

پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در شهرستان نوشهر با استفاده از روش Ahp فازی**سید مهدی رضوی**

دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

لیلا ابراهیمی*

استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

کیا بزرگمهر

استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

مهرداد رمضانی پور

استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۱

چکیده

سیل یکی از بلاهای طبیعی مهمی است که همه‌ساله باعث ایجاد خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شود و به‌منظور کاهش خسارات و تلفات آن همیشه مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان بوده است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان نوشهر است. در این مطالعه به‌منظور دستیابی به هدف پژوهش ابتدا با مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع، عوامل مؤثر در وقوع سیلاب شامل ارتفاع، جهت شیب، شیب، تراکم آبراهه، فاصله از رودخانه، خاک، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، انحنا شیب، تیپ اراضی و بارش شناسایی گردید. سپس اقدام به تهیه نقشه‌های هر یک از معیارهای مطرح، در Arc GIS 10.5 اقدام شد. بعد از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر در وقوع سیلاب، با استفاده از نظر ۲۵ کارشناس در این زمینه لایه‌ها و زیر معیارها با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی وزن دهی شدند؛ و در مرحله آخر وزن به دست آمده هر یک از عوامل در محیط نرم‌افزار ARC/MAP بر روی هر یک از لایه‌ها اعمال گردید و نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از منطق فازی عملگر گاما $0/9+$ تهیه گردید. بنا بر نتایج حاصل از وزن دهی، عوامل میزان بارش، فاصله از رودخانه، شیب و کاربری اراضی به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه هستند. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان نوشهر را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در پنج پهنه خیلی خطرناک، خطرناک، با خطر متوسط، کم‌خطر و بی‌خطر تهیه گردید. بر اساس جدول ۳ مناطق خیلی خطرناک و خطرناک ۲۴ درصد منطقه را در برمی‌گیرند.

واژگان کلیدی: سیلاب، پهنه‌بندی، خطر، شهرستان نوشهر

مقدمه

تجاوز شهرها به پوشش طبیعی زمین و تغییرات کاربری و پوشش زمین ناشی از فعالیت‌های انسانی منجر به تغییرات قابل توجهی در رفتار هیدرولوژیکی منطقه‌ها شده و منجر به افزایش قابل توجهی در مقدار کل رواناب و حداکثر جریان آن شده است (دوان و یاماگوچی^۱، ۲۰۰۹: ۳۹۱؛ روات و همکاران^۲، ۲۰۱۳: ۱۱۲؛ الساداوی و همکاران^۳، ۲۰۲۰: ۲؛ آل باستاوی و همکاران^۴، ۲۰۲۱: ۴۳۱). تغییرات قابل توجه در چشم‌انداز اصلی و پوشش زمین در چند دهه گذشته و همچنین تأثیر آن‌ها بر رفتار هیدرولوژیکی در مقیاس منطقه، انگیزه تحقیقات علمی بیشتری را برای بررسی و کمی کردن رابطه بین تغییرات پوشش زمین/کاربری زمین، به‌ویژه تأکید بر گسترش شهری و مخاطرات طبیعی مانند ریزش سنگ (عثمان و همکاران^۵، ۲۰۲۱: ۵۷۱۷)، آلودگی آب‌های زیرزمینی (خلیل و همکاران^۶، ۲۰۲۱: ۵۹۸)، فرونشست زمین (راتب و ابوطالب^۷، ۲۰۲۰: ۲؛ الجماز و همکاران^۸، ۲۰۲۱: ۱۱۰۹)، توسعه جزایر گرمایی شهری (محمد و همکاران^۹، ۲۰۲۱: ۱۹۴۱) و خطرات سیل ناگهانی (چن و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۹: ۱۲۲؛ فاکس و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۲: ۸۱۱؛ السعود و عثمان^{۱۲}، ۲۰۲۲: ۲) به وجود آورده است. از سوی دیگر یکی از متداول‌ترین تأثیرات تغییرات آب و هوایی جهانی افزایش احتمالی خطرات سیل است. خطرات سیل یک تهدید قریب‌الوقوع برای دارایی بخش قابل توجهی از جمعیت در سراسر جهان است. در سرتاسر جهان، مهر و موم‌ها شایع‌ترین بلایای طبیعی هستند که ۴۴ درصد از حوادث طبیعی گزارش شده در دو دهه گذشته را تشکیل می‌دهند دفتر سازمان ملل متحد برای کاهش خطر بلایا^{۱۳}، ۲۰۲۰ که باعث ۱۱ درصد از مرگ‌های ناشی از بلایا می‌شود (بوروسکا-استفانوسکا و همکاران^{۱۴}، ۲۰۲۲: ۱).

پیش‌بینی می‌شود که به‌طور متوسط، سیل تولید ناخالص داخلی جهانی را به میزان ۰/۱۹ درصد از نظر ارزش فعلی کاهش دهد و با کاهش رفاه ۰/۲۴ درصدی به دلیل جابجایی افراد به امکانات رفاهی کمتر جذاب توأم باشد. همچنین تلفات در بسیاری از مناطق ساحلی نیز از نظر بزرگی برجسته است، به‌ویژه در مناطق شهری کم ارتفاع که به‌شدت آسیب‌دیده‌اند (چونگ سی یو^{۱۵}، ۲۰۲۲: ۲).

¹ - Dewan and Yamaguchi

² -Rawat et al

³ - El-Saadawy et al

⁴ -El Bastawesy et al

⁵ - Othman et al

⁶ - Khalil et al

⁷ -Rateb & Abotalib

⁸ - AlJammaz et al

⁹ - Mohamed et al

¹⁰ - Chen et al

¹¹ - Fox et al

¹² - El-Saoud & Othman

¹³ - United Nations Office for Disaster Risk Reduction

¹⁴ - Borowska-Stefanska et al

¹⁵ -Cheung, C.Y. Yiu

نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع سیل از دیرباز ابزار مهمی در مدیریت سیل بوده‌اند. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل، مناطق در معرض خطر سیل را نشان می‌دهد و به صورت گرافیکی وسعت و عمق آب‌گرفتگی را در طول رویدادهای عمده سیل، گاهی اوقات در ارتباط با مشخصات سرعت، به تصویر می‌کشد. این نقشه‌ها اطلاعات دقیقی در مورد پیامدهای پیش‌بینی‌شده سناریوهای سیل‌های بزرگ، مانند افراد آسیب‌دیده، آسیب‌های فیزیکی و زیان‌های اقتصادی ارائه می‌کنند (اولیاگیسنی و همکاران^{۱۶}، ۲۰۲۲: ۱). در این زمینه مطالعات زیادی در سطح جهان صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد: چاکرابورتی^{۱۷} و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی ناهمگونی فضایی و بی‌عدالتی‌های زیست‌محیطی در مواجهه با خطرات سیل با استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی پرداختند. این مطالعه بر جستجوی مناسب‌ترین چارچوب روش‌شناختی برای تحلیل نابرابری‌های اجتماعی-اقتصادی مرتبط با سیل در کانادا تأکید می‌کند. شواهد قوی از اثرات فضایی این مطالعه را برانگیخته است تا ناهمگونی فضایی متغیرهای کمکی را با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) بر روی متغیرهای پیامد پیوسته (به‌عنوان مثال، درصد املاک مسکونی در یک منطقه سرشماری در معرض خطرات سیل) و وزن رگرسیون جغرافیایی آزمایش کند. بر روی متغیرهای نتیجه دوگانه (به‌عنوان مثال، یک سرشماری در داخل یا خارج از منطقه خطر سیل). نتایج GWR نشان می‌دهد که جهت و اهمیت آماری روابط بین قرار گرفتن در معرض سیل داخلی و همه متغیرهای توضیحی مورد بررسی از نظر مکانی غیر ثابت هستند. نتایج نشان می‌دهد که گروه‌های آسیب‌پذیر، مانند زنان، خانواده‌های تنها والدین، مردم بومی، جنوب آسیا، سالمندان، سایر اقلیت‌های قابل مشاهده و ساکنان ناامن اقتصادی، در معرض خطر بیشتری برای سیل در محله‌های کانادا هستند. نابرابری‌های فضایی و اجتماعی در مواجهه با سیل، پیامدهای سیاستی حیاتی برای مدیریت مؤثر اضطراری و کاهش خطر بلایا دارد. یافته‌های مطالعه پایه‌ای برای بررسی دقیق‌تر اثرات نامتناسب خطر سیل در کانادا است. اودین و متین^{۱۸} (۲۰۲۱) پژوهشی تحت عنوان پهنه‌بندی خطر سیل بالقوه و نقشه مناسب پناهگاه سیل برای کاهش خطر بلایا در بنگلادش با استفاده از فناوری مکانی انجام دادند. با استفاده از مجموعه‌ای از معیارهای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مرتبط با بلایای سیل (به‌عنوان مثال، مناطق تکرار سیل)، ارتفاع، پوشش زمین، شکل زمین، تراکم جمعیت، دسترسی، فاصله تا جاده و فاصله تا لایه‌های سکونتگاه برای شناسایی خطر مناطق و امن‌ترین مکان‌ها برای ساخت پناهگاه‌های سیل استفاده شد. این مطالعه ارزیابی کرد که ۷،۱۱ درصد از منطقه در ژوئن ۲۰۱۷ و ۸،۹۹ درصد در آگوست ۲۰۱۷ توسط آب سرریز غرق شد. خرداد، تیر و مرداد ۱۳۹۸ و ژوئیه ۲۰۲۰ به ترتیب ۷،۲۶، ۱۰،۸۷، ۱۱،۰۷، ۹،۵۰، ۱۰،۵۶، ۵،۰۱ درصد و ۱۱،۱۴ درصد از کل کشور را پوشش داده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق مستعد سیل بسیار بالا حدود ۱۳ درصد از بنگلادش را پوشش می‌دهند. تجزیه و تحلیل مناسب بودن پناهگاه‌های سیلابی نشان می‌دهد که حدود ۸ درصد مناسب فوق‌العاده زیاد، ۱۶ درصد بسیار زیاد مناسب و ۷ درصد مناسب بودن بسیار کم برای پناهگاه‌های سیلاب است. مناسب بودن سیل و نقشه‌های خطر سیل برای حمایت از

16 - Auliagisni et al

17 - Chakraborty

18 - Uddin & Matin

دولت محلی، سازمان‌های ملی و بین‌المللی برای به حداقل رساندن خطر بلایای سیل و برنامه‌ریزی و ساخت پناهگاه‌های سیل مفید خواهد بود. اوگوتو^{۱۹} و همکاران (۲۰۲۰) مقاله‌ای تحت عنوان سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مبتنی بر تجزیه و تحلیل چند معیاره خطر سیل در آمو تاون و حوزه آبخیز آن، منطقه غرب شوا، ایالت منطقه‌ای ارومیا، اتیوپی نوشتند. نتیجه خطر سیل در منطقه نشان می‌دهد که نسبت بیشتری از حوزه آبخیز منطقه خطر سیل زیاد و بسیار زیاد (۶۰٫۵۸٪) است. علاوه بر این، نسبت بیشتری از شهر دارای منطقه خطر سیل بالا و بسیار زیاد است (۶۶٫۷۸٪). نتیجه خطر سیل در منطقه نشان می‌دهد که نسبت بیشتری از حوزه آبخیز منطقه با خطر سیل زیاد و بسیار بالا (۴۱٫۷۶٪) است. علاوه بر این، نیمی از شهر دارای منطقه پر خطر سیل و بسیار بالا (۵۰٫۰۹٪) است. یک رویکرد یکپارچه گسترده منطقه برای مدیریت سیل باید اعمال شود زیرا پرداختن به مسائل متعدد مرتبط با آب در سطح منطقه ضروری است. همچنین برای ایجاد مسئولیت مدنی در بین شهروندان باید بر آموزش محیط‌زیست تأکید شود.

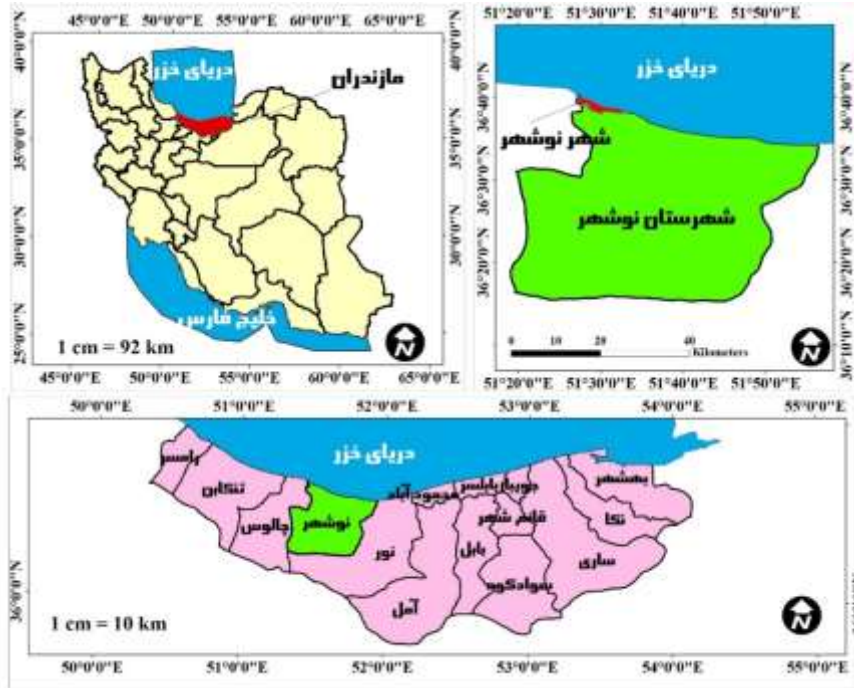
اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰) به پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب منطقه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC پرداختند. نمازی راد و همکاران (۱۴۰۰) به شناسایی نواحی مستعد سیلاب در استان گلستان با استفاده از تصاویر سنتینل و مدل‌سازی هیدرولیکی پرداختند.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهر نوشهر در جنوب دریای خزر و شمال استان مازندران در عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه و ۳۱ ثانیه شمالی و بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ درجه و ۴۳ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه و ۲۳ ثانیه شرقی واقع شده است. محدوده شهری نوشهر در جلگه غربی مازندران و بر روی رسوبات دریایی و آبرفتی کواترنر قرار دارد. رودهای ماشلک، گردکل (شرود) کرکورسر مهم‌ترین رودهایی هستند که از محدوده شهری عبور می‌کنند. حداقل ارتفاع شهر نوشهر از ۲۵-متر در سواحل تا ۴۳+متر از سطح دریا در بالادست متغیر است. (شکل ۱).

¹⁹ - Ogato



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

در این مطالعه به منظور دستیابی به هدف پژوهش ابتدا با مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع، عوامل مؤثر در وقوع سیلاب شامل ارتفاع، جهت شیب، شیب، تراکم آبراهه، فاصله از رودخانه، خاک، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، انحنای شیب، تیپ اراضی و بارش شناسایی گردید. سپس اقدام به تهیه نقشه‌های هر یک از معیارهای مطرح، در Arc GIS 10.5 اقدام شد. در این راستا، لایه‌های اطلاعاتی شبکه آبراهه، منحنی‌های میزان، طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی نقشه توپوگرافی آمل به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شد. لایه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری تهیه گردید. لایه‌های مربوط به زمین‌شناسی و لیتولوژی با رقومی سازی از روی نقشه زمین‌شناسی تهیه شدند. به منظور تهیه لایه اطلاعاتی کاربری اراضی از نقشه کاربری اراضی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. جهت تهیه نقشه خاک نیز از نقشه خاک ۱:۵۰۰۰۰ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران استفاده شده است. نقشه هم‌بارش منطقه از طریق آمار بارش از ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه در طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ تهیه شد. نقشه کاربری اراضی نیز از طریق تصویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۲۱ منطقه در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 تهیه گردید. بعد از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر در وقوع سیلاب، با استفاده از نظر ۲۵ کارشناس در این زمینه لایه‌ها و زیر معیارها با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی وزن دهی شدند؛ و در مرحله آخر وزن به دست آمده هر یک از عوامل در محیط نرم‌افزار ARC/MAP بر روی هر یک از لایه‌ها اعمال گردید و نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع خطر سیلاب با استفاده از منطق فازی عملگر گاما ۰/۹ تهیه گردید.

بحث و یافته‌ها

در ابتدا معیارها و زیر معیارها مشخص گردید که در جدول ۱ نشان داده شده است. شیب اراضی، تعیین‌کننده نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب است و نقش اساسی در میزان رواناب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب‌ها و میزان فرسایش دارد. در منطقه مطالعاتی در فاصله از سمت شمال به جنوب شدت شیب‌ها اضافه می‌شود و تا ارتفاع دامنه‌های البرز ادامه پیدا می‌کند. درصد شیب اراضی در این نقاط بیش از ۳۰ درجه بوده و به سمت شمال از شدت آن کاسته شده و در حوالی نوشهر به زیر ۷ درجه می‌رسد. در شمال منطقه که پست است، جریان آب به صورت ماندابی اتفاق می‌افتد. پستی و بلندی (ارتفاع)، منطقه عامل مهم دیگری است که نقش مهمی در مقدار و نوع ویژگی‌های جوی، وضعیت پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، میزان رواناب و در نهایت ایجاد سیلاب منطقه دارد. جنوب منطقه دارای بیشترین ارتفاع است و شمال منطقه مجاور دریای خزر از کمترین سطح ارتفاع برخوردار است. متوسط ارتفاع منطقه ۱۲۰۰ متر است. از لحاظ معیار فاصله از آبراهه می‌توان گفت، از جمله مهم‌ترین عوامل افزایش خسارات سیل استفاده نامعقول از حریم مسیل‌های به‌ظاهر مساعد و بالقوه خطرناک است که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار دارند. در منطقه مورد مطالعه فاصله از آبراهه در فواصل صفر تا ۲۵۵۰ متری می‌باشد. در مورد تراکم زهکشی، شبکه‌های رتبه ۱ و ۲ قدرت تخریب و یا سیل‌خیزی نداشته و معمولاً از ابتدای شبکه‌های رتبه ۳ به بالا احتمال خطر سیل افزایش می‌یابد. شبکه‌های رتبه ۴ عمدتاً در پایین‌دست ناحیه کوهستانی قرار دارند و یا در موقعیت خروج رودخانه از کوهستان هستند. بدین سبب شبکه‌های رتبه ۳ و ۴ به‌عنوان پهنه‌های سیل‌خیز و نواحی هدایت‌کننده سیلاب به نواحی پایین دست می‌باشند. همچنین شبکه‌های رودخانه‌ای رتبه ۵ و بالاتر در محدوده سیلاب‌دشت‌ها و یا پایاب رودخانه‌ای قرار دارند و معمولاً دارای سیلاب‌های سطحی و گسترده هستند. در این پژوهش رتبه‌های ۱ و ۲ مد نظر قرار نگرفتند. لیتولوژی منطقه به لحاظ سنگ‌شناسی به سه دسته مقاومت زیاد، متوسط و کم برحسب نوع سنگ تقسیم شدند. به‌عنوان مثال در قسمت‌های مرکزی منطقه به دلیل برون‌زد روانه‌های بازالتی و پوشش سطحی غیرقابل نفوذ، تراکم شبکه آبراهه زیاد است و یکی از دلایل سیل‌خیزی و یا افزایش ضریب رواناب در این ناحیه وجود سازند نفوذناپذیر روانه‌های بازالتی و ولکانی است. هر چه پوشش گیاهی بیشتر باشد، سیلاب کمتری رخ می‌دهد. هرچه ارتفاع منطقه بیشتر باشد، احتمال وقوع سیلاب نیز بیشتر است. به‌تبع شیب و ارتفاع منطقه، نقش اساسی در میزان رواناب، دی‌بیک سیلاب، مقدار نفوذ، تلفات بارش و میزان جریان و سرعت حرکت آب دارند. برای وزن دهی معیارها و زیر معیارها همان‌طور که ذکر گردید از نظرات ۲۵ کارشناس استفاده گردید.

جدول ۱: وزن دهی معیارها با استفاده از روش AHP فازی

مقایسه معیارها	شیب	بارش	کاربری اراضی	ارتفاع	خاک	جهت شیب	لیتولوژی	فاصله از رودخانه	تراکم رودخانه
شیب	(۱,۱,۱)	(۰/۵, ۰/۲۵, ۰/۱۶)	(۴, ۲, ۱)	(۶, ۴, ۲)	(۵, ۳, ۱)	(۶, ۴, ۲)	(۵, ۳, ۱)	(۰/۱, ۰/۳۳, ۰/۲)	(۰/۳۳, ۰/۲) (۰/۱)
بارش	(۶, ۴, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۷, ۵, ۳)	(۸, ۶, ۴)	(۸, ۶, ۴)	(۹, ۷, ۵)	(۷, ۵, ۳)	(۴, ۲, ۱)	(۶, ۴, ۲)
کاربری اراضی	(۱, ۰/۵, ۰/۲۵)	(۰/۱۴, ۰/۳۳, ۰/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۸, ۶, ۴)	(۶, ۴, ۲)	(۹, ۷, ۵)	(۶, ۴, ۲)	(۰/۵, ۰/۲۵, ۰/۱۶)	(۰/۲, ۰/۱۴, ۰/۵)
ارتفاع	(۰/۵, ۰/۲۵, ۰/۱۶)	((۰/۲۵, ۰/۱۶۶, ۰/۱۲	(۰/۱۲, ۰/۲۵, ۰/۱۶۶)	(۱, ۱, ۱)	(۰/۰, ۰/۳۳/۲, ۳/۱)	(۵, ۳, ۱)	(۰/۲/۰, ۰/۱۴, ۰/۳۳)	(۰/۲, ۰/۱۴, ۰/۱۱)	(۰/۲/۰, ۰/۱۴, ۰/۳۳)
خاک	(۰/۱, ۰/۳۳, ۰/۲)	(۰/۰, ۰/۲۵, ۰/۱۶/۱۲)	(۰/۰, ۰/۲۵/۱۶, ۰/۵)	(۵, ۳, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۶, ۴, ۲)	(۰/۵, ۰/۲۵, ۰/۱۶)	(۰/۱۱, ۰/۰, ۰/۹, ۰/۱۴)	(۰/۱۴, ۰/۱۱, ۰/۲)
جهت شیب	(۰/۵, ۰/۲۵, ۰/۱۶)	(۰/۲, ۰/۱۴, ۰/۱۱)	(۰/۰, ۰/۱۴, ۰/۱۱, ۰/۲)	(۰/۳۳, ۰/۲, ۰/۱)	(۰/۰, ۰/۲۵/۱۶, ۰/۵)	(۱, ۱, ۱)	(۰/۲/۰, ۰/۱۴, ۰/۳۳)	(۰/۲, ۰/۱۴, ۰/۱۱)	(۰/۱۴, ۰/۱۱, ۰/۲)
لیتولوژی	(۰/۱, ۰/۳۳, ۰/۲)	(۰/۳۳, ۰/۲/۰, ۰/۱۴)	(۰/۰, ۰/۲۵/۱۶, ۰/۵)	(۷, ۵, ۳)	(۸, ۶, ۴)	(۷, ۵, ۳)	(۱, ۱, ۱)	(۰/۱, ۰/۳۳, ۰/۲)	(۰/۲/۰, ۰/۱۴, ۰/۳۳)
فاصله از رودخانه	(۵, ۳, ۱)	(۱, ۰/۵, ۰/۲۵)	(۶, ۴, ۲)	(۹, ۷, ۵)	(۱, ۱, ۹, ۷)	(۹, ۷, ۵)	(۵, ۳, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۵, ۳, ۱)
تراکم رودخانه	(۵, ۳, ۱)	(۰/۵, ۰/۲۵, ۰/۱۶)	(۷, ۵, ۳)	(۷, ۵, ۳)	(۹, ۷, ۵)	(۹, ۷, ۵)	(۷, ۵, ۳)	(۰/۱, ۰/۳۳, ۰/۲)	(۱, ۱, ۱)

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲ وزن نهایی معیارها و زیر معیارها مؤثر در وقوع سیلاب نشان داده شده است. بدین ترتیب بیشترین وزن معیار به ترتیب متعلق به بارش با وزن ۰/۲۰۷، فاصله از رودخانه ۰/۱۹۹، تراکم رودخانه با ۰/۱۸۶، شیب با ۰/۱۴۰، کاربری اراضی با ۰/۱۲۰، زمین شناسی ۰/۱۱۰، خاک با ۰/۰۳۴، ارتفاع با ۰/۰۳۱ و جهت شیب با ۰/۰۱۸ می باشد.

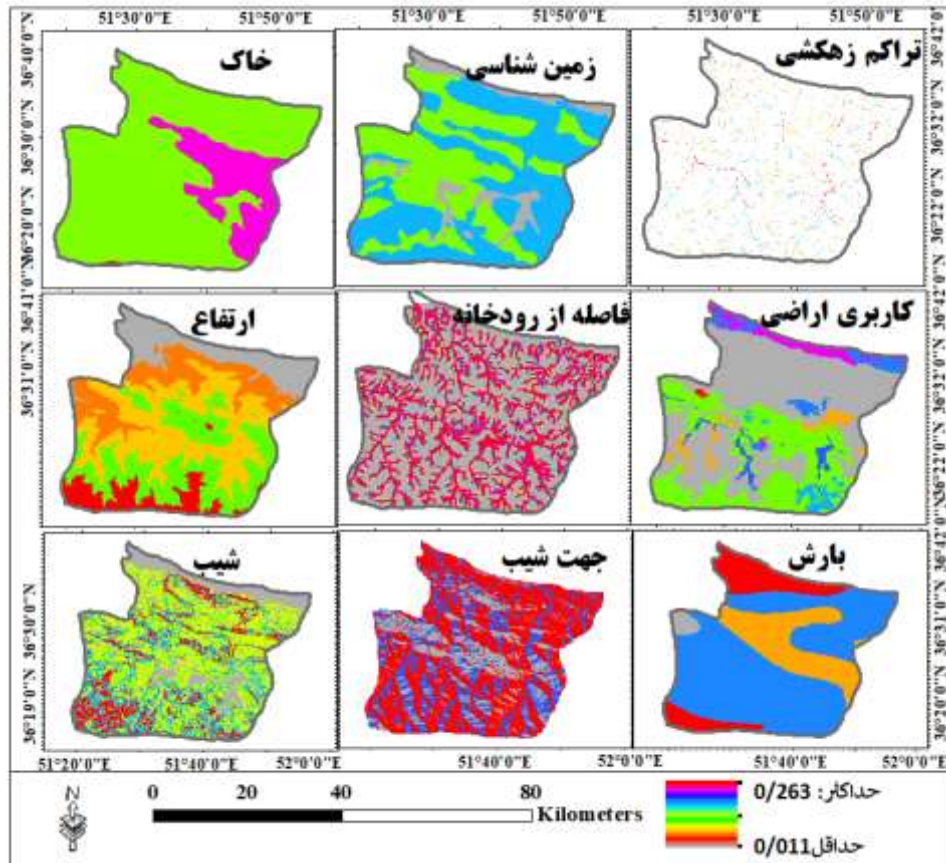
پس از وزن معیارها وزن هریک از زیر معیارها نیز محاسبه شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. سپس لایه های رقومی هریک از معیارها در محیط نرم افزار ARC/MAP10.2 تهیه گردید و اوزان به دست آمده از آنها بر روی هر یک از لایه ها اعمال گردید.

جدول ۲: معیارها و زیر معیارها

وزن	زیر معیار	وزن	معیار	وزن	زیر معیار	وزن	معیار
۰/۰۶۵	۷-۰	۰/۱۴۰	شیب	۰/۰۱۱	-۲۷-۵۰۰	۰/۰۳۱	ارتفاع
۰/۰۹۸	۷-۱۵			۰/۰۲۳	۱۲۰۰-۵۰۰		
۰/۱۱۲	۲۲-۱۵			۰/۰۲۸	۱۸۰۰-۱۲۰۰		
۰/۱۲۵	۳۰-۲۲			۰/۰۳۸	۲۵۰۰-۱۸۰۰		
۰/۱۵۸	۶۹-۳۰			۰/۰۷۸	۳۹۹۵-۲۵۰۰		
۰/۲۳۳	۱۳۰۰-۱۱۰۰	۰/۲۰۷	بارش	۰/۰۶۴	شمال	۰/۰۱۸	جهت شیب
۰/۲۱۱	۱۱۰۰-۹۰۰			۰/۰۲۲	جنوب		
۰/۱۷۸	۹۰۰-۷۰۰			۰/۰۲۸	شرق		
۰/۱۵۴	۷۰۰-۵۰۰			۰/۰۵۴	غرب		
۰/۲۶۳	۱۰۰-۰	۰/۱۹۹	فاصله از رودخانه	۰/۰۷۳	کشاورزی	۰/۱۲۰	کاربری اراضی
۰/۲۳۹	۲۰۰-۱۰۰			۰/۰۷۵	باغ		
۰/۱۸۷	۳۰۰-۲۰۰			۰/۰۱۲	جنگل متراکم		
۰/۰۹۲	۴۰۰-۳۰۰			۰/۰۵۴	مرتع خوب		
۰/۰۱۴	۴۰۰ متر بیشتر			۰/۱۲۱	مرتع متوسط		
۰/۰۲۱	۳	۰/۱۸۶	تراکم رودخانه	۰/۰۳۲	جنگل متوسط	۰/۱۱	زمین‌شناسی
۰/۰۵۶	۴			۰/۱۴۵	مرتع فقیر		
۰/۰۸۹	۵			۰/۰۸۹	مسکونی		
۰/۱۳۲	۶			۰/۱۳۶	آب		
۰/۱۶۵	۷			۰/۰۶۹	جنگل کم تراکم		
۰/۰۱۹	مقاومت زیاد	۰/۰۳۴	خاک	۰/۰۱۱	مقاومت زیاد	۰/۱۱	
۰/۰۳۷	مقاومت متوسط			۰/۰۵۳	مقاومت متوسط		
۰/۰۵۹	مقاومت کم			۰/۰۸۷	مقاومت کم		

مآخذ: نگارندگان

شکل ۲ نقشه وزن‌های اعمال شده بر روی معیارها را نشان می‌دهد، لایه کم مقاومت از زمین‌شناسی شامل سازندهای مبارکه، شمشک و سنگ‌های بازالتی و آهک به‌عنوان بستر سیلابی و همچنین شیب‌های کمتر از ۳ درصد که در لبه‌های کناری و حاشیه‌ای این بسترها قرار داشته‌اند به‌عنوان بستر سیلابی مشخص شده‌اند. پهنه‌هایی با احتمال وقوع زیاد عموماً شیب‌های بالای ۳۰ درصد را در منطقه شامل می‌گردد. این پهنه‌ها معمولاً پوشیده از سنگ‌هایی با نفوذپذیری کم، سطوح عاری از پوشش گیاهی و سطوح فاقد پوشش خاکی را تشکیل می‌دهد. تیپ‌های خاک کم مقاومت شامل مولی‌سولز و آنتی‌سولز به‌عنوان پهنه‌های سیل گیر در مرحله اول شناسایی شده و بر اساس همپوشانی با سایر نقشه‌های کاربری اراضی و زمین‌شناسی، فقط آن دسته از اراضی که کفه‌های رسوبی و اراضی پست و مرطوب را تشکیل داده‌اند به‌عنوان اراضی سیل گیر مشخص شده‌اند.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه وزن‌های اعمال شده بر روی معیارها

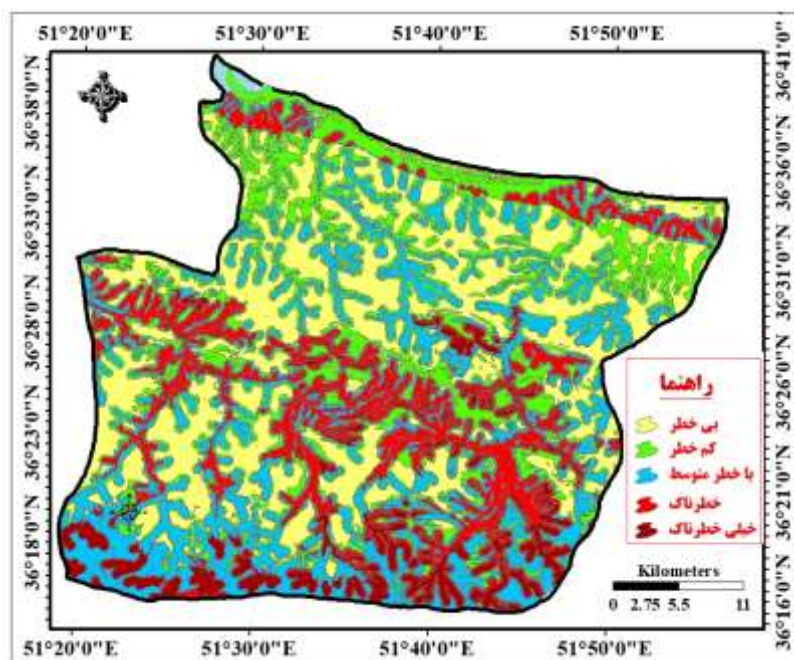
شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان نوشهر را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در پنج پهنه خیلی خطرناک، خطرناک، با خطر متوسط، کم‌خطر و بی‌خطر تهیه گردید. بر اساس جدول ۳ مناطق خیلی خطرناک و خطرناک ۲۴ درصد منطقه را در برمی‌گیرند. از همپوشانی نقشه شیب با نقشه نهایی مشخص گردید، عمده پهنه‌های خطرناک و خیلی خطرناک در شیب‌های بیشتر از ۳۰ درجه قرار گرفته‌اند؛ که این نتایج با نتایج پژوهش مددی و همکاران (۱۳۹۷) و قاسمیان و نجفی (۱۳۹۸) و الجماز و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. از همپوشانی نقشه نهایی و نقشه ارتفاع مشخص شد، بیشتر وسعت پهنه‌های خطرناک و خیلی خطرناک در محدوده ارتفاعات بیش از ۱۸۰۰ متر واقع شده‌اند که با نتایج پژوهش چاکرابورتی و همکاران (۲۰۲۲) و صالحی و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. همچنین پهنه‌های خطرناک و خیلی خطرناک در فاصله‌های کمتر از ۲۰۰ متر از رودخانه قرار گرفته‌اند؛ که این مسئله بیانگر اهمیت حفظ حریم رودخانه می‌باشد. این نتایج با نتایج پژوهش اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰) و ابراهیمی و بهشتی جاوید (۱۳۹۵) و چونگ و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. بیشتر پهنه‌های خطرناک و کم‌خطر در رتبه‌های ۵ به بالای رودخانه قرار گرفته‌اند که با نتایج پژوهش مددی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. همچنین شیب‌های پایین‌تر از یک درصد در سطح دشت‌ها که بر روی واحدهای کواترنری و تیپ اراضی سیلابی واقع شده‌اند به‌عنوان بستر سیلابی شناسایی شده‌اند. در نتیجه پهنه‌هایی

که دارای سطوح آبخیز هستند از قبیل باتلاق‌ها، تالاب‌ها و اراضی پست و بسترهای رودخانه‌ای، که به صورت پهنه سیل‌گیر مشخص شده است که با نتایج میسرا و سینها^{۲۰} (۲۰۲۰) و اوگاتو و همکاران^{۲۱} (۲۰۲۰) همخوانی دارد.

جدول ۳: مساحت و درصد پهنه‌های خطر وقوع سیلاب در شهرستان نوشهر

پهنه	مساحت به هکتار	درصد
خیلی خطرناک	۱۳۱۰۸	۸/۱
خطرناک	۲۶۷۹۳	۱۶
با خطر متوسط	۳۹۷۰۱	۲۳/۸
کم خطر	۴۰۸۷۵	۲۴/۵
بی خطر	۴۶۰۸۳	۲۷/۶

مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان نوشهر

نتیجه‌گیری

سیل یکی از بلاهای طبیعی مهمی است که همه ساله باعث ایجاد خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شود و به‌منظور کاهش خسارات و تلفات آن همیشه مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان بوده است. در این پژوهش، پهنه‌بندی سیلاب با تلفیق روش سلسله مراتبی فازی و منطق فازی (عملگر گاما ۰/۹) صورت پذیرفت بنا بر نتایج حاصل از وزن دهی، عوامل میزان بارش، فاصله از رودخانه، شیب و کاربری اراضی به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه هستند؛ که با

²⁰ - Mishra and Sinha

²¹ - Ogato et al

نتایج پژوهش مطالعه حاضر با مطالعات، مددی و همکاران (۱۳۹۷) که بر اهمیت عوامل شیب و لیتولوژی، در ایجاد سیلاب تأکید دارد، همخوانی ندارد.

پهنه‌های خطرناک و خیلی خطرناک عمدتاً در ارتفاعات بالا و شیب‌های زیاد می‌باشد. سیلاب‌های ناحیه کوهستانی از قدرت تخریب بالایی برخوردارند با این حال به دلیل نبود سکونتگاه بزرگ در این نواحی، خسارت‌ها عمدتاً متوجه باغات و اراضی کشاورزی و یا سکونتگاه‌های روستایی است که با نتیجه اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰) مبنی برافزایش سیلاب در پایین دست در یک راستا می‌باشد. سیلاب در نواحی سیلاب‌دستی مانند جلگه‌های مجاور دریای خزر خسارت‌های گسترده‌تری را به وجود می‌آورد. بخش عمده‌ای از سیلاب‌ها در نواحی کوهپایه و دشت‌ها بر اثر تغییرات کاربری اراضی و دخالت‌های انسانی اتفاق افتاده است. متأسفانه تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که علیرغم کاهش میزان بارش‌ها از میزان مهر و موم‌ها کاسته نشده و حتی برعکس در برخی از موارد بر فراوانی سیلاب‌ها افزوده شده است. این خود نشان می‌دهد که سیل تنها بر اثر شدت بارش‌ها به وجود نیامده و نوسان شاخص‌های اقلیمی و کاهش ضریب برفی و روند بیابانی شدن اقلیم نقش بیشتری در تواتر سیلاب‌ها داشته‌اند.

منابع

- ۱- اسفندیاری درآباد، فریبا، لایقی، صدیقه، مصطفی زاده، رئوف، حاجی، خدیجه، (۱۴۰۰): پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی سال هشتم، شماره ۲، صص ۱۵۰-۱۳۵.
 - ۲- صالحی، اسماعیل، رفیعی، یوسف، فرزاد بهتاش، محمدرضا، آقا بابایی، محمدتقی، (۱۳۹۲): پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: تهران)، مجله محیط‌شناسی، سال سی و نهم، شماره ۳، صص ۱۷۹-۱۸۸.
 - ۳- عابدینی، موسی، بهشتی جاوید، ابراهیم، (۱۳۹۵): پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز لیقوان چای با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله فضای جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۵۵، صص ۲۹۳ - ۳۱۲.
 - ۴- قاسمیان، هما، نجفی، اسماعیل، (۱۳۹۸): پهنه سیلاب در شهرستان کوه دشت از مدل تحلیل استفاده با سلسله مراتبی و فازی، مجله جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۳، صص ۴۰۳ - ۴۱۸.
 - ۵- مددی، عقیل، پیروزی، الناز، آقاییاری، لیلا، (۱۳۹۷): پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC (مطالعه موردی: حوضه خیاوچای مشکین شهر)، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۷، صص ۸۵-۱۰۲.
 - ۶- نمازی راد، اکرم، محسنی، ندا، حسین زاده، سید رضا، (۱۴۰۰): شناسایی نواحی مستعد سیلاب در استان گلستان با استفاده از تصاویر سنتینل و مدل‌سازی هیدرولیکی، پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی کمی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۴۰-۵۶.
- 7- Aljammaz, A. Sultan, M. Izadi, M. Abotalib, A.Z. Elhebiry, M.S. Emil, M.K. Abdelmohsen, K. Saleh, M. Becker, R. (2021): Land Subsidence Induced By Rapid Urbanization In Arid Environments: A Remote Sensing-Based Investigation. Remote Sensing 13 (6), 1109.

- 8- Auliagisni, Widi, Suzanne, Wilkinson, Elkhaboutly, Mohamed, (2022): Using Community-Based flood Maps To Explain flood Hazards In Northland, New Zealand, Progress In Disaster Science, Vol 14,100229.
- 9- Borowska-Stefanska, Marta, Lenka Balařzoviřcov', Krzysztof Goniewicz, Michał, Kowalsk, Paulina, Kurzyk, Matej, Masný, Szymon, WiřSniewski, Michaela, Zoncov, Amir, Khorram-Manesh, (2022): Emergency Management Of Self-Evacuation From flood Hazard Areas In Poland, Transportation Research Part D, Vol 107,103307.
- 10- Chakraborty, Liton, Horatiu Rus, Daniel Henstra, Jason Thistlethwaite, Andrea Minano, Daniel Scott, (2022): Exploring Spatial Heterogeneity And Environmental Injustices In Exposure To flood Hazards Using Geographically Weighted Regression, Environmental Research, Vol 210, 112982.
- 11- Chen, Y. Xu, Y. Yin, Y. (2009): Impacts Of Land Use Change Scenarios On Storm-Runoff Generation In Xitiaoxi Basin. China. J. Quat. Internat. 208 (1–2), 121–128.
- 12- Cheung, C.Y. Yiu, K.S. (2022): Public Perception Of flood Hazards In The Housing Market: A Revealed Preference Study Of Affect Heuristics And Availability Heuristics, International Journal Of Disaster Risk Reduction, Vol 75, 102977.
- 13- Dewan, M. Yamaguchi, Y. (2009): Land Use And Land Cover Change In Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing To Promote Sustainable Urbanization. J. Appl. Geogr. 29 (3), 390–401.
- 14- El-Saoud, Waleed A. Othman, Abdullah, (2022): An Integrated Hydrological And Hydraulic Modelling Approach For Flash Flood Hazard Assessment In Eastern Makkah City, Saudi Arabia, Journal Of King Saud University – Science, Vol 34, 102045.
- 15- El Bastawesy, M. El Saadawy, O. Abotalib, A.Z. Othman, A. Taha, M. Gaber, A. (2021): Examining The Impact Of Different DEM Sources And Geomorphology On Flash Flood Analysis In Hyper-Arid Deserts. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 10 (7), 431.
- 16- El-Saadawy, O. Gaber, A. Othman, A. Abotalib, A.Z. El Bastawesy, M. Attwa, M. (2020): Modeling Flash Floods And Induced Recharge Into Alluvial Aquifers Using Multi-Temporal Remote Sensing And Electrical Resistivity Imaging. MDPI, J. Sustainability. 12 (23), 10204.
- 17- Fox, M. Witz, E. Blanc, V. Soulié, C. Penalver, M. Dervieux, A. (2012): A Case Study Of Land-Cover Change (1950–2003) And Runoff In A Mediterranean Catchment. J. Appl. Geogr. 32 (2), 810–821.
- 18- Khalil, M.M. Tokunaga, T. Heggy, E. Abotalib, A.Z. (2021): Groundwater Mixing In Shallow Aquifers Stressed By Land Cover/Land Use Changes Under Hyper-Arid Conditions. J. Hydrol. 598.
- 19- Ogatoa, Gemechu Shale, Amare, Bantiderb, Ketema, Abebec, Davide, Genelettid, (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, Vol 27, 100659.
- 20- Othman, A. Shaaban, F. Abotalib, A.Z. El-Saoud, W.A. Gabr, S.S. Habeebullah, T. Hegazy, D. (2021): Hazard Assessment Of Rockfalls In Mountainous Urban Areas, Western Saudi Arabia. Arab. J. Sci. Eng. 46 (6), 5717–5731
- 21- Rawat, S. Biswas, V. Kumar, M. (2013): Changes In Land Use/Cover Using Geospatial Techniques: A Case Study Of Ramnagar Town Area, District Nainital, Uttarkhand, India. Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 16, 111–117.
- 22- Rateb, A. Abotalib, A.Z. (2020): Inferencing The Land Subsidence In The Nile Delta Using Sentinel-1 Satellites And GPS Between 2015 And 2019. Sci. Total Environ. 729, 138868.
- 23- Uddin, Kabir, Matin, Mir A. (2021): Potential Flood Hazard Zonation And Flood Shelter Suitability Mapping For Disaster Risk Mitigation In Bangladesh Using Geospatial Technology, Progress In Disaster Science Vol 11,100185
- 24- United Nations Office For Disaster Risk Reduction, UNDRR, Human Cost Of Disasters 2000-2019 Report, 2020. Retrieved From, <https://www.undrr.org/media/48008/download>.