ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه مکران با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS

علی خلیلی *[۱]، آریان اسروش[۲]

۱- دکترا، گروه رایانه، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه امام افسری علی (ع)
۲- کارشناسی ارشد برنامه ریزی منطقه‌ای ،دانشگاه شهید بهشتی ، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹

چکیده

فجایع طبیعی از جمله سیلاب‌ها در دو دهه اخیر به خصوص در قاره آسیا و کشور ایران به دلیل توسعه‌های افسارگسیخته شهرها، که بحران گرمایش کره زمین را به‌همراه داشته‌است، به‌صورت فزاینده‌ای رو به افزایش بوده‌است. این مساله با توجه به خسارات گسترده انسانی و مالی که با خود به‌بار می‌آورد، درخور توجهی فوق‌العاده است. مکران یا مکوران واقع در سواحل جنوب شرقی ایران، منطقه‌ای در حال توسعه است که به لحاظ ملی، اهمیتی راهبردی داشته و در سال‌های اخیر مورد توجه سرمایه‌گذاران جهانی بوده‌است. در نتیجه بررسی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در این منطقه می‌تواند در کاهش هزینه‌های انسانی و به خصوص مالی مدیریت پیش از وقوع حادثه و کاهش اثرات سوء ناشی از آن مؤثر باشد. بدین ترتیب برای انجام این ارزیابی پنج شاخص به‌کار گرفته‌شدند و به روش تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی شدند و برای وزن‌دهی به معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن نهایی معیارها محاسبه شد. در آخر، تحلیل‌های فضایی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام شدند.

واژه‌های کلیدی: سیلاب، آسیب‌پذیری، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، منطقه مکران، ArcGIS

* alikhalili57@yahoo.com

مقدمه

سیلاب‌ها یکی از رایج‌ترین و گسترده‌ترین حوادث طبیعی هستند که خسارات گسترده‌ای به بار آورده اند. در بیست سال گذشته در (۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵) نزدیک به نود درصد فجایع، مرتبط با اقلیم[1] بوده اند و نزدیک به چهل و هفت درصد این فجایع را حوادث سیلابی تشکیل داده اند. در این دوره در حدود ۲.۳ میلیارد نفر تحت آثار سوء حوادث سیلابی قرار گرفته اند که نود و پنج درصد این مردم در ساکن قاره آسیا بوده اند (UNISDR; CRED, 2015). این حوادث در هر سال به طور میانگین باعث پدید آمدن خسارت ۴۰ میلیارد دلاری در سطح جهان می‌شوند (OECD, 2016).

رشد شهرسازی در سال‌های گذشته بسیار گسترده بوده است. این رشد شهری در سه دهه گذشته که همراه با گسترش شهرها، قطع جنگل‌ها و ... بوده‌است، زمینه‌ساز افزایش سطوح نفوذناپذیر در شهرها و سایر محیط‌ها شده‌است. این مسئله باعث شده است که زمان به اوج رسیدن دبی آب در آبراهه‌ها بسیار کاهش یابد که به معنای افزایش ریسک وقوع سیلاب است (Siminovic & Nirupama, 2007). انباشت سرمایه (گسترش شهرها، صنایع و ...) در دشت‌های سیلابی همراه با تغییرات اقلیمی که تغییر در الگوهای بارش را به همراه خواهد داشت، نشان‌گر خطر بالقوه جدی در آینده است (OECD, 2016) این مسئله با توجه به آن که در حدود ۷۴ درصد جمعیت ایران (نزدیک به ۵۹ میلیون نفر) در شهرها زندگی می‌کنند (مرکز آمار ایران, ۱۳۹۵) اهمیت دوچندان پیدا می‌کند.

حوادث طبیعی در ایران نیز بسیار گسترده هستند به طوری که ایران در این زمینه پس از چین و هندوستان، رتبه سوم را در قاره آسیا دارد. کشور ایران در سی سال گذشته سیلاب‌های فاجعه‌بار متعددی را تجربه‌کرده‌است. سیلاب‌های سال۱۳۸۰ در استان گلستان با ۴۱۰ تن تلفات و سال ۱۳۹۵ در استان خوزستان با ۱۰۵۳۰ میلیارد ریال خسارت، از زیان‌بارترین سیلاب‌های کشور ایران تا ابتدای سال ۱۳۹۶ بوده اند (معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس, ۱۳۹۶)

بحران‌های طبیعی(از جمله سیلاب) پدیده‌هایی پیچیده هستند که برای مقابله با آن نهادهای مختلفی با خود درگیر می‌کنند و آمادگی و سرعت عمل چنین نهادهایی در کاهش خسارات این فجایع ضروری است. پژوهش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب می‌توانند پیش از وقوع سیلاب‌ها در ارتباط با شناسایی نواحی آسیب‌پذیر اطلاعات مؤثری برای نهادهای دخیل در مدیریت بحران فراهم آورد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مکران که بخش غالب آن واقع در سواحل استان سیستان و بلوچستان است، به دلیل مجاورت با دریای عمان، بندر چابهار و بندر جاسک و البته موقعیت به‌خصوص آن در خشکی، می‌تواند نقش راهبردی در مقیاس ملی ایفا کند. اهمیت این منطقه به‌نحوی است که بنا بر دستورات فرمانده معظم کل قوا و قانون برنامه پنجساله ششم توسعه ملی، توسعه این منطقه در اولویت برنامه‌های توسعه قرار دارد. (سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۵)

[1] Weather-related

شکل ۱ – محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

هدف این پژوهش ارزیابی و شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیری منطقه مکران در برابر آسیب‌های ناشی سیلاب است و لذا به لحاظ نوع پژوهش، در دسته پژوهش‌های کاربردی قرار دارد. در این پژوهش با استفاده از روش تحلیلی انجام شده و منابع مورد نیاز به روش اسنادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. همچنین برای افزایش روایی پژوهش از روش تحلیلی سلسله‌مراتبی AHP بهره برده شده و برای انجام محاسبات مربوط به آن از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شده‌است. در آخرین گام نیز از نرم‌افزار ArcGIS برای انجام تحلیل‌های فضایی استفاده‌شده‌است.

معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری

برای برگزیدن شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب، پژوهش‌های متعدد مرتبط با این موضوع مرور شدند و شاخص‌های پرتکرار مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب استخراج شده‌است. بر اساس این بررسی پنج معیار شیب، ارتفاع، بافت فرسوده، کاربری اراضی، فاصله از سکونتگاه‌های روستایی و فاصله از آبراهه و مسیل‌ها عناصر مؤثر بر موضوع هستند. در جدول زیر اشاره به هر یک از معیارها در منابع مختلف مشخص شده‌است.

جدول ۱ – فراوانی معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری در منابع مختلف

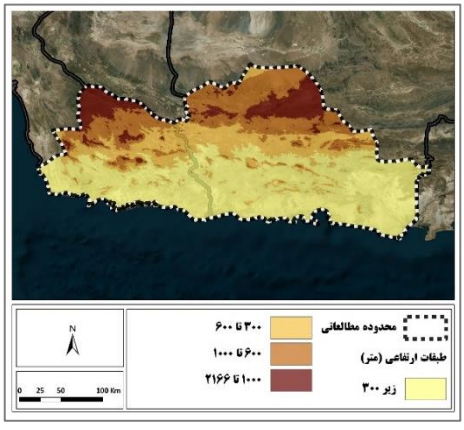
معیار / منبع	نزدیکی به رودخانه‌ها	شیب زمین	کاربری اراضی	ارتفاع زمین	نزدیکی به سکونتگاه‌های روستایی*
(Abebe, Kabir, & Tesfamariam, 2018)	✓	✓	✓	✓	–
(López-Valencia, 2019)	–	–	✓	✓	–
(Haile Erna & Worku, 2019)	–	✓	–	–	–
(Mundhe, Deshmukh, & Vyas, 2017)	✓	✓	–	–	–

معیار / منبع	نزدیکی به رودخانه‌ها	شیب زمین	کاربری اراضی	ارتفاع زمین	نزدیکی به سکونتگاه‌های روستایی*
شاخص آسیب‌پذیری سیلاب یونسکو[1] (FVI)	✓	✓	✓	-	-

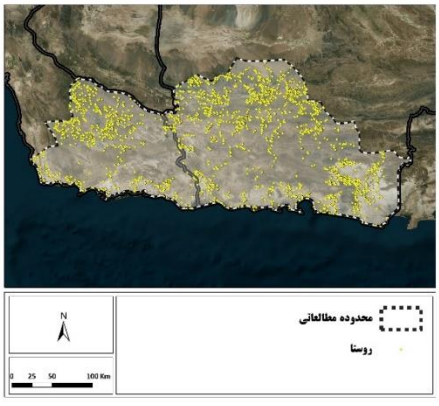
* توضیحات مربوط به این شاخص در ادامه ارائه شده‌است

نزدیکی به رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل موثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب‌ها است چرا که در فصول پربارش، با طغیان رودخانه‌ها جریان‌های آب جاری‌شده پهنه‌های آغازین وقوع سیلاب‌ها هستند. ارتفاع زمین نیز عامل موثر دیگری است که در آن با کاهش شاخص مربوطه، احتمال وقوع سیل بیشتر است. شیب اراضی نیز از دیگر شاخص‌های مهم است که با کاهش آن، آسیب‌پذیری در برابر سیل افزایش می‌یابد. کاربری اراضی نیز از دیگر شاخص‌های موثر است که به دلیل تاثیر بر میزان نفوذ آب در زمین می‌تواند منجر به گسترش یا محدود شدن سیلاب‌ها در منطقه شود و به همین سبب اهمیت دارد.

نزدیکی به سکونتگاه‌های روستایی شاخصی متفاوت با شاخص‌های پیشین است، چرا که مفهوم سکونتگاه‌های شهری در اطلاعات کاربری اراضی در قالب محدوده‌های شهری وجود دارد، اما سکونتگاه‌های روستایی که به لحاظ توسعه‌های منطقه‌ای بسیار حائز اهمیت هستند در این لایه اطلاعاتی منعکس نشده‌اند. از طرفی به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات محدوده روستاهای محدوده مطالعاتی از مختصات آن‌ها استفاده شد، و لذا فاصله از سکونتگاه‌های روستایی به عنوان یک شاخص به دیگر شاخص‌های ارزیابی افزوده‌شد. ویژگی‌های فضایی هر یک از شاخص‌های ارزیابی منطقه مکران در نقشه‌های زیر آمده‌است.

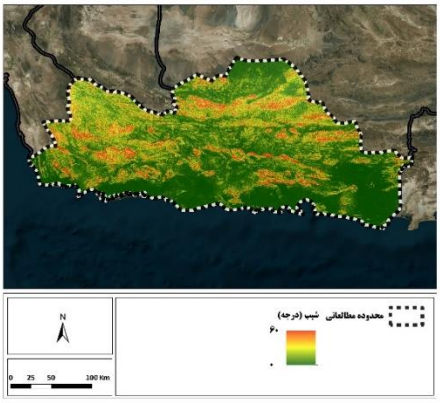


نقشه ۱ - طبقات ارتفاع زمین

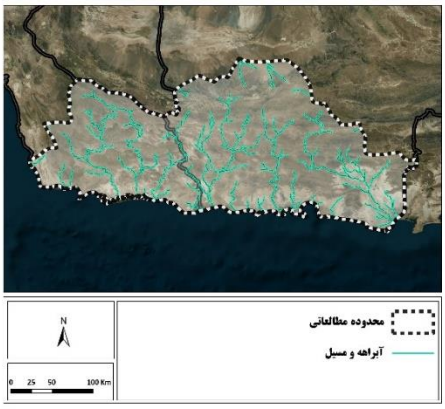


نقشه ۲ –موقعیت روستاها

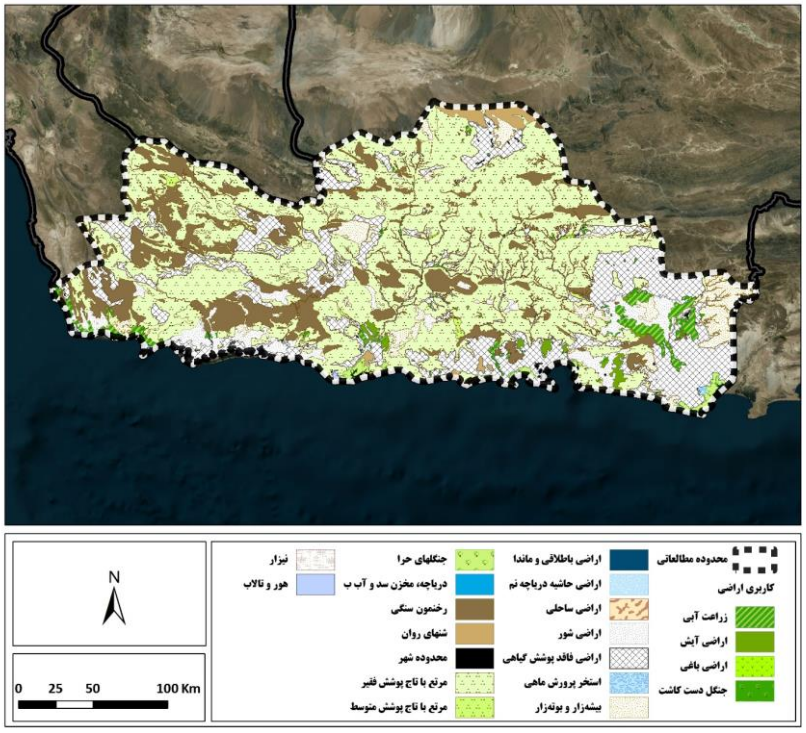
[1] Flood Vulnerability Index (FVI)



نقشه ۳ – شیب اراضی



نقشه ۴ – رودخانه‌ها



نقشه ۵ - کاربری اراضی

روش تحلیلی سلسله‌مراتبی

برای نظام یافتن تحلیل معیارها از روش تحلیلی سلسله‌مراتبی[1] استفاده شد که در آن پس از تعیین هدف، معیارها مؤثر بر هدف به عناصری ساده‌تر تقسیم شده و وزن‌دهی می‌شوند. این روش به دلیل سادگی، منعطف و قوی بودن کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته‌است. تفکیک عناصر مهم به عناصر ساده‌تر در این روش باعث شده‌است تا بتوان مفاهیم پیچیده را به صورت ساده بحث کرد.

معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری که در بخش قبل ارائه شدند را می‌توان به دو دسته کلی عناصر انسانی–اجتماعی و عناصر طبیعی تقسیم کرد. شکل ۲ ساختار سلسله‌مراتبی معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. پس از تفکیک هدف پژوهش به عناصر سلسله‌مراتبی خردتر، عناصر هم‌ردیف به صورت دو–دوئی[2] با یکدیگر مقایسه شده و با

[1] Analysis Hierarchical Process (AHP)
[2] Pairwise

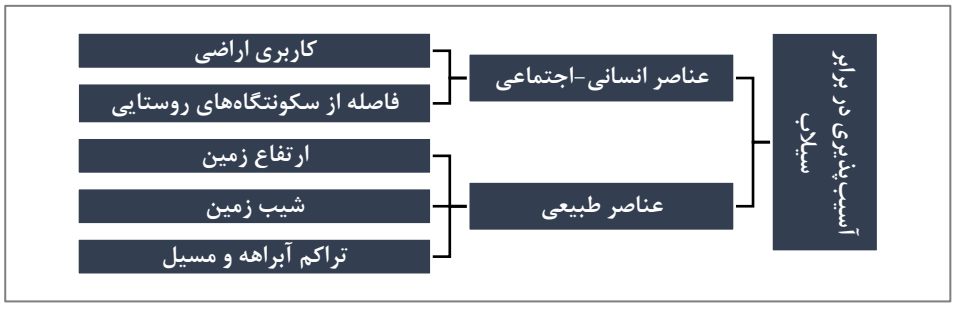
استفاده از آن ضریب اهمیت (وزن) هر یک از زیرمعیارها به دست آید. در مقایسه دو-دوئی، ارجحیت هر یک از معیارها بر مبنای مقیاس ۹ کمیتی توماس ال ساعتی صورت می‌پذیرد که در جدول ۲ توضیح داده شده‌است (زبردست, ۱۳۸۰)

جدول ۲ - جدول امتیازات نه کمیّتی روش تحلیلی سلسله‌مراتبی

امتیاز (شدت ارجحیت)	تعریف
۱	ترجیح یکسان (Equally preferred)
۳	کمی مرجح (Moderately preferred)
۵	ترجیح بیشتر (Strongly preferred)
۷	ترجیح خیلی بیشتر (Very strongly preferred)
۹	کاملاً مرجح (Extremely preferred)
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بینابینی (وقتی حالت‌های میانه وجود دارد)

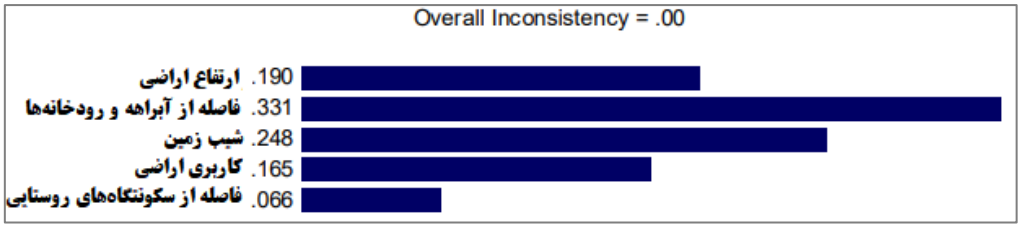
منبع: (زبردست, ۱۳۸۰, ص. ۱۷)

بر این اساس، معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب به گروه کلان عناصر انسانی-طبیعی و عناصر محیطی تقسیم شده‌اند که در شکل ۲ قابل مشاهده‌است. همچنین برای افزایش سرعت و دقت محاسبات در روش مذکور، از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد و وزن‌های نهایی با نرخ ناسازگاری[1] ۰.۰۰ محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۳ قابل مشاهده‌است.



شکل ۲ - ساختار سلسله‌مراتبی معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب

[1] Consistency Ratio



شکل ۳ – وزن نهایی معیارهای پنج‌گانه ارزیابی

برای ارزیابی منطقه مکران لایه‌های اطلاعات فضایی منطقه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS با در نظرگرفتن وزن‌های محاسبه‌شده با یکدیگر ادغام می‌شوند. اما پیش از آن لازم است تا اطلاعات شاخص‌ها نرماال‌شده و نسبت به یکدیگر هم‌سوسازی شوند که در این پژوهش هم‌سوسازی با استفاده از روش معکوس‌سازی، و نرمال‌سازی با استفاده از رابطه (۱) زیر صورت گرفته‌است (کلانتری، ۱۳۹۶) اما برای افزایش دقت محاسبات، مقادیر حاصل در عدد ۱۰۰۰ ضرب شده‌اند.

$$Normalized\ value = \frac{x - min}{max - min} * 1000 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

یافته‌های پژوهش

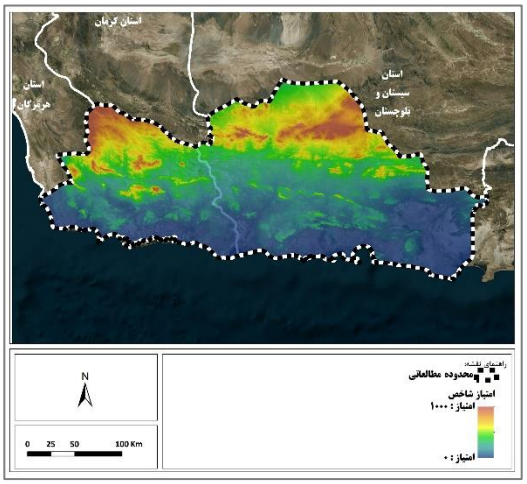
پس از ایجاد، نرمال و هم‌جهت‌سازی لایه‌های اطلاعاتی منطقه مکران مطابق روشی که شرح داده‌شد، خروجی نهایی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شد. با توجه به نتایج، بخش غالبی از منطقه مکران در نواحی با آسیب‌پذیری کم یا متوسط قرار دارند که این مساله به دلیل پراکنده بودن عناصر موثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در این منطقه است. بر این اساس، تنها در حدود ۶.۲ درصد نواحی در پهنه با آسیب‌پذیری بسیار زیاد، و ۸.۷ درصد در پهنه با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند، و بخش اعظمی از این محدوده که نزدیک به ۸۹ درصد منطقه مکران را تشکیل می‌دهد، در پهنه‌های با آسیب‌پذیری کم یا متوسط قرار دارند.

جدول ۳ – سهم پهنه‌های آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه مکران

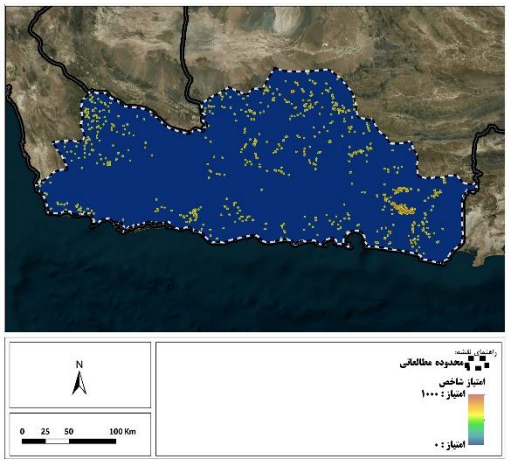
پهنه	سهم (درصد)
آسیب‌پذیری کم	۴۰.۴
آسیب‌پذیری متوسط	۴۴.۶
آسیب‌پذیری زیاد	۸.۷
آسیب‌پذیری بسیار زیاد	۶.۲

همچنین بر اساس نتایج به دست‌آمده از ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در منطقه مکران، شهرهای فنوج و انکهرن را می‌توان به عنوان آسیب‌پذیر شهرها در برابر سیلاب دانست، چرا که شهر فنوج به دلیل نزدیکی به رودخانه و شهر انکهرن به دلیل دو عامل نزدیکی و همچنین ویژگی‌های محیطی (شیب و ارتفاع) محدوده فراگیر آن جزو آسیب‌پذیرترین نواحی در برابر سیلاب تلقی می‌شوند. همچنین در سایر شهرهایی که در حریم رودخانه‌ها قرار گرفته‌اند، شامل شهرهای قصرقند، نیکشهر، بنت، اسپکه، در خطر آسیب‌پذیری بیشتری قرار دارند. همچنین نواحی

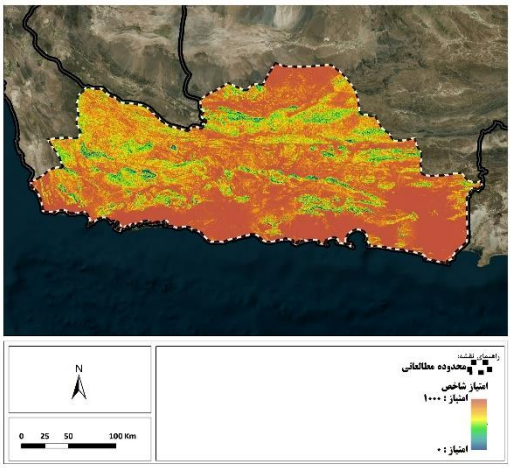
جنوب شرقی منطقه مکران که خوشه‌هایی از سکونتگاه‌های روستایی وجود دارد، در پهنه‌های پرخطر قرار گرفته اند که به دلیل نزدیکی به حریم رودخانه‌ها است. لازم به ذکر است که نتایج به دست‌آمده ماهیتی نسبی دارند و کم خطر بودن یک پهنه، به معنای بی‌خطر بودن آن نیست، بلکه به لحاظ اولویت‌بندی رسیدگی و پیش‌بینی تمهیدات پیش‌گیرانه حائز اهمیت است.



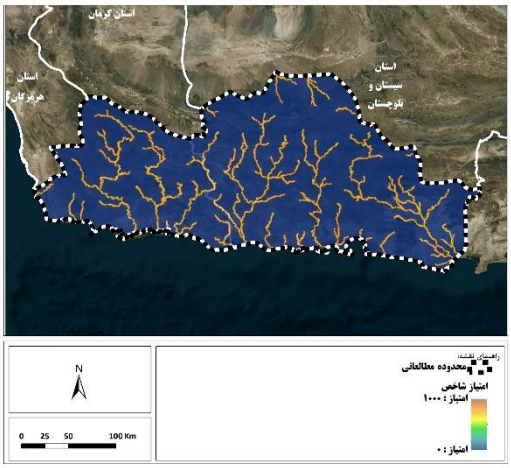
نقشه ۶ – خروجی نرمال‌شده طبقات ارتفاع زمین



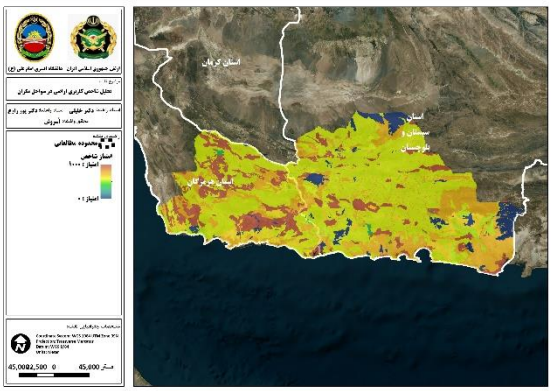
نقشه ۷ – خروجی نرمال‌شده موقعیت روستاها در منطقه مکران



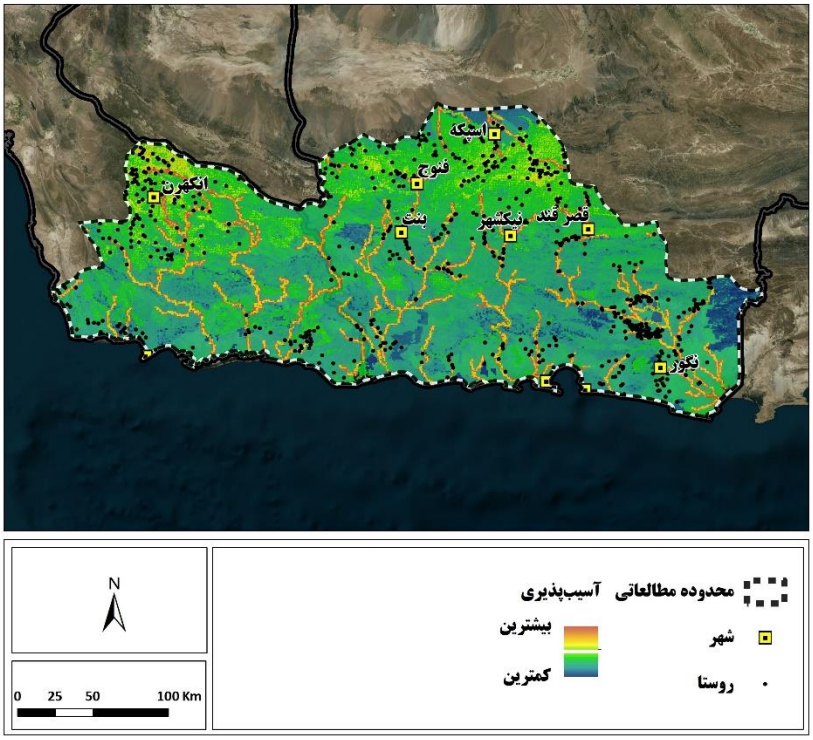
نقشه ۸ – خروجی نرمال‌شده شیب اراضی



نقشه ۹ – خروجی نرمال‌شده رودخانه‌ها



نقشه ۱۰ – خروجی نرمال‌شده فاصله از رودخانه‌ها



نقشه ۱۱ - نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری در منطقه مکران

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اهمیت راهبردی منطقه مکران یا مکوران، که در مقیاس ملی و منطقه‌ای حائز اهمیت است، و همچنین ضرورت ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب، که به دلیل نواسانات اقلیمی در مقیاس جهان منجر به افزایش سیلاب‌ها، به ویژه آسیا، شده‌است، مورد توجه قرار گرفتند تا این منطقه از لحاظ آسیب‌پذیری در برابر سیلاب ارزیابی شد. بدین منظور از پنج زیرمعیار شیب زمین، ارتفاع زمین، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و فاصله از سکونتگاه‌های روستایی برای ارزیابی بهره‌گرفته شد که به روش تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP) و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی شدند. بر اساس مقایسات زوجی در فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی معیارهای فاصله از رودخانه (۰.۳۳۱)، شیب زمین (۰.۲۴۸) و ارتفاع زمین (۰.۱۹۰) به ترتیب بیشترین ضریب اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آماده‌سازی اطلاعات با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS تحلیل‌های فضایی صورت گرفته و لایه‌های اطلاعاتی با احتساب اوزان با یکدیگر ادغام شدند. بر اساس نتایج ارزیابی، شهرهای فنوج و انکهرن آسیب‌پذیرترین سکونتگاه‌های شهری در این منطقه هستند. همچنین نواحی جنوب شرقی استان نیز که به دلیل وجود متعدد رودخانه‌ها در آن از پهنه‌های آسیب‌پذیر محسوب می‌شود، باید مورد توجه قرار گیرد چرا که نزدیکی خوشه‌های سکونتگاه‌های روستایی به این ناحیه می‌تواند خطرآفرین باشد.

منابع

1. Abebe, Y., Kabir, G., & Tesfamariam, S. (2018). Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. Cleaner Production, 1629-1641.
2. López Valencia, A. (2019). Vulnerability assessment in urban areas exposed to flood risk: methodology to explore green infrastructure benefits in a simulation scenario involving the Cañaveralejo River in Cali, Colombia. Natural Hazards, 217-245.
3. Haile Erena, S., and H. Worku. 2019. Urban flood vulnerability assessments: the case of Dire Dawa city, Ethiopia. Natural Hazards, 97(1): 495–516.
4. Mundhe, N., Deshmukh, S., & Vyas, A. (2017). GIS Based Urban Flood Vulnerability Analysis in Western Zone of Ahmedabad City. International Journal of Research in Geography, 41-51.
5. OECD. (2016). Financial management of flood risk. Paris: OECD Publishing.
6. UNISDR; CRED. (2015). The human cost of weather-related disasters 1995-2015. UNISDR.
7. UNESCO-IHE. Flood Vulnerability Index (FVI)

۸. زبردست, ا. (۱۳۸۰). کاربرد «فرایند تحلیل سلسله مراتبی» در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. هنرهای زیبا, ۱۳-۲۱.

۹. سازمان برنامه و بودجه کشور. (۱۳۹۵). قانون برنامه پنجساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۶-۱۴۰۰).

۱۰. کلانتری, خ. (۱۳۹۶). مدل‌های کمی در برنامه‌ریزی (منطقه‌ای، شهری و روستایی). تهران: انتشارات فرهنگ صبا.

۱۱. مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج کلی سرشماری نفوس و مسکن . تهران: مرکز آمار ایران.

۱۲. معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس. (۱۳۹۶). بررسی وضعیت سیل در کشور؛ اقدمات انجام شده و تجربیات سایر کشورها. تهران: مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.