

## ارزیابی خطر سیلاب با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و هیدرولوژیکی

(مطالعه موردی: استان خوزستان)

نوع مقاله: پژوهشی

پیمان طهماسبی<sup>۱</sup>، سعدی بیگلری قلدره<sup>۲</sup>، پگاه گل محمدی قانع<sup>۳</sup>، بختیار کریمی<sup>۴\*</sup>، امین کریمی فام<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵

صفحات: ۷-۲۴

<https://doi.org/10.71834/gisrs.2024.1115293>

### چکیده

مخاطرات محیطی از دیرباز به عنوان تهدیدی برای بشر و جامعه مطرح بوده‌اند. سیل یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مخاطراتی است که سالانه جان هزاران نفر را می‌گیرد، به بخش‌های کشاورزی، شیلات، مسکن و زیرساخت‌ها آسیب می‌زند و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گسترش خسارت سیلاب و پیامدهای ناشی از آن اهمیت و لزوم اعمال مدیریت سیلاب‌ها را هرچه بیشتر آشکار می‌سازد. در ایران به نیز دلیل وسعت زیاد، تنوع اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی و دگرگونی‌های رخ داده در مقیاس‌های زمانی و مکانی بارش‌ها، همه ساله سیلاب‌های عظیمی رخ می‌دهد. تحقیق حاضر جهت ارزیابی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز استان خوزستان (کرخه، کارون، جراحی و حله) بر اساس ترکیب مدل‌های منطق فازی (Fuzzy) و سلسله‌مراتبی (AHP) است. در این پژوهش از پارامترهای میزان بارش، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، پوشش گیاهی و شیب زمین استفاده شد. تهیه نقشه‌های رقومی پارامترها با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.3 با فرمت رستری صورت گرفت. احتمال رخداد سیل برای هر کلاس از هر فاکتور و همچنین اهمیت هر فاکتور نسبت به سایر فاکتورها در وقوع سیل توسط نظرات کارشناسی بررسی و وزن‌های مربوطه در نرم‌افزار مذکور محاسبه گردید. سپس وزن‌های به دست آمده برای هر کلاس به لایه‌های مربوطه اعمال شد و در نهایت نقشه‌های احتمال سیل منطقه مورد بررسی تهیه و در ۵ کلاس آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج حاکی از آن است که فاکتور بارش دارای بیش‌ترین تأثیر بر وقوع سیل بوده و کم‌ترین تأثیر مربوط به فاکتور پوشش گیاهی است و از مجموع مساحت ۶۲۹۲۵۲۱ هکتاری استان خوزستان، ۹/۷۴٪ در کلاس ارزیابی خطر خیلی کم؛ ۵۳/۴۷٪ ارزیابی خطر کم؛ ۲۱/۱۰٪ ارزیابی خطر متوسط، ۶/۹۷٪ ارزیابی خطر زیاد و ۸/۶۹٪ ارزیابی خطر خیلی زیاد قرار دارد. با توجه به اینکه میزان بارش در بخش‌های جنوب و جنوب غربی استان کم بوده اما از پتانسیل بالای سیلاب برخوردار هستند زیرا شیب زمین و تراکم رودخانه در این مناطق کم بوده در نتیجه آب ورودی از بالادست راه خروج به دریا نداشته و در این مناطق تجمع یافته و تحت مناطق سیل گیر عمل کرده‌اند. شهرهای آبادان، خرم شهر، چوئبند، شادگان، دارخوین، هویزه، قسمت‌های جنوبی اهواز و روستاهای اطراف آن‌ها در منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. نقشه ارزیابی خطر سیلاب به دست آمده می‌تواند به عنوان یک سامانه پشتیبانی تصمیم ساز برای پیش‌بینی سیلاب‌های آینده در منطقه مورد مطالعه استفاده شود.

واژگان کلیدی: سیلاب، ارزیابی خطر، تحلیل سلسله‌مراتبی، منطق فازی، استان خوزستان

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری رشته مهندسی آب، آبیاری و زهکشی دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران؛ p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir  
<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران؛ saadibiglari1370@gmail.com  
<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب، منابع آب دانشگاه کردستان، کردستان، ایران؛ pegah.golmohammadi@uok.ac.ir  
<sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران؛ bakhtiar.karimi@uok.ac.ir  
<sup>۵</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور GIS، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران؛ aminkarimifam@gmail.com

## مقدمه

است، ولی با توجه به خصوصیات هر منطقه، تفاوت در نوع سیل و میزان خسارات وارد شده وجود دارد. بنابراین، کاهش آسیب در نواحی مستعد سیل یک موضوع اساسی و ضروری می‌باشد (اسلامی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۰). در دنیای امروز، روش‌های زندگی شهری انسان‌ها خسارات جبران‌ناپذیری را به طبیعت وارد آورده و بسیاری از منابع طبیعی را در معرض تهدید قرار داده است. تعداد بلایای ناشی از مخاطرات محیطی و خسارات اقتصادی مرتبط با آن در سه دهه اخیر به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است (Storrøsten et al., 2024). ریسک سیل در کشورهای جهان به دلیل حداقل یکی از سه عامل شهرنشینی در مناطق مستعد سیل، تغییر اقلیم و همچنین افزایش رشد اقتصادی در مناطق دارای پتانسیل ریسک و آسیب بالقوه رو به افزایش است (شاگری رستمی و همکاران، ۱۴۰۰). مدیریت و ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر آب‌های سطحی در محدوده‌ی شهرها از اهمیت خاصی برخوردار است. تخریب حوضه آبخیز بالادست نواحی شهری به صورت‌های مختلفی همچون تخریب پوشش گیاهی، جاده‌سازی، گسترش بی‌رویه اراضی شهری و صنعتی و ... سبب کاهش نفوذ و تبخیر آب و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود. از سوی دیگر روند بارشی غالب در ایران به‌صورت رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت است؛ از این رو فرصت نفوذ باران به داخل خاک را کاهش داده و در نتیجه بخش قابل‌توجهی از بارش به رواناب‌های سطحی تبدیل می‌شود. لذا رودخانه‌ها و مسیل‌های حوضه‌های آبخیز شهری از درجه ریسک زیادی برای سیل‌خیزی و خسارات ناشی از آن برخوردار بوده و دستیابی به توسعه پایدار نیازمند طراحی مدل‌های مناسب مدیریت و حفاظت رودخانه‌ها، مسیل‌ها و حوضه‌های آبریز است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱).

مخاطرات محیطی از دیرباز به عنوان تهدیدی برای بشر و جامعه مطرح بوده‌اند. سیل یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مخاطراتی است که سالانه جان هزاران نفر را می‌گیرد، به بخش‌های کشاورزی، شیلات، مسکن و زیرساخت‌ها آسیب می‌زند و فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Daneshparvar et al., 2022). بلایای طبیعی در ۱۸ گروه طبقه‌بندی می‌شوند (Panahi et al., 2024). سیلاب یکی از حوادث طبیعی و ویران‌گر بوده و وقوع آن هر ساله چندین مرتبه گزارش می‌شود. با شروع تغییرات فصلی آب‌وهوا، شدت سیلاب‌ها و فراوانی آن در بسیاری مواقع تهدیدکننده است و هزینه‌های جانی و مالی بسیاری دارد. با توجه به آمار، بیش از ۴۰ درصد از بلایای طبیعی در جهان را سیلاب‌ها به خود اختصاص داده‌اند (Fink & Lu, 2010). سیل شایع‌ترین بلای طبیعی است و ۶۲٪ از کل بلایای طبیعی سال ۲۰۲۰ را در برمی‌گیرد (Peng et al., 2024). تقریباً ۴۳ درصد سیلاب‌های جهان و ۵۵ درصد خسارت‌های آن در جهان مربوط به قاره آسیا است. در کشور ما در دهه اخیر وقوع بیش از ۴۴۷ مورد سیل، تعداد ۱۶۷۵ نفر تلفات جانی به همراه داشته است و در این سال‌ها بخش بزرگی از اعتبارات سالانه طرح کاهش آثار مخاطرات طبیعی و مدیریت بحران، صرف جبران خسارات ناشی از سیل شده است (وجدانی‌نوذر و گیوه‌چی، ۱۴۰۱). وقوع سیلاب معمولاً در نتیجه یک وضعیت خاص، شدت بارندگی و یا تغییرات محیط جغرافیایی یا انباشت سریع و آزاد شدن آب رواناب از شیب‌های تند در بالادست به سمت پایین‌دست به وقوع می‌پیوندد و ناشی از بارش سنگین و رگباری باران است (Müller et al., 2009؛ حاجی‌بیگلو و واحدبردی، ۱۳۹۷). رخداد سیل در کشور ایران مختص به منطقه و موقعیت خاصی نبوده و تمام کشور از این پدیده متأثر

سیل به علت حجم ناگهانی آب و خروج آن از بستر رودخانه رخ می‌دهد، همچنین شامل زیرآب رفتن سطح زمین به دلیل افزایش آب‌های زیرزمینی و اضافه-بار سیستم زهکشی است (پروین، ۱۳۹۸). افزایش جمعیت، گسترش صنایع، گسترش شهرنشینی و توسعه ساخت‌وسازهای شهری باعث شده تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریزی پدید آید. همچنین تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، باعث تغییر الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن جریان در سطح شهر می‌شود. پیشروی شهرها در حوضه‌های آبریز، سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر، افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی اوج لحظه‌ای و تغییر کیفیت رخداد سیلاب‌های شهری شده است (آبیل و همکاران، ۱۳۹۸). رخداد سیلاب در طبیعت از قانون‌مندی‌های خاص خود پیروی می‌کند؛ ولی تشدید وقوع و تکرار آن به فعالیت‌های انسان در طبیعت بستگی دارد. اصولاً بزرگی سیل‌ها و تکرار آن‌ها در طول زمان تابع شدت بارندگی، نفوذپذیری زمین و وضع توپوگرافی منطقه است (متولی، ۱۴۰۱).

برای درک و پیش‌بینی رفتار و اثرات سیل، مدل‌سازی سیل ابزار مهمی است. برای پیش‌بینی توزیع جغرافیایی و زمانی سیلاب و همچنین آسیب‌ها و مخاطرات مربوط به آن، نیاز به توسعه مدل‌های ریاضی است که فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را که منجر به سیل می‌شود، تکرار می‌کند. پیش‌بینی سیل، ارزیابی خطر، کاهش سیل و برنامه‌ریزی و مدیریت واکنش تنها تعدادی از کاربردهای مدل‌های سیل می‌باشند (Kumar et al., 2023). با توجه به اهمیت مطالب فوق، مدل‌سازی رفتار سیل و تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل‌خیزی یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه-ریزان در زمینه‌ی بلاای طبیعی می‌باشد (Fenicia et al., 2013). نقشه برداری سیل، مبنایی را برای درک خوب روندهای تاریخی سیل، انتظارات آینده و

شناسایی مکان‌های آسیب‌پذیر و حساس که احتمالاً تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند، فراهم می‌کند. از این رو، نقشه‌های ارزیابی خطر سیلاب به عنوان ابزار مهمی در ارتباط خطر سیل به گروه‌های هدف مختلف در نظر گرفته می‌شود. آنها اطلاعات گردآوری شده برای رویدادهای سیل را به نهادهای عمومی مرتبط مانند مقامات مدیریت آب، شهرداری‌ها و استانداری‌ها یا مدیران بحران منتقل می‌کنند و همچنین آگاهی عموم را افزایش می‌دهند (Antzoulatos et al., 2022). اخیراً، از مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی به منظور مدیریت و کنترل سیلاب استفاده شده است. مدل‌هایی که مبتنی بر رفتار فیزیکی رودخانه‌ها و حوضه آبریز بوده و بر مبنای میزان بارش و رواناب محاسبه و برآورد می‌شد. آنها قادر به تجزیه و تحلیل جامع و کافی از وضعیت و رفتار حوضه‌ها نبودند (Filianoti et al., 2020). زیرا رودخانه‌ها مناطقی پویا و فعال به لحاظ ژئومورفولوژی بوده و استفاده از این روش‌های تک‌بعدی نیازمند هزینه و زمان بسیار بالایی می‌باشد. با توجه به موارد فوق، صاحب‌نظران جهت دریافت نتایج دقیق‌تر در حداقل زمان و کم‌ترین هزینه ممکنه شروع به استفاده از روش‌های تجربی و داده محور از جمله استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (کیا و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۵۶)، الگوریتم ژنتیک (Razavi-Termeh et al., 2023)، مدل‌های ارزیابی رگرسیونی (Cao et al., 2020) نمودند. با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، می‌توان تکنیک‌های نوینی، برای پیش‌بینی وقوع سیلاب و ارزیابی پتانسیل خطر سیل‌گیری ایجاد نمود. سنجش‌از دور داده‌های حیاتی را برای نقشه‌برداری منابع آب و طغیان سیل فراهم می‌کند، در حالی که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهترین ابزارها را برای مدیریت منابع آب و خطر سیل ارائه می‌کنند (Ding et al., 2021; Wang and Xie, 2018). تنوع و کیفیت بالای داده‌ها، به‌روز بودن داده‌ها به‌صورت شبانه‌روزی و تجزیه و

تحقیق تهیه نقشه‌ای به منظور ارزیابی خطر سیلاب با به‌کارگیری مدل‌های منطق فازی و تحلیل سلسله-مراتبی با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و هیدرولوژیکی می‌باشد. مزیت اصلی این روش سادگی آن و امکان انجام آن در مناطقی که اطلاعات اولیه کم است. با استفاده از این روش پتانسیل پهنه‌های سیلاب‌گیر در مناطق مختلف تعیین می‌شود. در نهایت براساس امتیازبندی بین مناطق مختلف، آسیب‌پذیرترین مناطق مشخص می‌شوند.

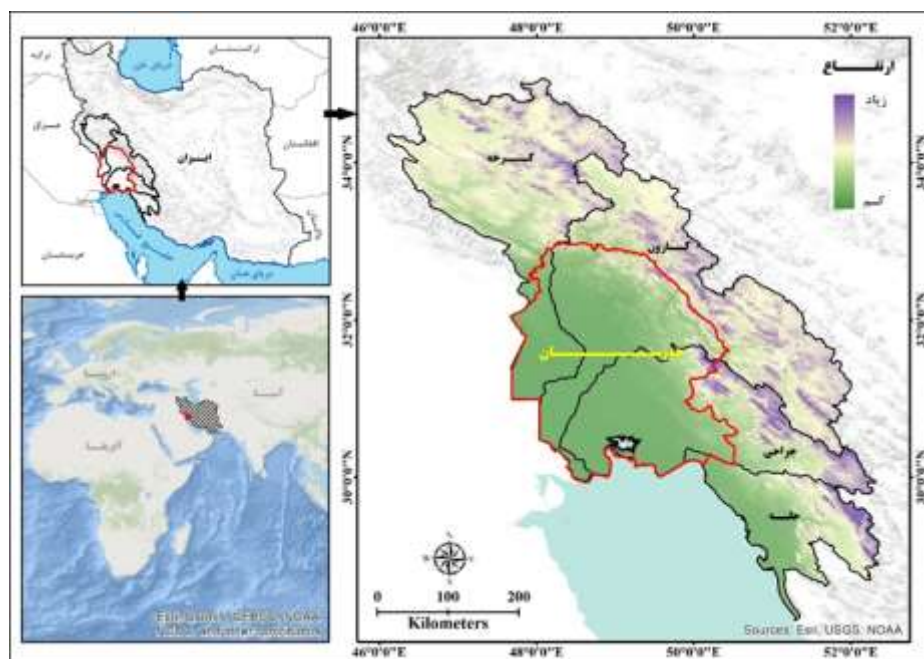
### داده‌ها و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر به پهنه‌بندی و پایش ارزیابی خطر سیلاب استان خوزستان پرداخته شده است. استان خوزستان در جنوب غربی ایران و در ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. از جهت شمال به استان لرستان، و از شمال شرقی به استان چهارمحال و بختیاری، از جنوب شرقی به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر، از جنوب به خلیج فارس، از غرب به کشور عراق و از شمال غربی به استان ایلام محدود می‌گردد. جهت بررسی سیلاب در استان خوزستان ابتدا می‌بایست حوضه‌های آبریز استان را مشخص کرد. مرز سیاسی استان خوزستان در برگیرنده ۴ حوضه آبریز شامل حوضه‌های کارون، کرخه، جراحی و حله است. بخش اندکی از خروجی حوضه مند و بالعکس بخش اعظم خروجی حوضه‌های کارون و جراحی از سواحل خوزستان به خلیج فارس می‌ریزند. در شکل (۱) موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

تحلیل سریع آن‌ها توسط تکنیک‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی باعث کارایی بیش‌تر مدل‌های هیدرولوژیکی در برآورد پتانسیل سیلاب‌خیزی شده است (Teng et al., 2022). اندازه و تکرار رویداد سیلاب در هر منطقه، بستگی به عوامل متعددی دارد. شناخت این عوامل و دسته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیه مهار سیلاب و کاهش خطرات آن است. در همین راستا به منظور مدیریت پدیده سیلاب لازم است ارزیابی خطر و پهنه‌بندی سطح خطر آن به صورت موردی صورت گیرد و مجموعه اقدامات لازم برای کاهش اثرات آن و برنامه‌ریزی‌های اضطراری جهت آمادگی قبل از وقوع این پدیده در نظر گرفته شود. شاید پیشگیری و حذف کامل خطر این پدیده امکان-پذیر نباشد، اما با پیشرفت تکنولوژی می‌توان مناطق آسیب‌پذیری در برابر سیلاب را از طریق مدل‌سازی دو بعدی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برابر رویدادهای شدید بارندگی شناسایی و تا حدی تاثیر آن را کاهش داد (وفایی و همکاران، ۱۴۰۲).

در سال‌های اخیر حوضه‌های آبریز (کرخه، کارون، جراحی و حله) استان خوزستان شاهد سیلاب‌های ویران-گری بوده که نبود اطلاعات از مناطق سیلاب‌گیر و همچنین عدم اقدامات اساسی جهت جلوگیری از سیلاب، باعث خسارت‌های مالی و جانی شدیدی به شهرها و روستاهای داخل این حوضه‌ها گردیده است. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه ارزیابی خطر سیلاب در حوضه‌های آبریز مذکور به کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی است تا تمهیدات و اقدامات لازم جهت کاهش صدمات ناشی از سیلاب‌های آتی لحاظ گردد و میزان آسیب‌پذیری سیلاب به حداقل برسد. هدف از این



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان خوزستان و حوضه‌های آبریز مذکور

### روش شناسی

این پژوهش از بعد ماهیت، کاربردی و از منظر شیوه تحقیق ترکیبی از روش‌های اسنادی، توصیفی و مبتنی بر مدل‌های کمی است. در این تحقیق از ترکیب دو مدل ریاضی بسیار مهم و پرکاربرد یعنی منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)<sup>۱</sup> به منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب استفاده شده است. AHP روشی برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین گزینه برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای متعددی است. این مدل یک سنتز ریاضی و شیوهی جبری تصمیم‌گیری با مقیاس نسبی است (Canco et al., 2021). در این روش با استفاده از شبکه سیستمی، شاخص‌های مختلف و ضوابط و معیارهای چندگانه با ساختارهای چند سطحی اولویت‌دار برای رتبه‌بندی در یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل AHP ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به‌طور هم-زمان امکان‌پذیر می‌سازد. این امر به تصمیم‌گیرنده این

امکان را می‌دهد که فارغ از هرگونه نفوذ و مزاحمت خارجی تنها روی مقایسه دو معیار یا گزینه تمرکز کند (معصوم زاده، تراب زاده، ۱۳۸۳). در AHP ترجیح بین جایگزین‌ها به وسیله ساختارهای مقایسه زوجی تعیین می‌شود. در یک مقایسه دوجانبه، تصمیم‌گیرنده دو گزینه را با در نظر گرفتن یک معیار و یک اولویت نشان می‌دهد (Özdağoğlu & Özdağoğlu, 2007). به‌طور کلی فرایند AHP دارای چهار مرحله است. این مراحل شامل:

الف: وزن دادن به سنجه‌ها؛

ب: وزن دادن به جایگزین‌ها؛

ج: به‌دست آوردن وزن‌های مرکب؛

د: آزمایش سازگاری؛

برای ارزیابی سازگاری داوری‌های تحلیل‌گر، باید "شاخص سازگاری" محاسبه شود در صورتی که عدد شاخص از ۰/۱ کم‌تر باشد می‌توان حاصل کار را خوب و وزن‌ها را قابل اعتماد دانست.

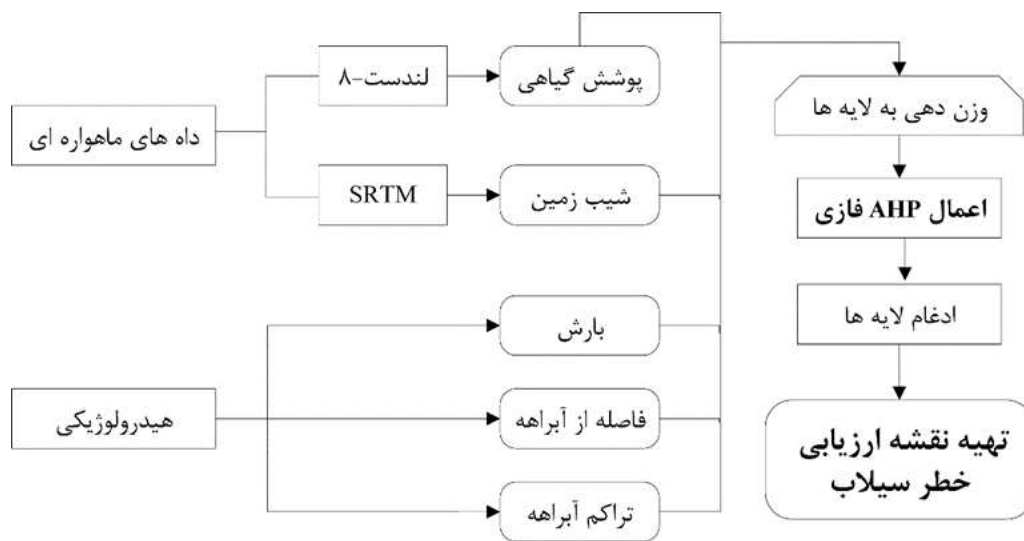
<sup>۱</sup>Analytical Hierarchy process

در این پژوهش جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب استان خوزستان داده‌های موردنیاز ماهواره‌ای از طریق سامانه Google Earth Engine و داده‌های هیدرولوژیکی از ایستگاه‌های سینوپتیک گردآوری شد. در این پژوهش، از معیارهای بیشینه بارش، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، پوشش گیاهی و شیب حوضه‌های آبریز استفاده شده است.

به کمک سامانه تحت وب Google Earth Engine شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) بر روی تصاویر لندست ۸ اعمال گردید تا پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز استخراج شود. همچنین به کمک این سامانه مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری از سنجنده SRTM تهیه و نقشه شیب حوضه‌ها از آن در محیط ArcMap 10.3 تهیه شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک و نقشه آبراهه حوضه‌ها نیز از وزارت نیرو دریافت گردید. در محیط ArcMap 10.3 از ایستگاه‌های سینوپتیک نقشه بیشینه بارش از طریق درون‌یابی تهیه شد و از آبراهه‌ها نیز نقشه فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه حوضه‌های آبریز به‌دست آمد. تمامی لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.3 رقومی شدند. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، وزن هر معیار و رده‌های آن معیار تعیین شد. در نهایت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.3 و با استفاده از روش Raster Calculator انجام شد. در شکل (۲) فلوجارت اجرای مراحل تحقیق نمایش داده شده است.

به کمک سامانه تحت وب Google Earth Engine شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) بر روی تصاویر لندست ۸ اعمال گردید تا پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز استخراج شود. همچنین به کمک این سامانه مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری از سنجنده SRTM تهیه و نقشه شیب حوضه‌ها از آن در محیط

به کمک سامانه تحت وب Google Earth Engine شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) بر روی تصاویر لندست ۸ اعمال گردید تا پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز استخراج شود. همچنین به کمک این سامانه مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری از سنجنده SRTM تهیه و نقشه شیب حوضه‌ها از آن در محیط



شکل ۲: فلوجارت مراحل انجام پژوهش

آبراهه، شیب زمین و پوشش گیاهی به‌منظور تهیه نقشه ارزیابی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز استان خوزستان انتخاب شدند. در ادامه به بررسی معیارهای مذکور در منطقه و نقش آن در پهنه‌بندی سیلاب پرداخته شده است.

#### مبانی نظری تحقیق

عوامل زیادی از جمله کاربری اراضی، شیب زمین، خاک‌شناسی، نزدیکی به رودخانه، وسعت مناطق مسطح در پای کوه‌های پرشیب و غیره بر وقوع سیل در حوضه‌های آبخیز تأثیرگذارند (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶)، اما در این پژوهش عوامل محیطی که اطلاعات آنها در دسترس هستند به کار گرفته شد. در این تحقیق ۵ فاکتور؛ بیشینه بارش، فاصله از آبراهه، تراکم

## بیشینه بارش

به منظور تهیه نقشه هم باران بیشینه بارش روزانه و سالانه از آمار ۷۴ ایستگاه سینوپتیک وزارت نیرو به علت پراکنش مناسب با طول دوره آماری ۱۷ ساله (۲۰۰۳-۲۰۲۳) در ۴ حوضه استفاده شد. در این پژوهش جهت بررسی تغییرات مکانی بارش، روش‌های درون‌یابی قطعی، روش وزنی معکوس فاصله و تابع شعاع محور و از روش‌های زمین آمار روش کریجینگ و کوکریجینگ معمولی و ساده با مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی بر روی داده‌ها امتحان گردید. سرانجام نتایج مدل‌های درون‌یابی با کاربرد نرم افزار ArcMap و استفاده از روش ارزیابی متقابل با هم مقایسه شدند و مدل درونیابی IDW که دارای کم‌ترین خطای برآوردی بود به منزله مدل مناسب برای تهیه نقشه تغییرات مکانی بارش استفاده شد. پس از تهیه نقشه تغییرات مکانی بارش، نقشه فازی بارش در حوضه‌های آبریز تهیه گردید. به طوری که میزان سیلاب با مقدار بارش رابطه مستقیم داشته و هر چه مقدار بارش بیش‌تر باشد میزان آسیب‌پذیری بالاتر است (شکل ۳).

## فاصله از آبراهه

سیلاب طبیعت رودخانه است و در واقع کار رودخانه ایجاد سیل است. با توجه به این‌که آبراهه‌ها در پائین‌ترین ارتفاع حوضه آبریز قرار دارند در نتیجه رواناب پس از بارندگی به صورت طبیعی از آبراهه‌های فرعی به سمت آبراهه اصلی هدایت می‌شوند و در آن جا تجمع می‌یابند و با توجه به شدت و مدت بارش به صورت سیلاب در آبراهه اصلی به سمت مناطق با شیب کم‌تر جریان می‌یابند. بنابراین رودخانه‌ها نقش بسزایی در ایجاد سیلاب ایفا می‌کنند به طوری که مناطق نزدیک رودخانه در هنگام وقوع سیلاب، از خطر آسیب‌پذیری بالاتری برخوردارند و بالعکس مناطقی که در فاصله دورتر از آبراهه‌ها قرار دارند مناطق بی‌خطر یا

مناطق با آسیب‌پذیری پایینی هستند (ابراهیمی گجوتی، ۱۳۸۵). در شکل (۳) نقشه فاصله از آبراهه و نقشه فازی فاصله از آبراهه‌های حوضه آبریز استان خوزستان آورده شده است.

## تراکم آبراهه

تراکم زه‌کشی یکی از مهم‌ترین پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی آبخیز است که اغلب از آن به عنوان شاخصی برای بیان وضعیت آبراهه‌های حوضه، بارندگی، رواناب، ظرفیت نفوذپذیری، تکامل توپوگرافی و فرسایش حوضه استفاده می‌شود. تراکم زه‌کشی از تقسیم طول کل شبکه هیدروگرافی شامل آبراهه‌های اصلی و فرعی به مساحت حوضه به دست می‌آید. میزان تراکم زه‌کشی در یک حوضه می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت شدت و ضعف رواناب در قسمت‌های مختلف آن باشد. بنابراین هرچه تراکم زه‌کشی در یک حوضه بالاتر باشد تخلیه رواناب در سطح آن حوضه به سادگی انجام می‌پذیرد و تجمع آب کم‌تر اتفاق می‌افتد و بالطبع میزان سیلاب کم‌تر رخ می‌دهد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳). به طور کلی آسیب‌پذیری سیلاب با تراکم آبراهه رابطه عکس دارد؛ زیرا هرچه تراکم بالاتر باشد طبیعتاً آب سطح حوضه توسط این کانال‌ها زودتر زه‌کشی می‌شوند (شکل ۳).

## شیب زمین

شیب حوضه یکی از عوامل مهم فیزیوگرافی است که در بروز سیلاب نقش عمده‌ای دارد. اصولاً شیب حوضه در افزایش سرعت آب، نیروی جنبشی آب، قدرت تخریب و حمل آن تأثیر مستقیم دارد به طوری که با افزایش شیب زمان تأخیر حوضه کم، میزان نفوذ آب در خاک کم و در نتیجه حجم سیلاب و رواناب سطحی افزایش خواهد یافت؛ زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه نزدیک با شیب آبخیز داشته و با افزایش آن تقلیل می‌یابد. در شرایط مساوی سرعت جریان در حوضه‌هایی با شیب تند نسبت به حوضه‌های با شیب

گیاهی و نقشه فازی پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز نمایش داده شده است.

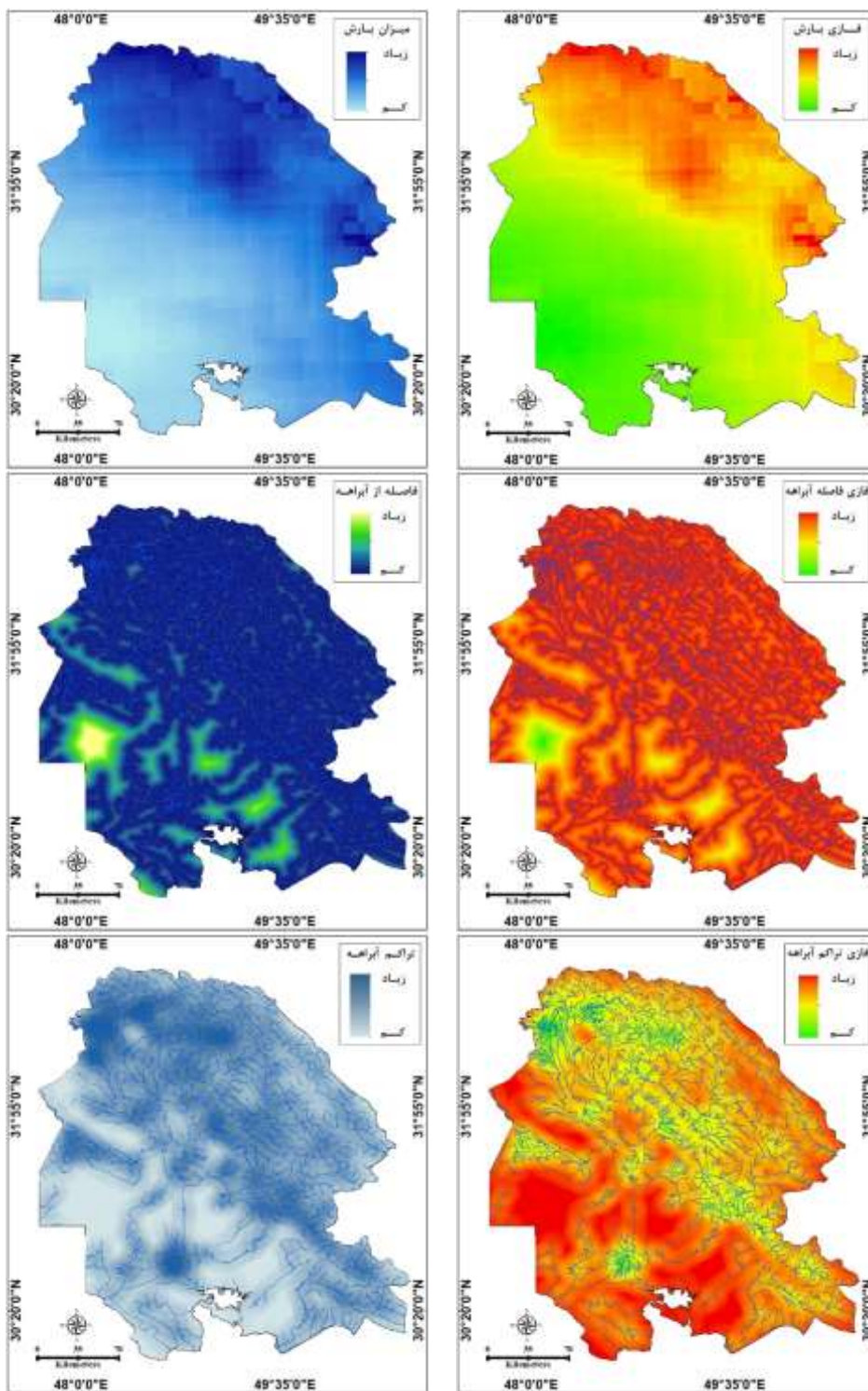
نقشه ارزیابی خطر سیلاب از اقدام‌های مفید جهت کاستن از شدت خسارت ناشی از سیلاب به حساب می‌آید؛ زیرا بدین‌وسیله می‌توان استفاده از مناطق پرخطر را محدود ساخت. همچنین از احداث برخی شهر و شهرک‌ها، شریان‌های حیاتی، خطوط انتقال نیرو و غیره در این محدوده‌ها جلوگیری به عمل آورد. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولین بار به‌وسیله توماس ال ساعتی در دهه‌ی ۱۹۸۰ ابداع شد (Saaty, 1980). اساس روش تصمیم‌گیری بر مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده است (قدسی‌پور، ۱۳۹۰). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل سه عنصر هدف، تعدادی معیار و گزینه است. برای رسیدن به هدف به تعدادی معیار مؤثر امتیاز داده می‌شود و وزن نسبی و وزن نهایی معیارها مشخص می‌گردد (Canco et al., 2021). مراحل اصلی تحلیل سلسله‌مراتبی جهت ارزیابی خطر سیلاب استان خوزستان شامل ساختن سلسله‌مراتب، تعیین ضریب اهمیت معیارها، تهیه‌ی ماتریس مقایسه‌ی زوجی، تعیین وزن معیارها و رده‌های معیارها و محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری می‌باشد.

ملایم سریع‌تر است (Ogato et al., 2020). از این‌رو، هر چه شیب بیش‌تر باشد سرعت آب بیش‌تر بوده و سریع‌تر به انتهای حوضه رسیده و زودتر تجمع می‌یابد. به عبارت دیگر حجم عظیمی از رواناب از مناطق با شیب زیاد به سمت مناطق با شیب کم جریان می‌یابد و در آنجا تجمع می‌یابد. بنابراین هر چه مناطق دارای شیب کم باشند تجمع سیلاب بالا می‌رود و به‌صورت مناطق آبیگر عمل کرده و حتی در بعضی مناطق شیب حوضه منفی می‌شود و رواناب راه خروج به دریا پیدا نمی‌کند. در نتیجه سیلاب با شیب رابطه عکس دارد که هر چه شیب کم‌تر حجم سیلاب افزایش می‌یابد (Khaddari et al., 2023). در واقع مناطق کم‌شیب تحت عنوان پهنه‌های سیل‌گیر عمل می‌کنند (شکل ۳).

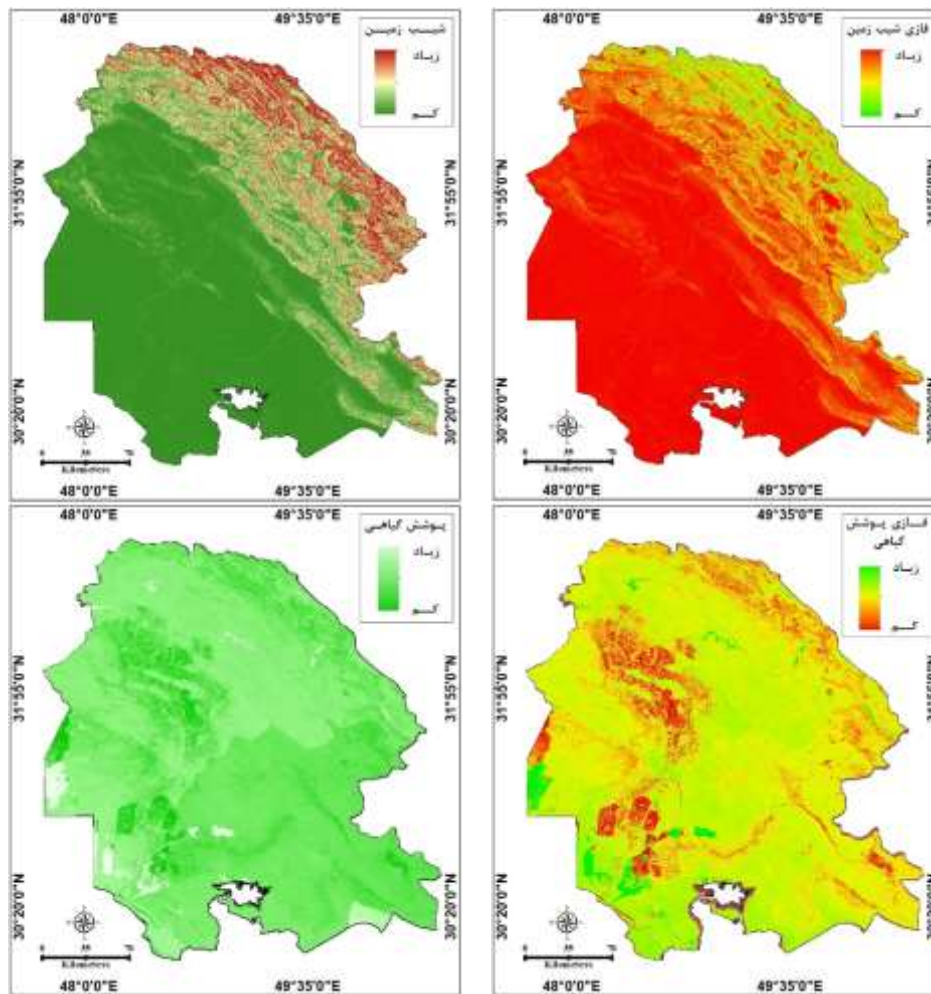
### پوشش گیاهی

در این تحقیق جهت استخراج پوشش گیاهی منطقه مطالعه، با استفاده از سامانه تحت وب Google Earth Engine شاخص تفاوت پوشش گیاهی بر روی مجموعه تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ اعمال شد و پوشش گیاهی خالص در بازه زمانی ۶ ساله از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ استخراج گردد. پوشش گیاهی به‌عنوان مانعی در مقابل رواناب عمل می‌کند به‌صورتی که ریشه‌های گیاهان باعث افزایش خلل و فرج در خاک می‌شوند و در نتیجه آب به راحتی در خاک نفوذ می‌کند؛ بنابراین با وجود پوشش گیاهی، آب ناشی از بارندگی‌ها در خاک نفوذ یافته و سرعت سیلاب با توجه به نوع پوشش گیاهی (کشاورزی، مرتع و جنگل) کاهش می‌یابد. در نتیجه سیلاب با میزان پوشش گیاهی و تراکم آن نسبت عکس دارد. هرچه تراکم و میزان پوشش گیاهی بیش‌تر باشد سرعت جریان آب کم‌تر خواهد بود و ایجاد و شکل‌گیری سیل کاهش می‌یابد (Grimaldi et al., 2020). در شکل (۳) نقشه پوشش





ارزیابی خطر سیلاب با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

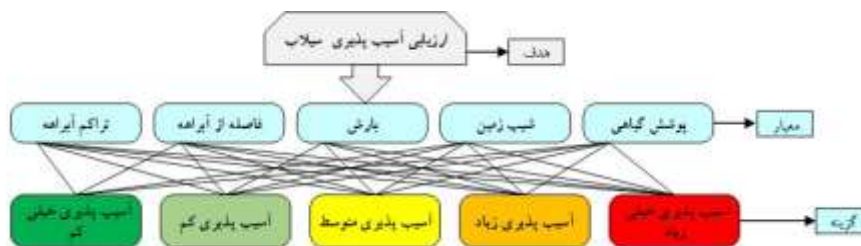


شکل ۳: معیارهای موثر در ارزیابی خطر سیلاب استان خوزستان

می‌شود؛ زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله مراتب به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی مشخص است به شکل ساده‌تر در می‌آورد (قدسی‌پور، ۱۳۹۰).

ساختار سلسله مراتبی

ساختار سلسله‌مراتبی پژوهش حاضر در شکل (۴) ارائه شده است. در این شکل سلسله مراتب ۳ سطحی شامل هدف، معیار و گزینه نمایش داده شده است. تبدیل موضوع مورد بررسی به یک ساختار سلسله‌مراتبی، مهم‌ترین قسمت تحلیل سلسله‌مراتبی محسوب



شکل ۴: ساختار سلسله مراتب ارزیابی خطر سیلاب

### تعیین ضریب اهمیت معیارها

بعد از تجزیه مسئله به سلسله مراتب، عناصر سطوح مختلف به صورت دوتایی با هم مقایسه شده و سپس براساس میزان اهمیت، دو معیار ارزش گذاری گردیده است. واژه‌ی غربال کردن که به وسیله ساعتی ارائه شده است براساس ارزیابی میزان اهمیت دو معیار استفاده می‌شود (Saaty, 1980).

### تهیه ماتریس مقایسه‌های زوجی

در این مرحله نظرات نخبگان و متخصصان به همراه مطالعه میدانی گسترده و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه از جمله قوانینی می‌باشد که در تعیین وزن نسبی هر معیار مورد توجه قرار گرفته است. سرانجام با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی برای انجام مقایسه، ماتریسی به ابعاد ۵×۵ ایجاد شده و معیارهای مختلف دوبه‌دو با هم مقایسه و مقادیر مربوطه براساس غربال ساتی اختصاص یافته است. این مقایسه‌های زوجی یک ماتریس مقایسه زوجی را فراهم نموده تا اثرگذاری هر یک از معیارها را در ارزیابی خطر سیلاب بررسی کند.

### سازگاری قضاوت‌ها

با توجه به ضرایب در نظر گرفته شده در ماتریس ضرایب معیارهای موثر بر سیلاب، می‌بایست سازگاری ضرایب مورد سنجش قرار گیرد. از این رو در راستای محاسبه نرخ ناسازگاری، ابتدا می‌بایست ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردیده تا تخمین مناسبی از  $\lambda_{max}W$  به دست آید. با تقسیم مقدار  $\lambda_{max}W$  بر W مربوطه مقدار  $\lambda_{max}$  محاسبه شده و سپس مقدار شاخص ناسازگاری<sup>۱</sup> (CI) نیز از طریق رابطه (۱) زیر محاسبه گردید (Saaty, 1980).

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

بردار سازگاری<sup>۲</sup> ( $\lambda_{max}$ ) برابر با بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس؛

n: تعداد پارامتر استفاده شده که برابر با ۵؛

نسبت سازگاری<sup>۳</sup> (CR) نیز از طریق رابطه (۲) زیر قابل دسترسی است:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

شاخص تصادفی<sup>۴</sup> (RI) از جدول (۱) استخراج می‌شود و با توجه به تعداد ۵ پارامتر برابر با ۱/۱۲؛

شاخص ناسازگاری (CI) از ۵ تکرار ماتریس نرمال شده به دست آمد برابر با ۰/۰۸۹۹؛

جدول ۱: مقادیر RI ماتریس‌های تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

اگر نسبت سازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۱۰٪ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و در صورتی که بیش از ۱۰٪ حاصل گردد، بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت‌های ماتریس ضرایب تجدید نظر نماید (Saaty, 1980). به‌طور کلی نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معنی‌داری ماتریس‌های مقایسه زوجی که مقدار آن باید کم‌تر از ۱۰٪ باشد. پس از تأیید معنی‌داری ماتریس‌های عوامل مؤثر در ارزیابی خطر سیلاب، وزن نهایی معیارها جهت تهیه نقشه ارزیابی منطقه به لایه‌های متناظر اعمال شد. جهت اعمال صحیح وزن‌های به‌دست‌آمده در محیط ArcMap از روش Raster Calculator بهره گرفته شده و در نهایت نقشه ارزیابی خطر سیلاب استان

<sup>۱</sup>Consistency Ratio  
<sup>۲</sup>Random Index

<sup>۳</sup>Consistency Index  
<sup>۴</sup>Consistency Vector

## ارزیابی خطر سیلاب با تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان خوزستان)

خوزستان در ۵ کلاس ارزیابی خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید.

### یافته‌های تحقیق

براساس ضرایب وزن‌های اعمال شده در طرح حاضر، وزن نهایی معیارهای موثر در ارزیابی خطر سیلاب متناسب با جدول (۲) مشخص و لحاظ گردید. از بیش‌ترین وزن به کم‌ترین به ترتیب مربوط به معیارهای توپوگرافی، بیولوژیکی، اقلیمی و انسانی است و در بین زیر معیارها بیش‌ترین وزن و کم‌ترین وزن به ترتیب مربوط به پوشش گیاهی و شیب است (جدول ۲).

جدول ۲: وزن معیارهای دخیل در ارزیابی خطر سیلاب

وزن	معیار
۰/۳	بیشینه بارش
۰/۲۵	فاصله از آبراهه
۰/۲۵	تراکم آبراهه
۰/۱۵	پوشش گیاهی
۰/۰۵	شیب
۵	N
۱/۱۲	RI: n
۰/۰۸۹۹	CI

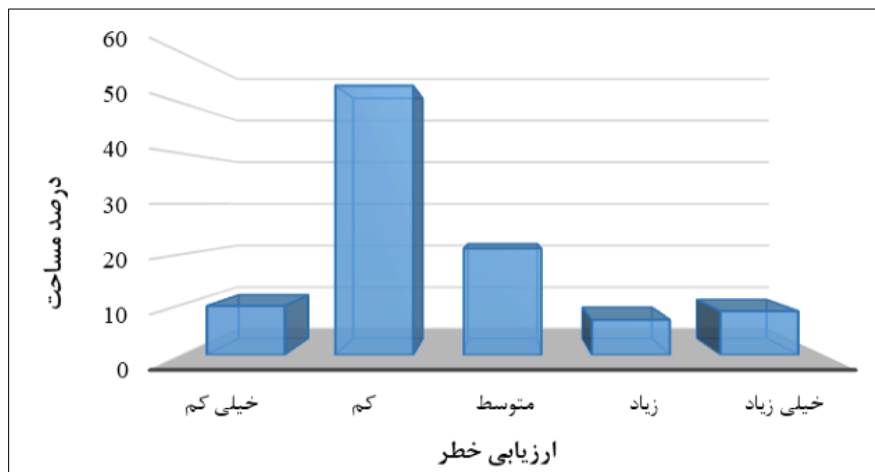
نرخ سازگاری (CR) برای ماتریس‌های عوامل مؤثر در ارزیابی خطر سیلاب استان خوزستان برابر با ۸/۰۲٪ حاصل شده که مقدار آن کم‌تر از ۱۰٪ است که بیانگر این است که وزن زیر معیارها متناسب و قابل اعتماد

می‌باشد. بیش‌ترین وزن‌ها مربوط به بیشینه بارش و کم‌ترین وزن مربوط به پوشش گیاهی (خوزستان جز استان‌های خشک کشور) است (جدول ۲). در نهایت براساس این وزن‌ها، لایه‌های فازی در نرم‌افزار ArcMap به کمک Raster Calculator با هم تلفیق شدند و در نهایت نقشه ارزیابی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز استان خوزستان در ۵ کلاس ارزیابی خطر؛ خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی گردیده است (شکل ۵).

با توجه به این‌که بخش اعظم حوضه‌های آبریز تشکیل‌دهنده استان خوزستان خارج از محدوده سیاسی استان هستند و بر استان‌های همجوار تاثیر دارند بنابراین ارزیابی خطر سیلاب استان خوزستان براساس مرز سیاسی استان از حوضه‌های آبریز برش داده شد و مساحت هر کلاس خطر در داخل استان به دست آمد. نتایج حاصل از مدل AHP فازی در ارزیابی خطر سیلاب نشان داد که از مجموع مساحت ۶۲۹۲۵۲۱ هکتاری استان خوزستان، ۶۱۲۵۹۵/۲ هکتار (۹/۷۴ درصد) در کلاس ارزیابی خطر خیلی کم، ۳۳۶۵۰۲۳ هکتار (۵۳/۴۷ درصد) در کلاس ارزیابی خطر کم، ۱۳۲۸۱۷۷ هکتار (۲۱/۱۰ درصد) در کلاس ارزیابی خطر متوسط، ۴۳۸۹۵۴/۱ هکتار (۶/۹۷ درصد) در کلاس ارزیابی خطر زیاد و ۵۴۷۴۰۷/۵ هکتار (۸/۶۹ درصد) در کلاس ارزیابی خطر خیلی زیاد قرار دارد (جدول ۳) و (نمودار ۱).

جدول ۳: مساحت و درصد مساحت هر کلاس

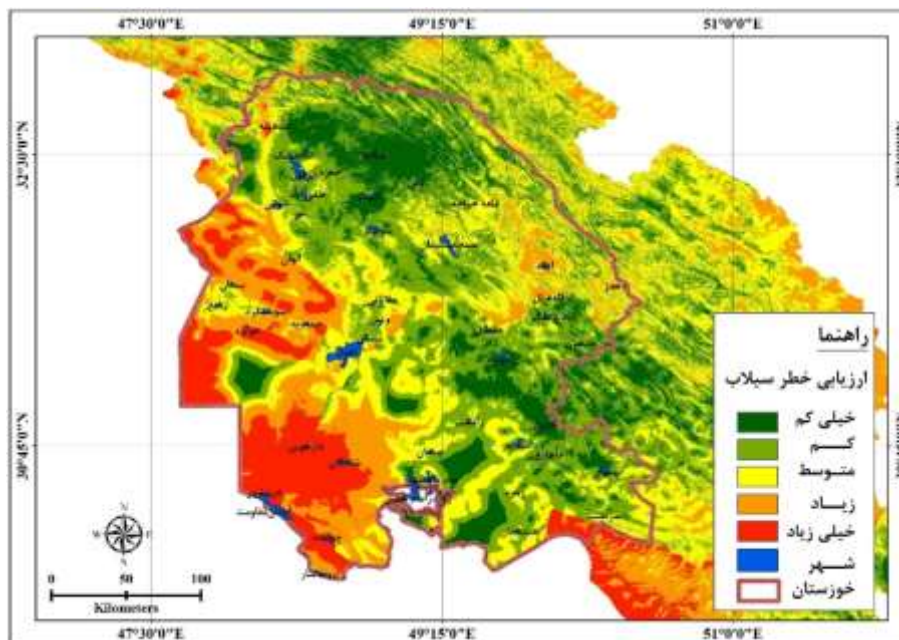
درصد مساحت	مساحت (هکتار)	مناطق آسیب‌پذیر
۹/۷۴۱۰۷۵	۶۱۲۵۹۵/۲	خیلی کم
۵۳/۴۷۶۶۵	۳۳۶۵۰۲۳	کم
۲۱/۱۰۷۲۳	۱۳۲۸۱۷۷	متوسط
۶/۹۷۵۸۰۷	۴۳۸۹۵۴/۱	زیاد
۸/۶۹۹۳۳۵	۵۴۷۴۰۷/۵	خیلی زیاد



نمودار ۱: درصد مساحت کلاس‌های ارزیابی خطر سیلاب

خرمشهر، چوئبنده، شادگان، دارخوین، هویزه، قسمت-های جنوبی اهواز در منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. بنابراین اقدامات پیش از وقوع سیلاب و ایمنی‌سازی ساختمان‌ها به‌خصوص در مناطق روستایی این شهرها، نسبت به سایر شهرهای استان می‌بایست بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد.

به‌طور کلی نزدیک به ۱۶ درصد از مساحت استان خوزستان در منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند. در واقع بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی این استان از پتانسیل سیلاب بالاتری برخوردارند که با مراجعه به لایه‌های فازی مذکور مشخص است در این بخش‌ها شیب زمین، تراکم آبراهه‌ها و پوشش گیاهی خیلی کم است. با توجه به شکل (۵) شهرهای آبادان،



شکل ۵: پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب استان خوزستان

## نتایج و بحث

همچنین دانش‌پرور و همکاران دریافتند که در بین عوامل مؤثر بر تشکیل سیلاب به روش AHP عوامل ارتفاع و شیب بیش‌ترین تأثیر را دارند (Daneshparvar et al., 2022). نتایج پژوهش نصیری و همکاران نیز نشان داد که شیب و فاصله از رودخانه مهم‌ترین پارامترها هستند (Nasiri et al., ۲۰۲۴).

حنفی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش خود دریافتند که مناطق با آسیب‌پذیری کم و خیلی کم به لحاظ سیل‌خیزی عمدتاً در مناطق کوهستانی و مرتفع شمال و شمال شرق با فاصله از شبکه‌های آبراه‌ای در جنوب غرب استان واقع شده‌اند. در بین معیارهای تأثیرگذار در وقوع سیلاب خوزستان، فاصله از رودخانه، تراکم زه-کشی و شاخص پوشش گیاهی بیش‌ترین ارزش نسبی را در وقوع سیلاب دارند. یافته‌های تحقیق حاضر نیز این مسئله را تایید می‌کند، در واقع بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی استان خوزستان از پتانسیل سیلاب بالاتری برخوردارند که در این بخش‌ها شیب زمین، تراکم آبراهه‌ها و پوشش گیاهی خیلی کم است.

نتایج به دست آمده را می‌توان برای مدیریت خطر سیل همانند اجرای مقررات پهنه‌بندی دشت سیلابی و استفاده از زمین به کار برد. برای تحقیقات آتی نیز پیشنهاد می‌شود که فناوری‌های نوین (سنجش از دور، محاسبات ابری و هوش مصنوعی) برای افزایش دقت و اثربخشی نتایج به کار گرفته شوند، همچنین افزایش دقت و کارایی نتایج، مستلزم مدیریت و پردازش منابع عظیم و متنوع داده است؛ لذا جهت ارزیابی خطر سیلاب از داده‌های بیش‌تری استفاده شود.

## نتیجه‌گیری

سیل یک پدیده طبیعی است که براساس وضعیت حوضه‌های آبخیز می‌تواند با دوره‌های بازگشت متفاوتی اتفاق افتد. این پدیده در دهه‌های اخیر، موجب

سیل مهم‌ترین و فراگیرترین مخاطره طبیعی در مناطق مختلف کره زمین است. براساس گزارش ایف‌نت، در حدود ۲۰ درصد تلفات جانی و ۳۳ درصد خسارت‌های مادی مخاطرات طبیعی در جهان، ناشی از سیلاب است. در ایران نیز سیل مهم‌ترین مخاطره طبیعی است و همه ساله تلفات و خسارات فراوانی در نواحی مختلف کشور به جا می‌گذارد (پروین، ۱۳۹۸). تلفیق تکنیک سنجش‌از‌دور و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP فازی این امکان را فراهم ساخته تا با استفاده از توابع تجزیه و تحلیل معیارها و رتبه‌بندی تحلیل‌ها، مناسب‌ترین گزینه جهت ارزیابی خطر سیلاب انتخاب گردد. منطقه مورد بررسی براساس عوامل مؤثر بر خطر سیلاب در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی ارزیابی گردیده و در نهایت ارزیابی خطر در پهنه‌های خیلی کم تا خیلی زیاد مشخص شده است. یافته‌های حاصل از نقشه ارزیابی حاکی از آن است که ۱۶ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی در معرض خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

در بین معیارهای پژوهش (بیشینه بارش، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، پوشش گیاهی و شیب)، براساس نرخ سازگاری بیش‌ترین وزن مربوط به بیشینه بارش و کم‌ترین وزن مربوط به پوشش گیاهی بود. در پژوهش اسفندیاری درآبادی و همکاران (۱۴۰۰) لایه‌های زمین‌شناسی، شیب‌های کم‌تر از ۳ درصد، واحد تیپ‌های اراضی خاک و همچنین فقر پوشش گیاهی به عنوان پهنه‌های سیلابی شناسایی شدند. در پژوهش محرم-زاده ساریخانیگلو (۱۳۹۷) نیز در بین متغیرهای مورد بررسی، لایه‌های شیب، فاصله از رودخانه و ارتفاع رواناب وزن بالاتری را کسب کردند. در تحقیق آریانپور و جمالی (۲۰۱۵) شیب بیش‌تر، نفوذپذیری کم‌تر سطح زمین و پوشش گیاهی کم از دلایل خطر سیلاب شناسایی شدند (Arianpour & Jamali, 2015).

خسارات جانی و مالی فراوانی شده است، بر این اساس محققان و برنامه‌ریزان به دنبال راه‌کاری برای حل این مسئله هستند. در همین راستا، ابتدا نیاز به شناخت سیل وجود دارد، این امر با به‌کارگیری تکنیک‌ها و ابزارهای جدید امکانپذیر شده است. یکی از روش‌های نوین سامانه اطلاعات جغرافیایی است که بدلیل قابلیت‌های متنوع و نتایج ملموس مورد توجه قرار گرفته است.

در این پژوهش با استفاده از ترکیب مدل‌های منطق فازی (Fuzzy) و سلسله مراتبی (AHP) به ارزیابی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز استان خوزستان پرداخته شد. با توجه به شرایط ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی خاص استان خوزستان و قرار گرفتن چهار حوضه آبریز (کرخه، کارون، جراحی و حله) در محدوده آن، ضرورت بررسی میزان آسیب‌پذیری منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این پژوهش از پنج پارامتر (بیشینه بارش، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، پوشش گیاهی و شیب) استفاده شد. سپس وزن هر یک از پارامترها

## منابع

محاسبه گردید و در نهایت نقشه‌های احتمال سیل منطقه مورد مطالعه تهیه شد و در ۵ کلاس آسیب-پذیری خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم ارزیابی خطر گردید. براساس نتایج، بیش‌ترین وزن مربوط به بیشینه بارش و کم‌ترین وزن مربوط به پوشش گیاهی است. نتایج حاصل از مدل AHP فازی در ارزیابی خطر سیلاب نشان داد که ۹/۷۴ درصد در کلاس ارزیابی خطر خیلی کم، ۵۳/۴۷ درصد در کلاس ارزیابی خطر کم، ۲۱/۱۰ درصد در کلاس ارزیابی خطر متوسط، ۶/۹۷ درصد در کلاس ارزیابی خطر زیاد و ۸/۶۹ درصد در کلاس ارزیابی خطر خیلی زیاد قرار دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی استان از پتانسیل سیلاب بالاتری برخوردارند، عمدتاً در این بخش‌ها شیب زمین، تراکم آبراهه‌ها و پوشش گیاهی خیلی کم است. پژوهش حاضر می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا درک بهتر خطر سیلاب در حوضه‌های آبریز استان خوزستان، خطر سیلاب را کاهش دهند، که در نهایت می‌تواند ایمنی و رفاه جامعه را بهبود بخشد.

اسلامی نژاد، سیداحمد؛ افتخاری، مبین؛ محمودی‌زاده، سعید؛ اکبری، محمد؛ حاجی‌الیاسی، علی (۱۴۰۰). ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر درخت به منظور پیش‌بینی خطر سیل در بستر GIS. تحقیقات منابع آب ایران، سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ۱۷۴-۱۸۹.

پروین، منصور (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس مدل MFFPI (مطالعه موردی: حوضه اسلام آباد غرب)، مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صص ۱۸۴-۱۶۹.

حاجی بیگلر، محبوبه؛ واحدبردی، شیخ (۱۳۹۷). تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها. آب و توسعه پایدار، دوره ۵، شماره ۱ (پیاپی ۱۰)، ۸۲-۷۳.

حسینی، سیدمحمد؛ قنبری‌نسب، علی؛ عسگری، امید؛ هاشمی‌فسایی، ابراهیم (۱۴۰۱). ارزیابی آسیب‌پذیری

آبیل، ابوالفضل؛ طاوسی، تقی؛ خسروی، محمود (۱۳۹۸). تحلیل مناطق بالقوه در معرض مخاطره سیلاب شهری مطالعه موردی: شهر زاهدان. جغرافیا و توسعه، شماره ۵۴، بهار ۱۳۹۸، ۹۱-۱۰۶.

ابراهیمی گجوتی، توحید؛ زبان حقیقی، احمد؛ عبدی قاضی جهانی، اکبر (۱۳۸۵). بررسی اثر تراکم پوشش گیاهی در جلوگیری از اثرات زینبار سیل، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران، شرکت کیفیت ترویج.

اسفندیاری درآبادی، فریبا؛ لایقی، صدیقه؛ مصطفی زاده، رئوف؛ حاجی، خدیجه (۱۴۰۰). پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۱۳۵-۱۵۰.

- مشهد و ارائه سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل HEC-RAS مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۳، شماره ۳، مهر ۱۴۰۲، ۲۳۹-۲۲۵.
- Antzoulatos, G., Kouloglou, I. O., Bakratsas, M., Moumtzidou, A., Gialampoukidis, I., Karakostas, A., ... & Kompatsiaris, I. (2022). Flood hazard and risk mapping by applying an explainable machine learning framework using satellite imagery and GIS data. *Sustainability*, 14(6), 3251.
- Arianpour, M., & Jamali, A. A. (2015). Flood hazard zonation using spatial multi-criteria evaluation (SMCE) in GIS (Case study: Omidieh-Khuzestan). *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 4(1), pp-39.
- Canco, I., Kruja, D., & Iancu, T. (2021). AHP, a reliable method for quality decision making: A case study in business. *Sustainability*, 13(24), ۱۳۹۳۲.
- Cao, Y., Jia, H., Xiong, J., Cheng, W., Li, K., Pang, Q., & Yong, Z. (2020). Flash flood susceptibility assessment based on geodetector, certainty factor, and logistic regression analyses in Fujian Province, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 748.
- Daneshparvar, B., Rasi Nezami, S., Feizi, A., & Aghlmand, R. (2022). Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 9(1), 1-7.
- Dey, P.K., Ramcharan, E.K (2000) Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone uarry Expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*, 88:1384-1395.
- Ding, L., Ma, L., Li, L., Liu, C., Li, N., Yang, Z., ... & Lu, H. (2021). A survey of remote sensing and geographic information system applications for flash floods. *Remote Sensing*, 13(9), 1818.
- Fenicia, F., Kavetski, D., Savenije, H.H., Clark, M.P., Schoups, G., Pfister, L., Freer, J. (2013), Catchment properties, function, and conceptual model representation: is, there a correspondence *Hydrol. Process*
- Filianoti, P., Gurnari, L., Zema, D. A., Bombino, G., Sinagra, M., & Tucciarelli, T. (2020). An evaluation matrix to compare computer hydrological models for flood predictions. *Hydrology*, 7(3), 42.
- Grimaldi, S., Xu, J., Li, Y., Pauwels, V. R., & Walker, J. P. (2020). Flood mapping under vegetation using single SAR acquisitions. *Remote sensing of Environment*, 237, 111582.
- Khaddari, A., Jari, A., Chakiri, S., El Hadi, H., Labriki, A., Hajaj, S., ... & Abioui, M. (2023). A شهری در برابر خطر سیلاب با استفاده از روش بهترین-بدترین مبتنی بر GIS. دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۲۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ۱-۱۰.
- حنفی، علی؛ بارانی پسیمان، وحید؛ عبادی نژاد، سیدعلی (۱۴۰۰). ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب در سکونتگاه-های شهری استان مرزی خوزستان با استفاده از روش Fuzzy-AHP. فصلنامه علوم و فنون مرزی، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰.
- خسروی، خه بات؛ معروفی نیا، ادریس؛ نوحانی، ابراهیم؛ چپی، کامران (۱۳۹۵). ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل. مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۹، شماره ۴، صص ۸۷۶-۸۶۳.
- شاکری رستمی، حسین؛ باقری، علی؛ سعدالدین، امیر (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت حکمرانی ریسک سیل در ایران براساس رویکرد تدابیر سیاستی. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۷، شماره ۳ (پیاپی ۵۸)، آذر ۱۴۰۰، ۱-۱۰۳-۶۵.
- متولی، صدرالدین (۱۴۰۱). ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق مدل‌های اتومات سلولی و SCS در دامنه های شمالی البرز مرکزی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لایچ رود). فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱۲، شماره ۴۵، بهار ۱۴۰۱، ۲۶۱-۲۸۲.
- قدسی پور، حسن (۱۳۹۰). فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، صص ۲۲۴.
- محرّمزاده ساریخان‌بیگللو، سلیمان (۱۳۹۷). پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه رضی پای با استفاده از مدل ANP پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.
- موسوی، سیده معصومه؛ عابدینی، موسی؛ اسمعیلی عوری، اباذر (۱۳۹۴). ارزیابی خطر زمین لرزه در حوضه شهری ایزه با استفاده از مدل چند معیاره‌ی WLC و AHP در محیط GIS، مدیریت بحران، دوره ۴، شماره ۱، پیاپی ۱، شهریور ۱۳۹۴، صص ۹۳-۱۰۱.
- وجدانی‌نوذر، علی؛ گیوه‌چی، سعید (۱۴۰۱). ارائه مدل ارزیابی خطر سیل در استان همدان به‌منظور رده‌بندی آسیب‌پذیری و پیامدهای محتمل در مراکز جمعیتی. فصلنامه مسکن و محیط روستا، دوره ۴۲، شماره ۱۸۱، ۱۳۲-۱۱۹.
- وقایی، مسعود؛ دستورانی، محمدتقی؛ رستمی خلج، محمد (۱۴۰۲). ارزیابی خطر سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی



- risk assessment and management performances between Beijing and Munich. *Environmental Impact Assessment Review*, 104, 107319.
- Razavi-Termeh, S. V., Sadeghi-Niaraki, A., Seo, M., & Choi, S. M. (2023). Application of genetic algorithm in optimization parallel ensemble-based machine learning algorithms to flood susceptibility mapping using radar satellite imagery. *Science of The Total Environment*, 873, 162285.
- Saaty, T (1980) *The analytical hierarchical process: planning, priority setting resource allocation*. New York, Mc Graw-Hill.
- Storrøsten, E. B., Piciullo, L., Nadim, F., & Eidsvig, U. (2024). Uncertainty in flood risk assessment of linear structures: Why correlation matters. *Journal of Hydrology*, 628, 130442.
- Teng, J., Penton, D. J., Ticehurst, C., Sengupta, A., Freebairn, A., Marvanek, S., ... & Morton, S. (2022). A comprehensive assessment of floodwater depth estimation models in semiarid regions. *Water Resources Research*, 58(11), e2022WR032031.
- Wang, X., & Xie, H. (2018). A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management. *Water*, 10(5), 608.
- comparative analysis of analytical hierarchy process and fuzzy logic modeling in flood susceptibility mapping in the Assaka Watershed, Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, 24(8), 62-82.
- Kumar, V., Sharma, K. V., Caloiero, T., Mehta, D. J., & Singh, K. (2023). Comprehensive overview of flood modeling approaches: A review of recent advances. *Hydrology*, 10(7), 141.
- Müller, M., Kašpar, M., & Matschullat, J. (2009). Heavy rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951 to 2002. *Natural Hazards and earth system Sciences*, 9(2), 441-450.
- Nasiri, A., Shafiei, N., Heidari, A., & Jandaghi, N. (2024). Flood risk. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(1), 8177-8182.
- Özdağoğlu, Güzin & Özdağoğlu, Aşkın (2007), Comparison of AHP And Fuzzy Ahp for The Multicriteria Decision Making Processes with Linguistic Evaluations, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 6 Sayı:11 Bahar 2007/1 s. 65-85.
- Panahi, G., Khodashenas, S. R., & Faridhosseini, A. (2024). Using geomorphologic indicators in preparation for flood zoning and flood risk maps in the Kashafroud basin, Iran. *Journal of Flood Risk Management*, e12981.
- Peng, L., Wang, Y., Yang, L., Garchagen, M., & Deng, X. (2024). A comparative analysis on flood

## Flood risk assessment by combining satellite and hydrological data (Case study: Khuzestan province)<sup>1</sup>

### Abstract

Environmental hazards have long been considered as a threat to mankind and society. Killing thousands of people every year, damaging agriculture, fisheries, housing and infrastructure sectors and affecting economic and social activities, flood is one of the biggest and the most important hazards. The importance and necessity of floods' management is revealed more by increasing the scope of their damages and its consequences. Also, due to the large size, climatic diversity, land use changes and the transformations of the temporal and spatial scales of rainfalls, huge floods occur in Iran every year. Based on the combination of fuzzy logic and hierarchical (AHP) models, this research aims at assessing the flood risk of the watersheds of Khuzestan province (Karkheh, Karun, Jarehi and Halle). The parameters of precipitation, distance from waterways, density of waterways, vegetation and land slope were used in this research. Digital maps of parameters are prepared using ArcMap 10.3 software in raster format. The probability of flood occurrence for each factor's class, as well as the importance of each factor compared to others in the occurrence of floods were examined by experts and the relevant weights were calculated by the software. Then, the obtained weights for each class were applied to the corresponding layers and the maps of the flood's probability for the investigated area were prepared and evaluated in 5 vulnerability classes: very high, high, medium, low and very low. The results show that the precipitation factor and the vegetation have the most and the least impact on flooding, respectively. The risk assessment of the total area of 6292521 hectares of Khuzestan province is as follows: 74.9% at the very low risk; 53.47% at low risk; 21.10% at moderate risk, 6.97% at high risk and 8.69% at very high-risk. Despite the low amount of rainfall in the southern and southwestern parts of the province, these areas have a high flood potential because the slope of the land and the density of the river in these areas are low; as a result, the water entering from the upstream has no way to the sea and they have acted under flood zones. Abadan, Khorram Shahr, Choebande, Shadgan, Darkhoin, Huizeh, the southern parts of Ahvaz and their surrounding villages are located in the area with high vulnerability. The obtained flood risk assessment map can be used as a decision-making support system to predict future floods in the studied area.

**Key words:** Flood, risk assessment, hierarchical analysis, fuzzy logic, Khuzestan province

---

<sup>1</sup>Peyman Tahmasebi<sup>1</sup>, Saadi Biglari Qaldare<sup>2</sup>, Pegah Golmohamadi Ghane<sup>3</sup>, Bakhtiar Karimi<sup>4</sup>, Amin Karimi Fam<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doctoral student of Water, Irrigation and Drainage Engineering, Boali-Sina University, Hamadan, Iran; p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir

<sup>2</sup>Master's degree in GIS Remote Sensing, Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran; saadibiglari1370@gmail.com

<sup>3</sup>Master's student in water engineering, water resources of Kurdistan University, Kurdistan, Iran; pegah.golmohammadi@uok.ac.ir

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran; bakhtiar.karimi@uok.ac.ir

<sup>5</sup>Master's degree in GIS Remote Sensing, Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran; aminkarimifam@gmail.com