسی استان خراسان رضوی

Figure (1): Political map of Khorasan Razavi province

3-2- مواد و روش‌ها

در این پژوهش پس از تعیین حدود منطقه، با تکمیل نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز از جمله حداکثر دبی سیلاب در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف 2، 3، 5، 10، 25، 50، 100 و 200 ساله (نتایج خروجی حاصل از نرم‌افزار HEC-HMS)، و لایه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی که با کمک تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث تهیه شد، و سپس شیب منطقه با کمک مدل رقومی ارتفاع موجود و با قدرت تفکیک 10 متر پردازش شده، و لایه‌ی نفوذپذیری و CN حاصل تلفیق نقشه‌ی کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک تهیه شده‌است، و لایه‌ی تراکم زهکشی با استفاده از نقشه‌ی شبکه‌ی آبراهه از نقشه‌ی 1:25000 سازمان نقشه‌برداری استخراج گردیده است و شاخص تراکم شبکه‌ی زهکشی از طریق دستور line density در محیط GIS محاسبه شده است و داده‌های حداکثر دبی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف محاسبه شد و سپس وزن نهایی هر لایه (خروجی حاصل از سیستم تصمیم‌گیری ANP و نرم‌افزار Super Decision محاسبه شده‌است) بر آن اعمال می‌گردد و همه‌ی لایه‌ها در محیط GIS با هم تلفیق شده است در نهایت نتایج پهنه‌بندی ریسک سیلاب، با شناسایی مناطق با درجات مختلف ریسک از لحاظ سیل‌خیزی، استقرار جمعیت در هر یک از محدوده‌ها با توجه به دوره‌ی بازگشت‌های مختلف برای هر یک از زیرحوضه‌ها و مرز شهرستان‌ها تعیین می‌گردد.



شکل (2): مدل فرآیندی پهنه بندی ریسک سیلاب با تأکید بر استقرار پایدار جمعیت با استفاده از تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با GIS

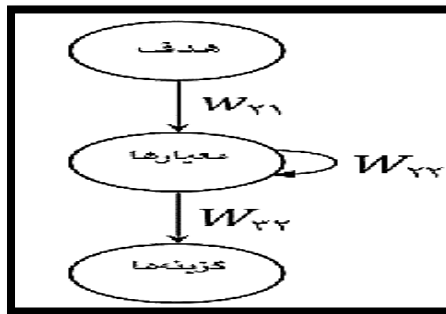
Figure (2): Flood risk zoning process model with emphasis on sustainable population settlement using a combination of multi-criteria decision making systems with GIS

3-3 مراحل روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

به طور کلی فرآیند مدل‌سازی شامل مراحل زیر می‌باشد:

- گام اول، پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله

موضوع یا مسئله باید به طور آشکار و روشن به یک سیستم منطقی، مثل یک شبکه تبدیل شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان از طریق طوفان مغزها یا روش گروه اسمی بدست آورد. در این مرحله موضوع مورد نظر به ساختار شبکه‌ای که در آن گروه‌ها به عنوان خوشه‌ها مطرح هستند تبدیل می‌شود. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند. این ارتباطها (وابستگی بیرونی) با پیکان نشان داده می‌شوند (شکل 3).



شکل (3): نمایش وابستگی درونی و بیرونی از ساختار شبکه‌ای خوشه‌ها

Figure (3): shows the internal and external dependence of the network structure of clusters

-گام دوم، ماتریس مقایسات زوجی و برآورد وزن

مشابه مقایسه‌های دودویی که در AHP انجام می‌شود، عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها براساس میزان اهمیت آنها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌ها نیز بر اساس نقش و تأثیر آنها در دستیابی به هدف دوه‌دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تصمیم‌گیران در مورد مقایسه دودویی عناصر و یا خود خوشه‌ها دو به دو باید تصمیم‌گیری کنند.

علاوه بر این، وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دوه‌دو مورد مقایسه قرار گیرند. تأثیر هر عنصر بر روی عنصر دیگر از طریق بردار ویژه قابل ارائه است. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس 9 کمیته‌ی ساعتی سنجدیده می‌شود (Saaty, 1980). در این قسمت بردار اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که نشانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌ها است که از طریق رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$A_W = \lambda_{\max} W \quad (1)$$

که در آن λ_{\max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A است. همچنین بردار W با استفاده از رابطه زیر نرمال می‌شود:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n w_i \quad (2)$$

نتیجه‌ی آن w واحد است. به عبارتی جمع هر ستون در ماتریس برابر 1 می‌شود. که برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها از شاخص سازگاری وزن معیارها استفاده می‌شود که این شاخص با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

در کل با توجه به رابطه فوق اگر CI از 0/1 کمتر باشد مقایسه قابل قبول است.

-گام سوم، تشکیل سوپرماتریس اولیه

عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قرار دارند. این عناصر می‌توانند واحد تصمیم گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس براساس مقایسات زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود. وزن‌های حاصل در سوپر ماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان نمی‌دهند. قالب عمومی سوپرماتریس در شکل زیر نشان داده شده است.

← CN نشان‌دهنده‌ی خوشه N‌ام.

← ENn عنصر n‌ام در خوشه N‌ام.

← WIj ماتریس بلوک شامل وزن‌های نسبی

بردارهای w تأثیر عناصر در خوشه I‌ام نسبت به خوشه j است. اگر خوشه I هیچ تأثیری بر خوشه I‌ام خودش نداشته باشد (حالت وابستگی داخلی) W_{ij} ، صفر می‌شود. که در این مرحله سوپر ماتریس به دست آمده، سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود. شکل (4) فرمت استاندارد یک سوپر ماتریس را نشان می‌دهد.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & & C_k & & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1m1} & \dots & e_{k1} & e_{k2} & \dots & e_{kmk} & \dots & e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nmm} \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_k \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1k} & \dots & W_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{k1} & \dots & W_{kk} & \dots & W_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{n1} & \dots & W_{nk} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

شکل (4): نمایش فرمت استاندارد یک سوپر ماتریس W

Figure (4): Displays the standard format of a W matrix supermatrix

-گام چهارم، تشکیل سوپرماتریس وزنی

در واقع ستون‌های سوپر ماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هر کدام از بردارها برابر یک است. بنابراین این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (متناسب با بردار ویژه-هایی که در هر ستون وجود دارند). برای آنکه از عناصر ستون متناسب با وزن نسبی‌شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون برابر یک شود، هر ستون ماتریس، استاندارد می‌شود. در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هریک از ستونهای آن برابر یک خواهد بود. این موضوع شبیه به زنجیره مارکوف است که جمع احتمالی همه‌ی وضعیت‌ها معادل یک است. به ماتریس جدید ایجاد شده، ماتریس وزنی گفته می‌شود.

-گام پنجم، محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی

در این مرحله، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیرسطری آن باهم برابر شوند. براساس ماتریس بدست آمده، بردار وزن عمومی مشخص می‌شود. ماتریسی که در نتیجه به توان رسیدن ماتریس وزنی به دست می‌آید، ماتریسی حدی است که مقادیر هر سطر آن با هم برابر است. اگر سوپرماتریس اثر زنجیره‌واری داشته باشد، ممکن است دو یا چند سوپر ماتریس داشته باشیم و به صورت زیر سوپرماتریس وزنی همگرا می‌شود:

$$\lim_{k \rightarrow \Phi} W^k \quad (4)$$

$$\lim_{k \rightarrow \Phi} \left(\frac{1}{N}\right) \sum w_i^k \quad (5)$$

-گام ششم، محاسبه وزن نهایی معیارها

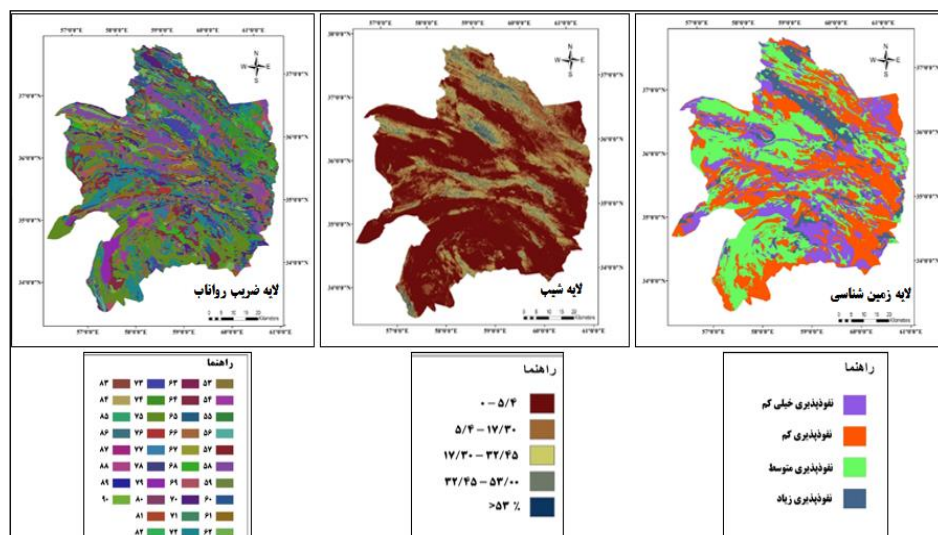
در آخرین مرحله با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و سوپر ماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود. اختصاصی و همکاران (1389)، مختاری و همکاران (1399).

با توجه به توضیحاتی که در گام دوم در فوق داده شد، در پژوهش حاضر برای تعیین وزن کلاس‌های هر یک از عوامل تأثیرگذار در امر شناسایی مناطق با درجات مختلف ریسک سیلاب، از روش مقایسه‌ی زوجی استفاده گردید. به منظور تعیین وزن، ابتدا ماتریس مقایسه‌ی زوجی برای هر یک معیارها تشکیل شده و زیرمعیارها (کلاس‌های مربوط به هر معیار) به صورت زوجی مقایسه گردیدند. در مقایسه‌ی زوجی به هر یک از معیارها وزنی مشخص در مقیاس 1 تا 9 داده شد. سپس با استفاده از این ماتریس مقایسه‌ی زوجی وزن نسبی عناصر محاسبه گردید.

4- بحث

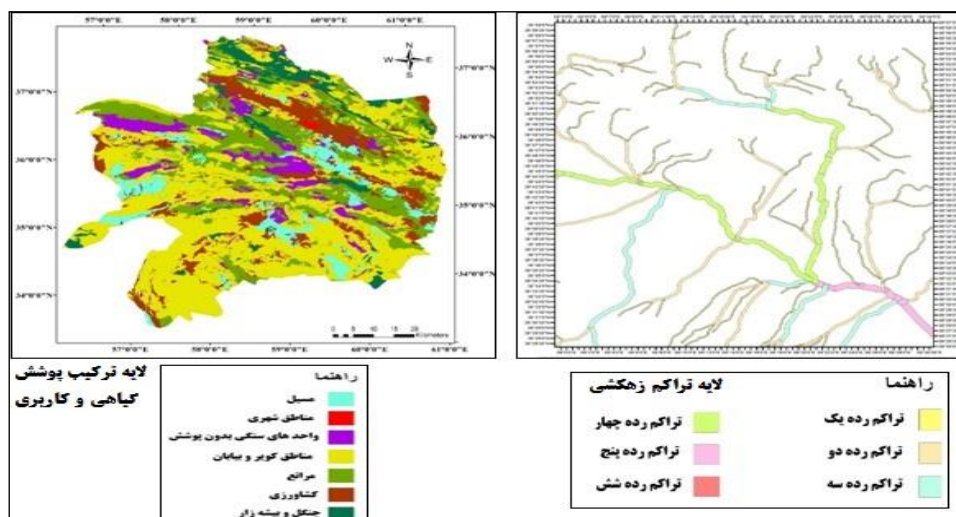
4-1- پردازش و تلفیق داده‌ها

در این پژوهش باتوجه به پارامترهای؛ دبی سیلاب، تراکم شبکه زهکشی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، CN، شیب و نفوذپذیری صورت گرفته است. پس از آماده‌سازی و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی شش‌گانه اصلی براساس شکل (5) در زیر، از روش مقایسه زوجی برای تعیین وزن کلاس‌های هر لایه و از روش ANP برای تعیین وزن نهایی معیارها استفاده شد. برای تعیین وزن‌ها همانطوری که قبلاً نیز توضیح داده شد از نرم‌افزار Super Decision استفاده گردید. روند کلی برای تعیین وزن معیارهای تاثیرگذار در مکانیابی مناطق با ریسک مختلف برای استقرار پایدار جمعیت، با استفاده از روش ANP در بخش 3-3 به طور مفصل توضیح داده شد. در این روش، معیارها در سه خوشه شامل معیارهای توپوگرافیک و مورفولوژیک، معیارهای هیدرولوژیک و سایر معیارها قرار گرفتند. سپس هر یک از این خوشه‌ها با توجه به زیرمعیارهایی که برای پهنه‌بندی ریسک سیلاب دارد طبقه‌بندی شد. همچنین در ذیل هر خوشه دسته‌ای از عناصر قرار دارند. این عناصر علاوه برآنکه در داخل خوشه به هم مرتبط هستند.



شکل (5): نمایش شماتیک شش لایه‌ی پهنه‌بندی شده به روش مقایسه‌ی زوجی

Figure (5): Schematic representation of six layered belts by paired comparison method



ادامه‌ی شکل (6): نمایش شماتیک شش لایه‌ی پهنه‌بندی شده به روش مقایسه‌ی زوجی

Continue Figure (6): Schematic representation of six zoned layers by paired comparison
Continuation of method

همچنین لازم به ذکر است که به دلیل فراوانی جداول وزن کلاس‌های هر معیار و تشابه موضوعی این جداول از نمایش جداول مقایسه‌ی زوجی همه‌ی این معیارها خودداری بعمل آمد و به عنوان نمونه در روش مقایسه‌ی زوجی، تنها به جداول مقایسه‌ی زوجی کلاس دبی سیلاب به همراه وزن آن آورده شده است (جدول 1). همچنین جدول کلاس‌بندی مربوط به هر معیار به همراه وزن نسبی آن حاصل از جدول (2) اکتفا شد. همچنین در روش ANP به جدول سوپر ماتریس اولیه جدول (3) و جدول وزن نهایی معیارها (جدول 4) بسنده شد و از آوردن جداول سوپر ماتریس وزنی و سوپر ماتریس حد، وزن عمومی خودداری به عمل آمد.

جدول (1): جدول مقایسه‌ی زوجی طبقات دبی سیلاب و وزن استاندارد شده آنها

Table (1): Pair comparison table of flood discharge classes and their standardized weight

دبی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)	کمتر از 30	100-50	150- 100	200-150	250-200	300- 250	وزن نسبی
کمتر از 30	1	1/15	1/22	1/35	1/54	2/1	0/12
100-50	-	1	1/1	1/18	1/35	1/78	0/139
150-100	-	-	1	1/1	1/25	1/7	0/147
200-150	-	-	-	1	1/14	1/52	0/136
250-200	-	-	-	-	1	1/34	0/185
300-250	-	-	-	-	-	1	0/247

جدول (2): جدول کلاس بندی مربوط به هر معیار به همراه وزن نسبی آنها

Table (2): Classification table related to each criterion with their relative weight

300-250	250-200	200-150	150-100	100-50	کمتر از 30	کلاس دبی (متر مکعب بر ثانیه)
0/247	0/185	0/139	0/147	0/136	0/12	وزن نسبی
رده 6	رده 5	رده 4	رده 3	رده 2	رده 1	کلاس تراکم زهکشی (متر)
0/261	0/208	0/167	0/141	0/117	0/105	وزن نسبی
کشاورزی	مراتع	کویر	واحد سنگی	شهری	مسیل	کلاس کاربری و پوشش گیاهی
0/123	0/124	0/143	0/153	0/158	0/187	وزن نسبی
78-74	74-70	70-66	66-62	62-58	58-54	کلاس CN
0/119	0/111	0/098	0/087	0/083	0/08	وزن نسبی
-	بیشتر از 53	32-53/45	17/32-3/45	5/17-4/3	5-0/4	کلاس شیب (درصد)
-	0/254	0/215	0/19	0/177	0/163	وزن نسبی
-	-	نفوذناپذیر	نفوذپذیری کم	نفوذپذیری متوسط	نفوذپذیری زیاد	کلاس نفوذپذیری (زمین شناسی)
-	-	0/384	0/284	0/186	0/147	وزن نسبی

جدول (3): جدول سوپر ماتریس اولیه

Table (3): Primary Supermatrix Table

خوشه سایر معیارها	خوشه معیارهای هیدروولوژیک		خوشه معیارهای توپوگرافیک و مورفولوژیک		عناصر	خوشه ها
	نفوذپذیری (زمین شناسی)	تراکم زهکشی	دبی سیلاب	CN		
کاربری و پوشش گیاهی	0/182	0/210	0/221	0/191	0	شیب
0/196	0/161	0/218	0/244	0	0/175	CN
0/202	0/172	0/231	0	0/192	0/196	دبی سیلاب
0/208	0/168	0	0/241	0/187	0/193	تراکم زهکشی
0/211	0	0/2	0/220	0/190	0/192	نفوذپذیری (زمین شناسی)
0/199	0/174	0/211	0/226	0/202	0/188	کاربری و پوشش گیاهی
0						خوشه سایر معیارها

جدول (4): وزن‌های نهایی معیارهای شش‌گانه اصلی با استفاده از نرم‌افزار Super Decision
Table (4): Final weights of the main six criteria using Super Decision software

خوشه‌ها	وزن خوشه‌ها (گام دوم)	عناصر	وزن عمومی (گام پنجم)	وزن نهایی
معیارهای توپوگرافیک و مورفولوژیک	0/242	شیب	0/144	0/035
معیارهای هیدرولوژیک	0/481	دبی سیلاب	0/219	0/1
سایر معیارها	0/277	تراکم زهکشی نفوذپذیری (زمین‌شناسی) کاربری و پوشش گیاهی	0/192 0/136 0/154	0/09 0/037 0/042

نتایج جدول (4) بیان‌گر این است که از بین عوامل مؤثر در خطر سیلاب شهرستان‌های استان خراسان رضوی، دبی سیلاب و تراکم زهکشی به ترتیب با وزن 0/1 و 0/09 دارای بالاترین وزن در بروز خطر سیلاب در استان خراسان رضوی می‌باشند. همچنین شیب زمین با وزن 0/035 دارای کمترین تأثیر در بروز خسارت سیلاب در استان مورد مطالعه می‌باشد. نتیجه این تحقیق با نتایج نوحه‌گر و همکاران (1395) که به این نتیجه رسیدند.

که از بین فاکتورهای مؤثر در سیلاب، پارامتر تراکم زهکشی بالاترین وزن و تأثیر را دارد و همچنین مطالعه رستمی و کاظمی (1398) و عبادی اقدم و ثاقبیان (1398) در خصوص این‌که شیب دارای کمترین تأثیر در وقوع سیلاب به ترتیب در محدوده‌های شهر ایلام و حوضه آبریز سرندچای می‌باشد، مطابقت دارد.

4-2 یافته‌های تحقیق

نتایج مطالعات انجام شده که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد به صورت لایه‌های رقومی وارد نرم‌افزار GIS شد. سپس بر اساس نتایج خروجی نرم‌افزار Super Decision و روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای ANP وزن نهایی به هر یک از لایه‌های ذکر شده داده شد. در نتیجه برای جریان‌های سیلابی با دوره‌ی بازگشت‌های 2، 5، 10، 25، 50، 100 و 200 ساله پهنه‌بندی سیلاب بر اساس مرز سیاسی هر یک از شهرستان‌های استان خراسان رضوی انجام گردید تا نتایج پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی هر یک از شهرهای استان با توجه به دوره‌ی بازگشت حداکثر (در این پژوهش 200 ساله) مورد بررسی قرار گیرد. نتایج پهنه‌بندی (جدول 5) نشان می‌دهند که برای سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های 2 و 100 ساله بیش از 50 درصد مناطق دارای سیل‌خیزی کم می‌باشند.

جدول (5): درصد مساحت مناطق مستعد سیل با دوره‌ی بازگشت 2 و 100 ساله

Table (5): Percentage of flood prone areas with 2 and 100 year return periods

مساحت مناطق (درصد)				دوره‌ی بازگشت سیلاب
سیل خیزی خیلی زیاد	سیل خیزی زیاد	سیل خیزی متوسط	سیل خیزی کم و خیلی کم	
	1/8	12/2	86	2 ساله
7/47	12/33	28/67	51/5	100 ساله

هم‌چنین این نتایج نشان می‌دهد که وسعت مناطق دارای پتانسیل سیل‌خیزی با افزایش دوره‌ی بازگشت به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به‌علاوه با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی مشاهده می‌شود که در دوره‌ی بازگشت‌های پایین (2، 5 و 10 ساله) فقط رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی در معرض سیل‌خیزی قرار می‌گیرند اما با افزایش ریسک سیلاب (25، 50، 100 و 200 ساله) درجه سیل‌خیزی مناطق نیز افزایش می‌یابد. به‌طوریکه در ریسک سیلاب 100 و 200 ساله شهرهای خواف، تربت جام، سبزوار، فریمان، خلیل‌آباد، کاشمر، گناباد و مشهد بیشتر در معرض سیل‌خیزی با درجه خطر پذیری زیاد و خیلی زیاد نسبت به سایر شهرها قرار می‌گیرند. این نتایج با نتایج شفيعی مطلق و عبادتی (1399) که با افزایش دوره بازگشت، مساحت منطقه سیل‌گیر افزایش می‌یابد هم‌خوانی دارد. هم‌چنین با نتایج غلامی و همکاران (1398) که به بررسی پهنه‌های سیل‌گیر حوضه‌های آبریز تهران در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف پرداختند مشابهت نزدیکی دارد. شکل (7) نتایج خروجی پهنه‌بندی ریسک سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های 2، 5، 10، 25، 50، 100 و 200 ساله را براساس مرز سیاسی هر یک از شهرستان‌های استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. هم‌چنین شایان ذکر است با توجه به توضیحاتی که در بخش قبل نیز توضیح داده شد سیل‌خیزی به 5 دسته (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد) در سطح کل حوضه تقسیم بندی شده است. شایان ذکر است با توجه به نتایج خروجی پهنه‌بندی شکل (8) به صورت نموداری درصد هر یک از پهنه‌های سیل‌خیزی در منطقه به تفکیک هر یک از شهرستان‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودارها بیش‌ترین درصد سیل‌خیزی در درجه زیاد و خیلی زیاد شهرستان‌های خواف با 40 درصد، رشتخوار 34 درصد، فریمان با 33 درصد و در درجه سیل‌خیزی کم شهرستان‌های درگز و قوچان به ترتیب با 63 و 61 درصد می‌باشند.

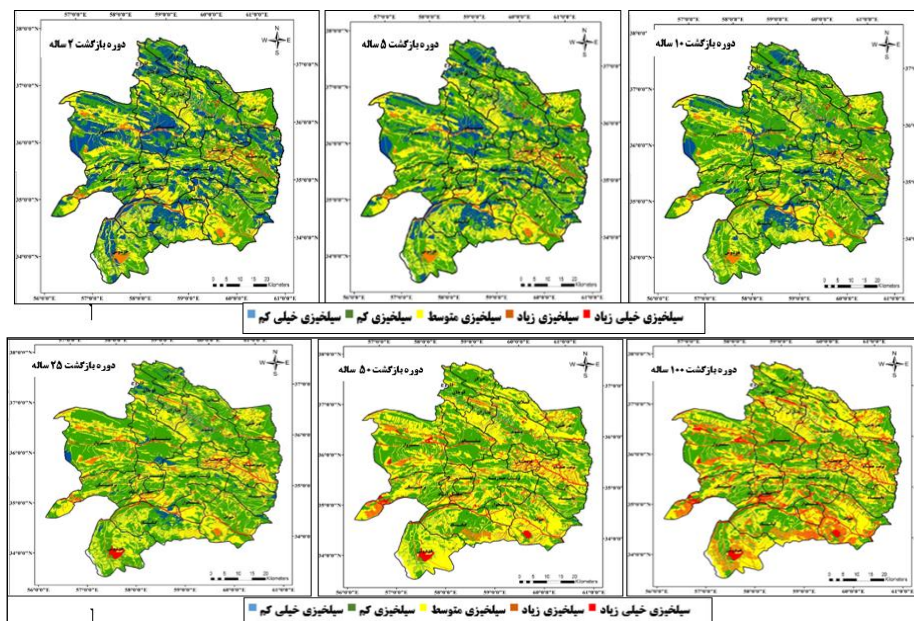


Figure (7): Outcome results of flood zoning based on different return periods



Figure (8): Percentage of floods in each of the cities of Khorasan Razavi province based on 200-year risk

5- نتیجه گیری

فزونی و جاری شدن سیلاب های مخرب یکی از پیامدهای جدی در مناطق کویر و بیابان می باشد. با بررسی مجموعه عوامل زیست محیطی که زمینه ساز این حوادث هستند، نشان می دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در عرصه های آبریز، کاربری غیر اصولی اراضی، توسعه سطوح غیرقابل نفوذ و امثال آن احتمال سیل خیزی را در مناطق گوناگون افزایش داده است. نتایج حاصل از پهنه بندی با حداکثر ریسک سیلاب، نشان می دهد که: برای سیلاب با دوره بازگشت 2 ساله در سطح کل استان خراسان رضوی بیش از 86 درصد مناطق دارای سیل خیزی کم و خیلی کم، 12/2 درصد مناطق متوسط و 1/8 درصد نیز از لحاظ سیل خیزی در درجه ی زیاد می باشد. در حالی که نتایج پهنه سیلابی در دوره ی بازگشت 100 ساله نشان می دهد که 51/5 درصد سیل خیزی کم، 28/67 درصد سیل خیزی متوسط، 12/3 درصد سیل خیزی زیاد و 7/47 درصد سیل خیزی خیلی زیاد را نشان می دهد. و همچنین شهرهای خواف، فردوس، خلیل آباد، کاشمر، تربت جام، فریمان، سبزوار، تربت حیدریه و مشهد بیشتر در معرض خطر سیلاب با درجه زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. همچنین درصد و مساحت درجه سیل خیزی در سطح کل استان خراسان رضوی براساس دوره ی بازگشت حداکثر (در این پژوهش 200 ساله) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی ها نشان می دهد که هنگام وقوع سیلاب با ریسک 200 ساله استان خراسان رضوی حدود 41/3 درصد سیل خیزی در درجه خیلی کم و کم، 31/4 درصد سیل خیزی در درجه متوسط و حدود 27/3 درصد سیل خیزی در درجه زیاد و خیلی زیاد می باشد. نتایج حاصل از این پژوهش، حاکی از کارایی قابل قبول روش ANP در ارزیابی خطر ریسک سیلاب می باشد از آنجا که روش ANP به طور سیستماتیک با وابستگی ها برخورد می کند یعنی تمام وابستگی های بیرونی و درونی میان عناصر و خوشه ها را برای تحلیل در نظر می گیرد، اما سایر روش ها این روابط را کمتر در نظر می گیرند. بنابراین با توجه به وابستگی های مسائل محیطی (از جمله موضوع مورد بحث) استفاده از روش ANP پشتیبانی های لازم را برای تصمیم گیرندگان و برنامه ریزان در حل مسائل مدیریت ریسک سیلاب به عمل می آورد تا بتوانند درک عمیق تری از مسائل محیطی بدست آورند. از این رو این مطالعه می تواند به عنوان گامی برای تحقیقات آتی برای کاربرد بیشتر و استفاده عملی از آن در دیگر کارها در تلفیق با GIS باشد.

6- منابع

- Abedini, M., Fathi Jokadan, R. (2016). Flood Risk Zoning in the Karganroud's Catchment Basin Using ArcGIS, *Hydrogeomorphology*, 2(7), 1-17. (In Persian)
- Dass, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 60-74.
- Ebadi Aghdam, S., Saqebian, S.M. (2019). Flood risk zoning using GIS and hierarchical analysis process (Case study: Sarandchay watershed), *The Second Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering and Geography in Sustainable Development*, (In Persian).
- Ekhtesasi M R. Sepehr A. (2011). Methods and models for assessing and preparing desertification maps. *Yazd University* (In Persian).
- Falah, f., Rahmati, O., Rostami, M., Ahmadisharaf, E., Daliakopoulos, I., Pourghasemi, H.R. (2019). Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas, *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, Elsevier, 323-337.
- Ghasemiayan, H., Najafi, E. (2019). Flood Hazard Zoning in Kouhdasht City Using Hierarchical and Fuzzy Analysis Model1, *Geography and human relationships*, 2(3), 403-417. (In Persian)
- Gholami, M., Ganavati, E., Ahmadabadi, A. (2019). Simulation of floodplain zones in Tehran's metropolitan watershed (case study: Kaan basin), *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards*, 6(4), 95-108. (In Persian)
- Hajkowicz, S., Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management, *Water Resour, Manage*, 21 (9), 1553-1566.
- Hasanloo, M., Pahlavani, P., Bigdeli, B. (2019). Flood Risk Zonation Using a Multi-Criteria Spatial Group Fuzzy-Ahp Decision Making and Fuzzy Overlay Analysis, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42: 455-460.
- Kim, V., Tantanee, S., Suparta, W. (2020). Gis-based flood hazard mapping using hec-ras model: a case study of lower mekong river, cambodia, *Geographia technica*, 15(1), 16-26.
- Lyua, H., Long Shena, S., Zhou, A., Yang, J. (2019). Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 31-44.
- Madadi, A., Piroozi, E., Aghayary, L. (2019). Flood Hazard Zonation by Combining SCS-CN

- and WLC Methods (Case study: Khiyave Chay Meshkinshahr Basin), *Hydrogeomorphology*, 5(17), 85-102. (In Persian)
- Mejía-Navarro, M., Ellen, W., Oaks, E., Sherry D. (1994). Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs Colorado. *Geomorphology*, 10 (1), 331–354.
- Mokhtari, D., Rezaei Moghaddam, M.H., Rahimpour, T., Moazzez, S. (2020). Preparing the Risk Map of Flood Occurrence in the Ghomnab Chai Basin Using ANP model and GIS Technique, *EcoHydrology*, 7(2), 497-502. (In Persian)
- Nohegar, A., Riahi, F., Kamangar, M. (2016). Determining suitable areas for flood spreading with the approach of sustainable development of groundwater resources Case study: Sarkhon plain, *Environmental Science*, 42 (1): 33-48. (In Persian)
- Nott, J. (2006). Extreme Events: A physical reconstruction and risk assessment. *Cambridge University Press*.
- Rostami, N., Kazemi, Y. (2019). Flood hazard zoning in the Ilam city using AHP and GIS, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*; 6 (1), 179-192. (In Persian)
- Shafiei Motlagh, K., Ebadati, N. (2020). Flood Zoning and Hydraulic Behavior Simulation Using HEC RAS in (GIS) Case Study: Maroon River - Southwestern Iran, *journal of Ecohydrology*, 7(2), 397-409. (In Persian).
- Schumann, Andreas H., Funke, R., Schultz, G. A. (2000). Application of a geographic information system for conceptual rainfall–runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 240 (1), 45–61.
- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. *McGraw-Hill. Book Co, New York*, 287.
- Voogd, H., (1983). Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning, 207 *Pion, London*
- Xiao, Y., Yi, S., Tang, Z. (2017). Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. *Sci. Total Environ*, 599, 10-34.
- Yari, A., Ardelan, A., Ostadtaghizadeha, A., Zarezadeh, Y., Soufi Boubakran, M. (2019). Underlying factors affecting death due to flood in Iran: A qualitative content analysis, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 101258.
- Zelenakova, H., Fijko, R., Labant S, Weiss E., Markovic G., Weiss R. (2019). Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kru _ zlov village, Slovakia, *Journal of Cleaner Cleaner Production*, 21.