فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ یازدهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۰
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 11, No.2, Serial 40 (Summer 2021)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹

Introducing the Flood Vulnerability Index (FVI) as a flood crisis management tool

Elham Azizi[1], Raoof Mostafazadeh[2]*, Zeinab Hazbavi[3], Abazar Esmali Ouri[4], Shahnaz Mirzaei[5]

1- MSc Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: eazizi520@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (Corresponding Author), Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

4- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: esmaliouri@uma.ac.ir

5- PhD student of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: mirzaeishahnaz@gmail.com

Abstract

Background and objective: Floods are among the most dangerous natural disasters that causes loss of life and property every year. The destructive effects of floods are more documented, due to climate change and increasing economic and social development. Social and infrastructural vulnerabilities have also increased due to human settlement adjacent to river floodplains. Therefore, to prevent more damage to ecological systems and various assets of the landscape, including human capital, flood vulnerability assessment could be assessed as an essential part of regional planning and flood management plans. In this regard, the present study aims to provide concepts of flood and its vulnerability, as well as to describe the flood vulnerability index (FVI) as one of the important methods of vulnerability assessment.

Method: The method used in the present study was based on literature review based on exploring the published articles and resources in the field of floods and the estimation of flood damages. In addition, appropriate approaches in assessing vulnerability have been studied from available resources. In this regard, the indicators used in calculating the flood vulnerability index were compared and discussed. Finally, considering the advantages and disadvantages of the methods used in the flood assessment studies, the use of FVI as a method that can examine the flood vulnerability from different aspects was explained.

Results: Based on the results, indicators in six main components of meteorology, hydrology, natural, social, economic and investment have been used in the approaches related to assess the flood vulnerability. The use of indicators in each component is based on the dimensions affecting the flood, including sensitivity, exposure and resilience. The application of indicators varies according to the purpose as well as the available data. In addition, assessing the flood crisis at different spatial scales would be appropriate using FVI method through prioritizing areas in terms of degree of vulnerability.

Conclusions: In conclusion, in case of data availability using the flood vulnerability assessment approach, all components affecting the factors of flood occurrence, resilience and damage will be considered. The Flood Vulnerability Index (FVI) provides a detailed and important view of large-scale and local decision-making and policy-making on flood vulnerability in an area, considering a variety of effective considerations. This index provides criteria in the level of exposure, sensitivity and resilience, which are the main concepts in flood risk assessment. Using this approach, flood vulnerability can be calculated in different regions, which is the basis for prioritization of flood crisis management and control measures to reduce the destructive effects of this phenomenon. Due to the widespread occurrence of floods in different parts of the country, the use of this approach can provide the basis for identifying vulnerable areas and take steps to reduce damage and control floods by applying sound management measures and planning.

Keywords: Resilience, Flood damage, Natural capital, Flood management, Flood risk

▶**Citation (APA 6th ed.):** Azizi E, Mostafazadeh R, Hazbavi Z, Esmali Ouri A, Mirzaei SH. (2021, Summer). Introducing the Flood Vulnerability Index (FVI) as a flood crisis management tool. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 11*(2),132-146.

معرفی شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) به‌عنوان ابزاری در مدیریت بحران سیل

الهام عزیزی[۱]، رئوف مصطفی‌زاده[۲*]، زینب حزباوی[۳]، اباذر اسمعلی عوری[۴] و شهناز میرزایی[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، eazizi520@gmail.com

۲- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسئول)، raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

۳- استادیارگروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، z.hazbavi@uma.ac.ir

۴- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، abazar_esmali@ yahoo.com

۵- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، mirzaeishahnaz@gmail.com

چکیده

پیش‌زمینه و هدف: سیل یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که هر ساله تلفات جانی و مالی در پی دارد. اثرات مخرب سیل در اثر تغییرات آب و هوایی و افزایش تحولات اقتصادی و اجتماعی بیشتر نمود پیدا کرده است. به دلیل تعرض انسان به حریم رودخانه‌ها، آسیب‌پذیری‌های اجتماعی و زیرساختی نیز افزایش یافته است. بنابراین، در حال حاضر برای پیشگیری از وقوع خسارات بیشتر به سیستم‌های اکولوژیکی و سرمایه‌های مختلف سیمای سرزمین از جمله سرمایه انسانی، ارزیابی آسیب‌پذیری سیل به‌عنوان یک بخش اساسی در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و نیز مدیریت سیلاب، بیش از پیش ضرورت یافته است. در همین راستا، مطالعه حاضر با هدف ارائه مفاهیمی از سیل و آسیب‌پذیری آن و نیز تشریح یکی از روش‌های مهم ارزیابی آسیب‌پذیری تحت عنوان شاخص آسیب‌پذیری سیل (Flood Vulnerability Index) تدوین شده است.

روش: در تحقیق حاضر از روش مطالعه کتابخانه‌ای و بر مبنای جستجو در مقالات و منابع منتشر شده در زمینه سیلاب و نیز برآورد خسارات ناشی از آن استفاده شده است. علاه بر این، رویکردهای مناسب در ارزیابی آسیب‌پذیری، از مطالعات استخراج گردیده است. در این راستا، شاخص‌های مورد استفاده در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری سیل، مورد مقایسه و بحث قرار گرفتند. در نهایت با در نظر گرفتن مزایا و معایب روش‌های استفاده شده در مطالعات، روش مناسب در بررسی آسیب‌پذیری سیل از جنبه‌های مختلف، تبیین گردید.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، در رویکردهای مورد استفاده در ارزیابی آسیب‌پذیری سیل از شاخص‌هایی در شش مولفه اصلی هواشناسی، هیدرلوژیکی، طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری استفاده گردیده است. شاخص‌ها در هر مولفه، بر اساس ابعاد موثر بر سیلاب شامل حساسیت، در معرض قرار گرفتن و تاب‌آوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، استفاده از شاخص‌ها بر اساس هدف و نیز داده‌های موجود متفاوت است. علاوه بر این، ارزیابی بحران سیل در مقیاس‌های مختلف مکانی در روش FVI با اولویت‌بندی مناطق از لحاظ درجه آسیب‌پذیری، روش مناسبی به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، در صورت استفاده از رویکرد ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب در صورت وجود داده، همه مؤلفه‌های اثرگذار بر عوامل تشکیل و تاب‌آوری و خسارات سیل در نظر گرفته خواهد شد. شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) با در نظر گرفتن عوامل مرتبط با سیلاب، دیدگاهی منطقی با جزئیات مهم در زمینه تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری‌های کلان و محلی نسبت به میزان آسیب‌پذیری سیلاب را در یک منطقه فراهم می‌نماید. این شاخص برای هر یک از مولفه‌ها، معیارهایی را در سطح در معرض بودن، حساسیت و تاب‌آوری ارائه می‌دهد که از مفاهیم اصلی در ارزیابی مخاطره سیل می‌باشد. با استفاده از رویکرد مذکور می‌توان در مناطق مختلف، میزان آسیب‌پذیری سیل را محاسبه نمود که مبنای اولویت‌بندی در مدیریت بحران و نیز اقدامات کنترلی در راستای کاهش اثرات مخرب این پدیده است. با توجه به وقوع گسترده سیلاب‌ها در مناطق مختلف کشور، استفاده از این رویکرد می‌تواند زمینه شناسایی مناطق آسیب‌پذیر را فراهم نموده و با اعمال اقدامات مدیریتی و برنامه‌ریزی اصولی در جهت کاهش خسارات و کنترل سیلاب گام برداشت.

کلیدواژه: تاب‌آوری، خسارت سیل، سرمایه طبیعی، مدیریت سیلاب، ریسک سیل

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** عزیزی، الهام؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ حزباوی، زینب؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ میرزایی، شهناز. (تابستان، ۱۴۰۰)، معرفی شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) به‌عنوان ابزاری در مدیریت بحران سیل. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۱* (۲)، ۱۳۲-۱۴۶.

مقدمه

هر رویدادی که ساختار طبیعی جامعه بشری و زیستگاه طبیعی را مختل سازد، واقعه تخریبی[1] نامیده می‌شود (بالیکا[2] و همکاران، ۲۰۰۹). سیل یکی از خطرناک‌ترین و مخرب‌ترین واقعه طبیعی است (دوبن[3]، ۲۰۰۶؛ مونیا[4] و همکاران، ۲۰۱۹). پیامدهای احتمالی سیل، ناشی از ترکیب فرآیندهای هواشناسی، هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی می‌باشد. در حال حاضر، به‌دلیل تغییرات آب و هوایی، افزایش بارش‌های شدیدی که منتهی به وقوع مخاطره سیل می‌شود، اکثر نقاط جهان را تحت تاثیر قرار داده است (کنور و هیروکی[5]، ۲۰۰۵). این بدان معناست که در سراسر جهان بسیاری از مناطق شهری و آسیب‌پذیر در معرض تهدیدهای جدی سیل هستند (نصیری[6] و همکاران، ۲۰۱۶). آمارهای جمع‌آوری شده از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵ نشان‌دهنده مرگ هفت میلیون انسان و ۶۰۰ میلیارد دلار خسارت ناشی از سیل می‌باشد (حاجی‌بیگلو و شیخ، ۱۳۹۷). بنابراین از جمله سیل‌هایی که در سال‌های اخیر در کشورایران نیز اتفاق اُفتاده است می‌توان به سیل‌های ۲۶ و ۲۷ اسفند سال ۱۳۹۷ استان‌های گلستان و مازندران، ۵ فروردین سال ۱۳۹۸ استان لرستان، استان گرگان و سیل سیستان و بلوچستان که خسارت جانی و مالی زیادی در پی داشتند، اشاره کرد. از طرفی، به‌علت توسعه بی‌برنامه شهری، ساخت و سازهای غیرمجاز، تغییر کاربری اراضی و مدیریت ضعیف حوزه‌های آبخیز بالادست، وقوع سیل‌های مهیب و ویران‌گر در اکثر نقاط جهان، لزوم ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سیل را ضرورت داده است. با توجه به دستورالعمل‌های سازمان ملل، آسیب‌پذیری را می‌توان به‌عنوان درصدی از خسارت‌های فرضی ناشی از تهدیدها ارزیابی کرد (نصیری و شاه‌محمدی، ۲۰۱۳)[7]. ارزیابی خطر و کاهش آسیب‌پذیری سیل، از مؤلفه‌های اساسی مدیریت سیل می‌باشد که با افزایش جمعیت، این مسأله اهمیت بیشتری پیدا کرده است (احمد و سیمونوویس[8]، ۲۰۱۲).

مفهوم آسیب‌پذیری سیل و FVI

سازمان ملل متحد[9] (۱۹۸۲) آسیب‌پذیری سیل را میزان خسارت به موارد معین در معرض خطر ناشی از سیل توصیف کرده است. آسیب‌پذیری توانایی فردی یا گروهی از مردم در معرض سیل یا اثرات یک خطر طبیعی که شامل طبقه‌ای از تأثیر آن رویداد است، را توصیف می‌کند (بلیکی[10] و همکاران، ۱۹۹۴). آسیب‌پذیری سیل یکی از مؤلفه‌های مهم در مدیریت ریسک و ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب می‌باشد (کنور و هیروکی ۲۰۰۵). «یک سیستم حساس در معرض خطر سیل، تا چه حدی می‌تواند در مقابل آشفتگی ایجاد شده مقابله کند، بهبود بیابد و یا خود را با آن وفق دهد» (قهرمانی و همکاران ۱۳۹۵). در منابع مختلف، مفهوم آسیب‌پذیری سیل و ارزیابی آن موضوعی دشوار و پیچیده ذکر شده است، چرا که در برگیرنده تمامی منافع انسانی بوده و بایستی در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و ارزش‌های محیطی تعریف گردد. همچنین، از لحاظ دیدگاه‌ها و متغیرهای مختلف توصیف گردیده است و توسط معیارهای هر یک از مؤلفه‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری ارزیابی می‌گردد. در راستای کاهش آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر خطرات و خسارات ناشی از سیل، شاخص‌های متنوعی از جمله شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) [11] ارائه شده است. مفهوم اصلی شاخص FVI، شناسایی خصوصیات مختلف یک سیستم و کاربرد آن برای مخاطره سیل در سطوح مختلف مکانی است (بالیکا و همکاران، ۲۰۰۹). شاخص آسیب‌پذیری سیل به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی خطرات سیل ناشی از تغییرات آب و هوایی در ارتباط با شرایط اقتصادی-اجتماعی و سیاست‌های مدیریتی به‌کار می‌رود (کیشی[12]، ۲۰۱۴). روش (FVI) با شش مؤلفه هواشناسی، هیدرلوژیکی، طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری با معیارهای مربوط به هر مؤلفه و با سه فاکتور حساسیت[13]، در معرض قرار گرفتن[14] و تاب‌آوری[15] می‌تواند برای

1. Destructive event
2. Balica
3. Douben
4. Munyai
5. Connor & Hiroki
6. Nasiri
7. Nasiri & Shamohammadi
8. Ahmad & Simonovic
9. United nations,1982
10. Blaikei
11. Flood Vulnerability Index
12. Kissi
13. Susceptibility
14. Exposure
15. Resilience

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سیل روش مناسبی باشد.

پیامدهای سیلاب

در نظر داشتن پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی سیل در ارزیابی آسیب‌پذیری این مخاطره ضروری است و این پیامدها می‌تواند منفی یا مثبت باشد. پیامدهای منفی و مثبت سیلاب بسته به میزان آسیب‌پذیری، گستره وقوع، مصنوعات انسانی و ارزش‌های محیط طبیعی، ضعف و شدت دارند. همچنین می‌توان گفت که پیامدهای مثبت و منفی سیل به محل، شدت سیل، میزان آسیب‌پذیری یک منطقه نسبت به سیل و اقلیم، توپوگرافی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. اما پیامدهای مثبت و منفی سیلاب می‌تواند شامل پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی نیز باشد. مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی ارتباط تنگاتنگی با سیل داشته و در صورت وقوع این پدیده می‌تواند تحت تأثیر پیامدهای منفی و مثبت این رویداد قرار گیرد. در ادامه هر یک از این پیامدها در هر دو گروه پیامدهای مثبت و منفی در سه زمینه اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به صورت خلاصه شرح داده شده است.

پیامدهای مثبت سیل

اکثر پژوهش‌های صورت گرفته به پیامدهای منفی سیلاب پرداختند. اما باید توجه داشت که سیلاب علاوه بر پیامدهای منفی، پیامدهای مثبت، مزایا و منافعی نیز دارد. یکی از مهم‌ترین پیامدهای مثبت سیل افزایش آب و کاهش شهرهای دارای تنش آبی می‌باشد (جعفری و مهرابی توانا، ۱۳۹۸). همچنین، سیل می‌تواند پیامدهای مثبت اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی دیگری نیز داشته باشد. از جمله پیامدهای مثبت اجتماعی سیل می‌توان به فراهم‌سازی امکانات تفریحی و توریستی از طریق تقویت آب‌های زیرزمینی و پیکره‌های آبی اشاره کرد. این رویداد طبیعی علاوه بر هزینه‌هایی که در صورت وقوع بر جای می‌گذارد، می‌تواند نقش مثبتی هم در زمینه اقتصادی داشته باشد. مزایای اقتصادی آن نیز شامل غنی‌تر کردن زمین‌های کشاورزی با انباشت رسوبات در دشت‌های سیلابی، فراهم کردن آب در دسترس برای فعالیت‌های صنعتی و چند برابر شدن تولید نیروهای برق‌آبی می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که با بازسازی مناطق تخریب شده، امکان اشتغال‌زایی را نیز افزایش می‌دهد (جعفری و مهرابی توانا، ۱۳۹۸). مزایای زیست محیطی سیلاب عبارتند از؛ تقویت و تجدید حیات تالاب‌ها، اثرگذاری بر رخدادهای مهم حیات پرندگان (مانند مهاجرت، تخم‌گذاری)، انتقال مواد مغذی به تالاب‌ها و فراهم کردن غذا برای ماهیان و سایر زیست‌مندان از تالاب‌ها، شست و شوی زمین‌های شور ناشی از سموم و کودهای شیمیایی انباشته و متمرکز شده، ایجاد رطوبت و تثبیت گیاهان. همچنین می‌توان به جلوگیری از توسعه بیابان‌ها، تغذیه آب‌های زیرزمینی و پر آب شدن رودخانه‌ها، مهار ریزگردها (جعفری و مهرابی توانا، ۱۳۹۸) اشاره کرد.

پیامدهای منفی سیل

با توجه به این‌که امروزه کشاورزی، شهرسازی و شهرنشینی به سمت رودخانه گسترش یافته است، بنابراین احتمال بروز پیامدهای منفی ناشی از وقوع سیل نسبت به پیامدهای مثبت بسیار زیاد است؛ علی‌الخصوص اگر منطقه‌ای زیرساخت‌های لازم را نداشته باشد. سیل، عوامل اجتماعی و اقتصادی و هم‌چنین زیست محیطی را تحت تاثیر قرار داده و به آن‌ها آسیب وارد می‌سازد. آسیب‌های روانی و اجتماعی، مهم‌ترین معضلات و پیامدهای وقوع سیل می‌باشد، که احتمالاً با گذشت زمان و افزایش اثرات بحران، اختلالات روانی و اجتماعی آن نیز افزایش پیدا می‌کند. از جمله پیامدهای اجتماعی سیل می‌توان به تلفات جانی، شیوع بیماری‌ها، مهاجرت افراد از منطقه سیل زده، حاشیه نشینی، ایجاد یأس و ناامیدی و پیامدهای روانی اشاره کرد. یکی از پیامدهای روانی که سیل در بازماندگان حوادث ایجاد می‌کند افسردگی شدید یا اساسی می‌باشد که در صورت عدم تشخیص به موقع می‌تواند در افراد تثبیت گردد. اما بیکاری حاصل از سیل نیز در صورتی که طولانی مدت باشد باعث ایجاد آسیب جدی در افراد می‌شود. از جمله خسارات اقتصادی می‌توان به از بین رفتن محصولات کشاورزی، تلفات دامی، تخریب کارخانه‌ها، کاهش تولید و کاهش بازدهی محصولات دامی، اثرات منفی رشد اقتصادی در مناطقی که دچار بحران سیل شده‌اند، تخریب سریز سدها و بندهای انحرافی، از بین رفتن صنایع و خدمات وابسته و خسارت به راه‌های ارتباطی و راه آهن اشاره کرد. از بین رفتن تالاب‌ها، تغییر ویژگی‌های بیولوژیکی آب، فرسایش خاک، تغییر در زیستگاه آبی، مهاجرت روستائیان و بایر شدن زمین نیز در دسته

خسارات زیست محیطی می‌باشند.

پیشینه

مطالعات متعددی در زمینه آسیب‌پذیری سیل و روش‌های ارزیابی آن انجام گردیده است. بهارلویی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهش خود بیان کردند که استان خوزستان جزء مناطق سیل‌خیز کشور محسوب شده و علی‌رغم وجود سدهای مخزنی بزرگ، هر ساله سیل بیشترین خسارات را به زیربناها وارد می‌سازد، به‌طوریکه طی ۱۴ سال گذشته بیش از ۵۷۰ میلیارد تومان سیل خسارت داشته است. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهش ترکیب مدل‌سازی پارامتری و فیزیکی آسیب‌پذیری ریسک سیل بیان کردند که روش‌های بسیاری برای مطالعه آسیب‌پذیری ریسک سیل در دسترس می‌باشد اما مناسب‌ترین روش نقشه‌برداری طغیان رود مبتنی بر کامپیوتر و استفاده از رویکرد پارامتری ارزیابی آسیب‌پذیری است و به این نتیجه رسیدند که روش پارامتری شاخص آسیب‌پذیری سیل یکی از مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سیل می‌باشد. عبدی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی ارزیابی یکپارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری و ریسک‌پذیری فضایی در برابر سیل در شهر ساری با تعیین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری و با استفاده از مدل‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) [1] توزیع فضایی آن به این نتیجه رسیدند که ۶۰۰ هکتار از مناطق شهر ساری پتانسیل آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا، ۸۰۰ هکتار دارای تاب‌آوری بالا و بسیار بالا و با ادغام نقشه آسیب‌پذیری و ریسک‌پذیری، حدود ۶۰۰ هکتار دارای ریسک‌پذیری بالا و بسیار بالا می‌باشند. اسماعیلی علویجه و همکاران (۱۳۹۹) در ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی در منطقه ۲۲ تهران با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) [2] به این نتیجه رسیدند که درصد تراکم جمعیت در شمال شرقی منطقه و نزدیک رودخانه کن از ۱/۰۷ درصد بیشتر است، بنابراین احتمال آسیب‌پذیری زیاد در آن منطقه پیش‌بینی می‌گردد. هم‌چنین بیان کردند که ساخت و سازهای غیرمجاز در رژیم رودخانه‌های کن و ورد آورد باعث تجمع آب گردیده و با ادامه افزایش جمعیت در منطقه، احتمال آسیب‌پذیری در برابر سیل در منطقه ۲۲ تهران افزایش خواهد یافت. در مطالعات انجام شده در خارج از کشور، کنور و هیروکی (۲۰۰۵) در پژوهش "تدوین روشی برای ارزیابی میزان سیل"، از روش تجزیه و تحلیل چند متغیره برای ایجاد شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص آسیب‌پذیری سیل، امکان تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای بین حوزه‌های مختلف و شناسایی عوامل اصلی آسیب‌پذیری حوزه را برای کاربران فراهم می‌نماید. بالیکا و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش شاخص‌های آسیب‌پذیری سیل در مقیاس‌های مختلف مکانی بیان کردند که روش‌شناسی توسعه یافته (FVI) اجازه تحلیل بیشتری از شاخص‌های حوزه آبریز، حوزه آبخیز فرعی و حوزه آبخیز شهری را داده و نقاط آسیب‌پذیر را نشان می‌دهد. همچنین، نتایج نهایی را به‌وسیله یک عدد استاندارد بین صفر تا یک که نمادی از کم یا زیاد بودن آسیب‌پذیری سیل در بین مقیاس‌های مختلف مکانی است، ارائه دادند. وانگ [3] و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات مکانی و زمانی در معرض قرار گرفتن و آسیب‌پذیری سیل در چین را با تهیه مجموعه داده‌های اقتصادی خسارات سیل تاریخی دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ بررسی کردند. نتایج نشان داد که جمعیت در معرض سیل تقریباً برابر با ۱۲۶ نفر در کیلومترمربع در سال بوده است. همچنین، خسارات اقتصادی احتمالی ناشی از سیل تقریباً برابر با ۱/۴۹ میلیون یوآن چینی در کیلومترمربع و سطح زیرکشت در معرض سیل برابر با ۱۵۳۰۰۰۰ کیلومترمربع تخمین زده شده است. زلنوکووا [4] و همکاران (۲۰۱۸) برای شناسایی آسیب‌پذیری سیل در حوزه آبریز Bodva از رویکرد یکپارچه‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) [5] با روش تجزیه و تحلیل چند معیاره (MCDA) – فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش AHP نتایج خوبی در رابطه با سیلاب‌های موجود در سال‌های اخیر این حوزه را نشان می‌دهد. نصیری و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی آسیب‌پذیری سیلاب‌های منطقه‌ای شهر کوآلالامپور از روش دلفی و AHP در دو مرحله جداگانه و ترکیبی استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تمام ناحیه شهر کوآلالامپور با توجه به مؤلفه‌های اجتماعی، اقتصادی، محیطی و طبیعی یا فیزیکی در برابر خطر سیل آسیب‌پذیر می‌باشد.

1. Multiple Criteria Decision Making
2. Fuzzy Analytical Hierarchy Process
3. Wang
4. Zelenakova
5. Geographic Information System

مونیا و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی آسیب‌پذیری و سازگاری سیل در روستای هاموتشا-مورنگامونوه شهرداری میکادو برای بررسی میزان آسیب‌پذیری سیل، از شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) و برای جمع‌آوری داده‌ها از مصاحبه‌های آگاهی‌دهنده کلیدی، نظرسنجی میدانی و پرسشنامه استفاده کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که آسیب‌پذیری در برابر سیل در این جامعه با توجه به ماهیت خاک، نوع سکونت، اشتغال، تحصیلات و میزان بارندگی در یک فصل تعیین می‌گردد. ایشان همچنین توصیه می‌کنند که کمپین‌های آگاهی عمومی، سامانه‌های هشداردهنده اولیه و راهبردهای مدیریت بهتر در برابر سوانح در جامعه در نظر گرفته شود. بانگالور[1] و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی قرار گرفتن در معرض سیل، تغییر آب و هوا و فقر در ویتنام در شهر هوشی‌مین با استفاده از نقشه‌های جدید با وضوح بالا، داده‌های اقتصادی و تجزیه و تحلیل در سطح ملی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تخمین میزان قرار گرفتن در معرض احتمالی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی، از جمله برای افراد فقیر زمینه را برای یافتن سرمایه‌گذاری‌های آینده در مدیریت ریسک سیل فراهم می‌کند. جونگ سئوک و هایون[2] (۲۰۱۹) تجزیه و تحلیل مقیاس‌های شاخص آسیب‌پذیری سیل توسط چارچوب‌های مؤلفه‌های ارزیابی IPCC[3] در تغییرات آب و هوایی در کره را مطالعه کردند. به‌همین منظور از چندین چارچوب تلفیقی برای تدوین مؤلفه‌های فردی از طریق شاخص‌های مرکب برای اندازه‌گیری استفاده گردیده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که انتخاب یک چارچوب تلفیقی می‌تواند بر اساس همبستگی و تحلیل علیت‌ها باشد تا سهم نسبی مؤلفه‌های ارزیابی را در عملکرد کلی شاخص‌های مرکب در چارچوب‌های مختلف تلفیق، تعیین نماید. میراندا و فرریرا[4] (۲۰۱۹) در پژوهشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل اماکن تاریخی در Guimarães پرتغال با هدف ارائه روشی نوین و متمرکز به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سیل از طریق ارزیابی مجموعه شاخص‌های "در معرض قرار گرفتن" و "حساسیت"، به این نتیجه رسیدند که شاخص آسیب‌پذیری سیل می‌تواند در حال حاضر برای تهیه طرح‌های اولیه آسیب‌پذیری و نشان دادن روش‌هایی برای تعریف استراتژی‌های کارآمدتر برای مدیریت و کاهش خطر سیل در مکان‌های تاریخی استفاده گردد و با واسنجی بیشتر می‌توان عدم اطمینان‌های موجود در فرآیند ارزیابی را کاهش و کاربرد آن را گسترده‌تر و قوی‌تر کرد.

با توجه به گسترش وقوع سیل در دهه اخیر در سطح دنیا و بویژه در ایران که منتهی به تلفات جانی و خسارات اقتصادی و زیست محیطی فراوانی گردیده است، ارزیابی آسیب‌پذیری سیل می‌تواند در شناسایی مناطق حساس و آسیب‌پذیر به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت جامع کاهش ریسک بلایای طبیعی ضروری باشد. سوابق تحقیق نشان می‌دهد که روش‌های متنوعی برای برآورد و ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده است که هر کدام مولفه‌های مختلفی را در نظر داشته‌اند. در این راستا، استفاده از روشی که بتواند مولفه‌های مهم و اثرگذار در برآورد آسیب‌پذیری را ارائه دهد، در ارزیابی جامع آسیب‌پذیری و برنامه‌زیری کنترل و کاهش مخاطره سیل و مدیریت بحران حائز اهمیت خواهد بود. از این‌رو هدف پژوهش حاضر معرفی شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) می‌باشد که به‌عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سیل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش

مطالعه حاضر بر اساس مرور مطالعات انجام گرفته در زمینه سیل و نحوه ارزیابی آسیب‌پذیری سیل تدوین شده است. در این راستا اکثر مجلات و مقالات مرتبط با موضوع با کلید واژه‌هایی مانند آسیب‌پذیری سیلاب، شاخص‌های آسیب‌پذیری و مؤلفه‌های آسیب‌پذیری مورد جست و جو قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج بررسی پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده است، روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل استخراج گردید که در مقیاس‌های مختلف مکانی از آن‌ها بهره گرفته شده است. در روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سیل معیارهای حساسیت، ظرفیت تطبیقی و مقابله با سیلاب -که به‌عنوان عوامل طبیعی، اجتماعی-اقتصادی و محیطی در نظر گرفته شده‌اند-، تعیین می‌گردند. علاوه بر این روش‌ها، ارزیابی آسیب‌پذیری سیل بر اساس تحلیل سلسله مراتبی و با تعیین سه سطح ظرفیتی مقابله، آسیب‌پذیری ساختاری و اجتماعی مورد مطالعه قرار گرفته است. ارزیابی آسیب‌پذیری چند بُعدی سیل از طریق چهار مؤلفه جمعیت، مرگ، کشاورزی

1. Bangalore
2. Jong Seok & Hyun
3. Intergovernmental Panel on Climate Change
4. Miranda & Ferreira

و اقتصادی توسط داپنگ هوانژ[1] و همکاران (۲۰۱۲) مورد مطالعه قرار گرفت که در ادامه به آن اشاره شده است. در ادامه به روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سیل پرداخته شده ولی با توجه به اینکه بیشتر مطالعات برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل، روش FVI را روش مناسبی در این زمینه معرفی کردند، بنابراین مؤلفه‌های این روش به تفصیل بیشتری ارائه گردیده است. در مطالعات متعددی ارزیابی آسیب‌پذیری سیل با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) با مداخله مؤلفه‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، فیزیکی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری و تعدادی از معیارهای مربوط به هر مؤلفه مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از استخراج همه شاخص‌های مؤثر در آسیب‌پذیری سیل، شاخص‌های مورد استفاده در مؤلفه‌های مختلف به صورت جدول ارائه شده و ملاحظات استفاده از آن‌ها در مطالعه سیل مورد بحث قرار گرفته است.

یافته ها

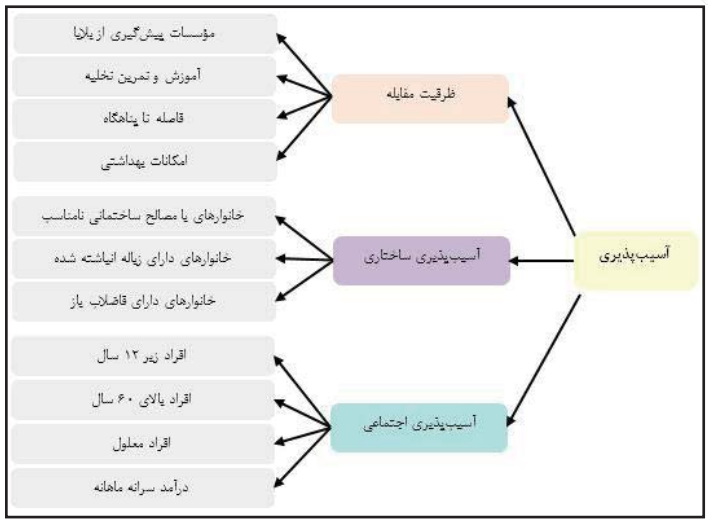
روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سیل

یکی از روش‌هایی که محققان، ارزیابی آسیب‌پذیری سیل را با آن مورد مطالعه قرار می‌دهند، نمودار جریانی ارزیابی آسیب‌پذیری سیل که توسط کن[2] و همکاران (۲۰۱۶) ارائه شده است، می‌باشد (شکل ۱). در این روش، آسیب‌پذیری سیل از طریق سه معیار حساسیت، ظرفیت تطبیقی و مزایای سیلاب که به‌عنوان عوامل طبیعی، اجتماعی-اقتصادی و محیطی در نظر گرفته شده‌اند، استانداردسازی و تعیین می‌گردد. بدین منظور ابتدا داده‌های پایه بر اساس شرایط طبیعی و اقتصادی-اجتماعی منطقه، بازدید میدانی و تهیه نقشه از منطقه مورد نظر و نیز شرایط سیلابی جمع‌آوری می‌شود. سپس هر سه عوامل طبیعی، اجتماعی-اقتصادی و محیطی بر اساس سالنامه آماری، تکمیل پرسشنامه توسط ساکنان منطقه و همچنین تکمیل پرسشنامه توسط مسئولان کمی‌سازی می‌گردند. در مرحله بعد، داده‌ها بر اساس سه معیار حساسیت، ظرفیت تطبیقی و منافع، استانداردسازی می‌شود و برای محاسبه وزن متغیرها از پرسشنامه‌های تهیه شده توسط افراد خبره و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده می‌گردد. بعد از این مرحله ارزش معیارها و شاخص آسیب‌پذیری سیل تعریف و برای ارزیابی سطوح آسیب‌پذیری نیز، طبقه‌بندی آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی آسیب‌پذیری مد نظر قرار می‌گیرد.

شکل ۱: نمودار جریانی ارزیابی آسیب‌پذیری سیل (وان و همکاران، ۲۰۱۹)

روش دیگری که محققان برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل از آن استفاده می‌کنند، روش AHP یا تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. شکل ۲، مدل مفهومی شاخص آسیب‌پذیری سیل بر اساس تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مدرج دبریتو[3] و همکاران (۲۰۱۸) را نشان می‌دهد. در این مدل سه سطح برای AHP مد نظر قرار گرفته؛ سطح اول مربوط به هدف و سطح دوم و سوم مربوط به زیر شاخص‌ها و معیارها است. بدین صورت که ابتدا برای بررسی آسیب‌پذیری سه شاخص ظرفیت مقابله، آسیب‌پذیری ساختاری و آسیب‌پذیری اجتماعی و سپس برای هر کدام از این سه سطح معیارهای ذکر شده در شکل در نظر گرفته می‌شود.

1. Dapeng Huang
2. Can
3. Madruge de Brito



شکل ۲: مدل مفهومی شاخص آسیب‌پذیری سیل بر اساس تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مدرج دبریتو و همکاران، ۲۰۱۸)

شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI)

روش شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیل، مناسب‌ترین روش می‌باشد (قهرمانی و همکاران، ۱۳۹۵). در این شاخص آسیب‌پذیری، مؤلفه‌های هواشناسی، هیدرلوژیکی، طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری (کنور و هیروکی، ۲۰۰۵) همراه با معیارهای متعدد برای هر مؤلفه در نظر گرفته می‌شود (بالیکا و همکاران، ۲۰۰۹). به نظر می‌رسد این روش نسبت به سایر روش‌های ارائه شده به صورت جامع‌تری به مسئله آسیب‌پذیری و ارزیابی آن می‌پردازد. بنابراین، در ادامه، روش FVI در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری از سیل مورد تأکید قرار گرفته و همه معیارهای مورد استفاده در مؤلفه‌های مختلف مؤثر بر سیلاب، به صورت جمع‌بندی شده ارائه گردیده است.

گروه ۱. مؤلفه هواشناسی

از مؤلفه‌های هواشناسی مؤثر بر سیلاب می‌توان به ویژگی‌های بارندگی مانند شدت، مدت و فراوانی وقوع بارش‌های شدید اشاره کرد که شناخت آن‌ها با هدف تمرکز بر پیش‌بینی آب و هوا و اثرات سیلاب در حیطه دانش آب و هواشناسی می‌باشد (راگونات، ۱۹۸۵). تغییر اقلیم به‌عنوان یک چالش جهانی، تاثیر قابل توجهی بر الگوی وقوع، فراوانی و زمان‌بندی وقایع هیدرواقلیمی داشته است و بر اساس ویژگی‌های مکانی و در مقیاس محلی اثرات متفاوتی دارد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷). به نظر می‌رسد که روند تغییرات متغیرهای اقلیمی، نشان‌دهنده این است که اقلیم جهان در حال تغییر می‌باشد. با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی از جمله بارش، بر جنبه‌های مختلف منابع آب اثر مستقیم دارد، بنابراین برآورد میزان تغییرات اقلیمی و اثر آن بر منابع آب، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از آن جایی‌که تغییرات آب و هوا یکی از دلایل مهم سیل است، اغلب مطالعات به برآورد شاخص شدت بارندگی از این مؤلفه اشاره کرده‌اند. اما به نظر می‌رسد معیارهای ذکر شده در جدول نیز می‌تواند بر مقدار تولید سیل و آسیب‌پذیری ناشی از آن تأثیر بگذارد. در جدول ۱، بعضی از معیارهای مورد مطالعه در مؤلفه هواشناسی همراه با توضیحات ارائه شده است.

جدول ۱: معیارهای مؤلفه هواشناسی مرتبط با آسیب‌پذیری سیلاب

معیار	عامل	توضیحات	نوع رابطه با آسیب‌پذیری سیل	منابع
شدت بارندگی	در معرض قرار گرفتن	افزایش شدت بارندگی در حوزه بالادست به نحوی‌که باعث بالا رفتن سطح آب از حد آستانه شود.	تعداد روزهای بارانی بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، کنور و هیروکی (۲۰۰۵)
طوفان	در معرض قرار گرفتن	آشفتگی جوی بسیار شدید که معمولا با باران، برف، تگرگ و یا رعد و برق همراه است	تعداد طوفان‌ها بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
تغییرات دما	در معرض قرار گرفتن	دریافت نامنظم انرژی خورشیدی توسط زمین	تغیرات دما بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	توران‌پور و توران‌پور (۱۳۹۵)
بارش برف و ذوب آن	در معرض قرار گرفتن	یکی از ریزش‌های آسمانی است که در اثر گرمای شدید ذوب شده و به رواناب تبدیل می‌شود	بارش برف و ذوب بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	توران‌پور و توران‌پور (۱۳۹۵)
طوفان‌های موسمی	در معرض قرار گرفتن	طوفانی که همراه با باد تند و شدید باشد	قدرت تخریبی طوفان بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)

گروه ۲. مؤلفه هیدرولوژیکی

یکی از اثرات احتمالی رویداد سیل شرایط هیدرولوژیکی است. بدین صورت که وقتی در بالادست یک حوزه بارندگی شدید رخ می‌دهد، آب از حد آستانه خود بالا رفته و باعث بروز سیلاب می‌گردد. اما در این میان، بعضی از فعالیت‌های انسانی باعث افزایش اصطکاک و مقاومت بستر شده و باعث افزایش سطح آب و سر ریز شدن آن به اطراف رودخانه می‌شود (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳). پژوهش‌هایی که اخیراً صورت گرفته است نشان می‌دهد که به احتمال زیاد، تغییرات اقلیم باعث افزایش تغییر در چرخه هیدرولوژیکی شده و احتمال حوادث سیل را افزایش داده است (بتس[1] و همکاران، ۲۰۰۸؛ عبدی و همکاران، ۱۳۹۸). این مؤلفه، مقدار آب خروجی از حوزه را اندازه‌گیری می‌کند. در جدول ۲، برخی از معیارهای مورد مطالعه این مؤلفه ارائه گردیده است.

جدول ۲: معیارهای مؤلفه هیدرولوژیکی مرتبط با آسیب‌پذیری سیلاب

معیار	عامل	توضیحات	نوع رابطه با آسیب‌پذیری سیل	منابع
حجم سیل	در معرض قرار گرفتن	افزایش ارتفاع آب در رودخانه	روزهای بارانی بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	کنور و هیروکی (۲۰۰۵)
جزر و مد	در معرض قرار گرفتن	پایین رفتن و بالا آمدن متناوب روزانه سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها و غیره	جزرو مد بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	کنور و هیروکی (۲۰۰۵)
سرعت سیل	در معرض قرار گرفتن	افزایش مقدار دبی رودخانه پس از یک بارندگی شدید	سرعت سیل بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	کنور و هیروکی (۲۰۰۵)
افزایش سطح دریا	در معرض قرار گرفتن	سطح دریا در یک سال چقدر در حال افزایش است	سطح دریا بالاتر، آسیب‌پذیری بالاتر	لن و همکاران (۲۰۱۸)
موج طوفان	در معرض قرار گرفتن	افزایش سریع سطح آب تولید شده توسط طوفان‌های خشکی و افت فشار بارومتری	افزایش بیشتر در سطح آب، آسیب‌پذیری بالاتر	لن و همکاران (۲۰۱۸)
دبی رودخانه	در معرض قرار گرفتن	حداکثر دبی در ۱۰ سال گذشته	مقدار دبی بالا، آسیب‌پذیری بالا	لن و همکاران (۲۰۱۸)
خط ساحلی	در معرض قرار گرفتن	کیلومترهایی از خط ساحلی در امتداد شهر	خط ساحلی بیشتر، آسیب‌پذیری بالا	لن و همکاران (۲۰۱۸)

گروه ۳. مؤلفه محیطی_فیزیکی

منظور از مؤلفه محیطی شاخص‌هایی است که می‌تواند خسارات ناشی از سیل را با استفاده از مداخلات مصنوعی -که انسان در محیط داشته است-کاهش دهد یا اینکه خطر آسیب‌پذیری سیل را با شاخص‌های محیطی مانند شیب افزایش دهد. در این مؤلفه، فعالیت‌هایی مانند شهرنشینی و از بین رفتن جنگل، باعث افزایش تخریب محیط زیست گردیده و با ایجاد اثراتی مانند تغییرات آب و هوا و افزایش سطح دریا، احتمال وقوع سیل را افزایش می‌دهد. اما مؤلفه فیزیکی شامل هر دو وضعیت طبیعی و مصنوعی است که می‌تواند بر آسیب‌پذیری سیل مؤثر باشد. به عبارت دیگر، این مؤلفه شامل ویژگی‌های جغرافیایی و زیرساخت‌ها (از قبیل مخزن‌ها، سدها، بندها، کانال‌ها و غیره) است (بالیکا و همکاران، ۲۰۰۹). مؤلفه فیزیکی مربوط به پیش‌بینی زیرساخت‌های آسیب‌دیده در اثر وقوع سیل می‌باشد، اما پیش از آن که در اثر سیل آسیب‌دیده باشد، ممکن است اثرات جانبی سیل را کاهش دهد. از جمله معیارهایی که در مؤلفه فیزیکی-محیطی در اغلب پژوهش‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است، می‌توان به معیارهای ارائه شده در جدول ۳ اشاره کرد.

گروه ۴. مؤلفه اجتماعی

منظور از مؤلفه اجتماعی، زندگی روزانه مردم که تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرد، می‌باشد (بالیکا و همکاران، ۲۰۰۹). این مؤلفه، حضور و وجود انسان را شرح داده و موضوعات مربوط به کمبود تحرک انسان در ارتباط با جنسیت، سن یا معلولیت را در بر می‌گیرد (بالیکا و همکاران، ۲۰۰۹). سیل‌ها باعث تخریب اماکن عمومی و قطع راه‌های ارتباطی شده و حتی منجر به مرگ افراد نیز می‌گردد.

1. Bates

جدول ۳: معیارهای مؤلفه محیطی-فیزیکی مرتبط با آسیب‌پذیری سیلاب

معیار	عامل	توضیحات	نوع رابطه با آسیب‌پذیری سیل	منابع
فراوانی وقوع سیل	حساسیت	تعداد سیل‌های که در مدت معین اتفاق می‌اُفتد	تعداد موارد در سال بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، کیشی (۲۰۱۴)
توپوگرافی	در معرض قرار گرفتن	پستی و بلندی موجود در منطقه	شیب بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
بارندگی شدید	در معرض قرار گرفتن	باعث بالا رفتن سطح آب از حد آستانه می‌شود.	روزهای بارانی شدید بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
ظرفیت ذخیره‌سازی سد	تاب‌آوری	جایی‌که آب و رسوب در آن‌جا ذخیره می‌شود.	ظرفیت ذخیره‌سازی سد بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
میزان تبخیر	در معرض قرار گرفتن	مقدار آبی که در هر واحد زمان تبخیر می‌شود.	میزان تبخیر بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
طول سیستم زهکشی	تاب‌آوری	طولی از کانال که آب سطحی و رواناب را زهکش می‌کند	طول سیستم زهکشی بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و همکاران (۲۰۱۹)
نرخ تبخیر سقوط باران	در معرض قرار گرفتن	میزان آبی که در حین پایین آمدن باران تبخیر می‌شود	نرخ تبخیر بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
فضای باز	حساسیت	فضاهای فاقد پوشش مسکونی	فضای باز بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و همکاران (۲۰۱۹)
بند/ خاکریز	تاب‌آوری	اقداماتی که سرعت تخریب سیل را کاهش می‌دهد.	تعداد خاکریز و بند بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)

این مؤلفه شامل تنظیمات ادارات، سازمان‌ها، مؤسسات و مقامات در سطح جامعه می‌باشد. معیارهایی که می‌توانند در این مؤلفه در ارتباط با آسیب‌پذیری سیل مورد مطالعه قرارگیرند در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: معیارهای مؤلفه اجتماعی مرتبط با آسیب‌پذیری سیلاب

معیار	عامل	توضیحات	نوع رابطه با آسیب‌پذیری سیل	منابع
آگاهی/ آمادگی	حساسیت	اقداماتی که جامعه را در پیش‌بینی یک تهدید قریب‌الوقوع و مقابله با اثرات بلایا تضمین می‌کند	تعداد افراد آگاه بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
سطح تحصیلات	حساسیت	توانایی خواندن و نوشتن	تعداد افراد بی‌سواد بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
تراکم جمعیت	در معرض قرار گرفتن	تعداد مردمی که یک منطقه یا مساحت معینی را در اختیار دارند	تعداد افراد بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، نصیری و همکاران (۲۰۱۹)، نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)، کارلوس سالازار و همکاران (۲۰۲۰)
میراث فرهنگی	در معرض قرار گرفتن	آثار تاریخی گذشته که از ارزش فرهنگی برخوردار است	تعداد میراث فرهنگی در معرض بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
سیستم هشداردهنده	تاب‌آوری	حسگرهای هوشمند که از جان انسان در مقابل بلایا محافظت می‌کند	وجود سیستم هشداردهنده، کاهش آسیب‌پذیری	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)،
خدمات اضطراری	تاب‌آوری	خدماتی که هدف آن کاهش یا به حداقل رساندن خسارت جانی و مالی هست	تعداد کارکنان بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، نصیری و همکاران (۲۰۱۹)، نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
جمعیت سالمند	در معرض قرار گرفتن	افرادی که بیش از ۶۵ سال سن دارند	تعداد افراد سالمند بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)، کارلوس سالازار و همکاران (۲۰۲۰)
رشد جمعیت	در معرض قرار گرفتن	تغییر در جمعیت در بازه‌ای از زمان	رشد جمعیت بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
مردم معلول	در معرض قرار گرفتن	افرادی که از بدو تولد دارای معلولیت‌هایی هستند	تعداد افراد معلول بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
پناهگاه‌ها	تاب‌آوری	مکانی مقام برای حفاظت افراد در برابر آسیب‌های ممکن در رابطه با بلایای طبیعی	تعداد پناهگاه‌ها بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
جمعیت زیر فقر	در معرض قرار گرفتن	جمعیتی که توانایی برآورد حداقل‌های خود در برابر خطر سیل را ندارند	تعداد جمعیت زیر فقر بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)، کارلوس سالازار و همکاران (۲۰۲۰)

گروه ۵. مؤلفه اقتصادی

در تعریف این مؤلفه می‌توان به ثروت، وسایل معاش، کاهش قدرت خرید و تولید، مهاجرت انبوه، ممانعت از رشد و توسعه اقتصادی که جزء آسیب‌های اقتصادی سیل محسوب می‌شوند، اشاره کرد. به عبارت دیگر، این مؤلفه درآمد یا موضوعاتی که برای اقتصاد الزامی می‌باشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (وان بیک و لوکز[1]، ۲۰۰۵؛ گالوپین[2]،۲۰۰۶ ؛ بالیکا و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین، بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی از جمله شیلات، صنایع، کشاورزی و غیره تحت تأثیر سیل قرار گرفته و سیل بر روی آن‌ها اثرات نامطلوبی دارد. در سال‌های اخیر، سیل اثر زیادی بر فعالیت‌های اقتصادی داشته و این امر می‌تواند ناشی از عدم آگاهی و آسیب بیشتر به اکوسیستم باشد. با توجه به اینکه دستیابی به اطلاعات خسارت‌های اقتصادی دشوار است و معیارهای انتخابی ممکن است به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات مورد مطالعه قرار نگیرد، بنابراین اکثر مطالعات به معیارهای ذکر شده در جدول ۵ –که در آن، تا حدودی دسترسی به اطلاعات این معیارها آسان می‌باشد–، اشاره کرده‌اند (جی و یوی[3]، ۲۰۱۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۴).

جدول ۵: معیارهای مؤلفه اقتصادی مرتبط با آسیب‌پذیری سیلاب

معیار	عامل	توضیحات	نوع رابطه با آسیب‌پذیری سیل	منابع
نرخ بیکاری	حساسیت	نسبت جمعیت بیکار به جمعیت فعال	درصد نرخ بیکاری بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)، نصیری و همکاران (۲۰۱۸)،
کیفیت مسکن/ زیرساخت	حساسیت	میزان پایداری مجتمع‌های مسکونی در برابر بلایا	درصد مسکن با کیفیت خوب بالاتر ، آسیب‌پذیری کمتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)، مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
کاربری اراضی	در معرض قرار گرفتن	نوع استفاده انسان از زمین	درصد کاربری جنگل و ... بالاتر، آسیب‌پذیری کمتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)، مونیا و همکاران ۲۰۱۹
بیمه سیل	تاب‌آوری	پوششی که تنها خسارت‌های مالی را تحت نظر را دارد	تعداد بیمه سیل بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	مونیا و همکاران (۲۰۱۹)، نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
ظرفیت ذخیره‌سازی سد	تاب‌آوری	جایی‌که آب و رسوب در آن‌جا ذخیره می‌شود.	ظرفیت ذخیره‌سازی سد بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)، مونیا و همکاران (۲۰۱۹)
رشد شهری	حساسیت	گسترش امکانات زندگی انسان	توسعه شهری بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)،
میزان سرمایه‌گذاری	تاب‌آوری	تخصیص منابع مالی جهت کاهش خسارات سیل	میزان سرمایه‌گذاری بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)، نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
بند / خاکریز	تاب‌آوری	اقداماتی که سرعت تخریب سیل را کاهش می‌دهد.	تعداد خاکریز و بند بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)،
سطح تحصیلات	حساسیت	توانایی خواندن و نوشتن	تعداد افراد بی‌سواد بیشتر، آسیب‌پذیری بالاتر	کارلوس سالازار و همکاران (۲۰۲۰)
بهبود اقتصادی	تاب‌آوری	بهبود وضعیت اقتصادی مردم	بهبود اقتصادی بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	بالیکا و همکاران (۲۰۰۹)،
نزدیکی به رودخانه	در معرض قرار گرفتن	کیلومترهایی از اطراف رودخانه که انسان در آن منطقه ساکن می‌شود	هرچه به رودخانه نزدیک‌تر، آسیب‌پذیری بیشتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
صنعت	در معرض قرار گرفتن	منبع اصلی درآمد یک گروه یا شرکت	هر چقدر بخش صنعت بیشتر باشد، آسیب‌پذیری کمتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)
جمعیت شاغل	در معرض قرار گرفتن	افرادی دارای شغل	افراد شاغل بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	کارلوس سالازار و همکاران (۲۰۲۰)
دبی رودخانه	در معرض قرار گرفتن	مقدار آبی که در واحد زمان از رودخانه عبور می‌کند	بیشتر، آسیب‌پذیری بیشتر	نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳)

1. Van Beek & Loucks
2. Gallopin
3. Ge & Yue

گروه ۶. مؤلفه‌های سرمایه‌گذاری

منظور از مؤلفه سرمایه‌گذاری در شاخص آسیب‌پذیری سیل، چگونگی مدیریت و کاهش تلفات و خسارات سیلاب می‌باشد. سرمایه‌گذاری در برابر خسارات سیلاب می‌تواند جنبه اجتماعی، اقتصادی و حتی زیست محیطی داشته باشد. ارائه راه‌کار جهت مدیریت و کنترل سیل در صورت توجه و سرمایه‌گذاری مناسب می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از سیل مؤثر واقع گردد. در مطالعه‌ای که کنور و هیرکی در مورد مؤلفه سرمایه‌گذاری شاخص FVI انجام دادند، فقط به دو معیار زیرساخت کنترل سیل و اقدامات غیرساختاری اشاره کردند که در جدول ۶ ارائه گردیده است. در این خصوص می‌توان گفت که پژوهشگران کمتری در مطالعات خود به این مؤلفه اشاره کردند.

جدول ۶: معیارهای مؤلفه سرمایه‌گذاری مرتبط با آسیب‌پذیری سیلاب

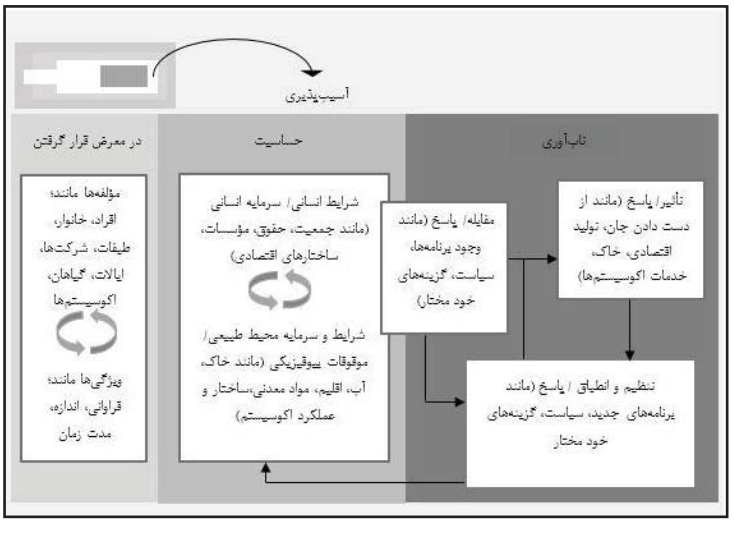
معیار	عامل	توضیحات	نوع رابطه با آسیب‌پذیری سیل	منابع
زیرساخت کنترل سیل	تاب‌آوری	اقدامات سازه‌ای که برای محدودسازی آثار ناگوار مخاطره‌های طبیعی احداث می‌شوند	بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	کنور و هیروکی (۲۰۰۵)
اقدامات غیرساختاری	تاب‌آوری	اقداماتی که با احیاء کردن طبیعت باعث کاهش ریسک سیل می‌شوند	بیشتر، آسیب‌پذیری کمتر	کنور و هیروکی (۲۰۰۵)

تعامل بین مؤلفه‌های اثرگذار بر آسیب‌پذیری و مؤلفه‌های آسیب‌پذیر در مقیاس‌های مختلف مکانی به‌عنوان پایه روش FVI استفاده می‌گردد (بالیکا، ۲۰۰۷). آسیب‌پذیری را در هر مقیاسی می‌توان تابعی از در معرض قرار گرفتن، حساسیت و تاب‌آوری دانست (لن[1] و همکاران، ۲۰۱۸). بالیکا و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان کردند که سه عامل در معرض قرار گرفتن، حساسیت و تاب‌آوری در ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر سیل نقش مهمی دارند. فرمول عمومی روش FVI با در نظر گرفتن سه فاکتور مذکور، در زیر ارائه شده است:

$$FVI = (E - S) \div R \quad or \quad FVI = \frac{(E * S)}{R} \qquad (۱)$$

که در آن، E، در معرض قرار گرفتن، S، حساسیت و R، تاب‌آوری می‌باشد.

چارچوب مفهومی آسیب‌پذیری بر اساس تحقیق ترنر و همکاران (۲۰۰۳) در شکل ۳ ارائه گردیده است. این شکل نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری تابعی از در معرض قرار گرفتن، حساسیت و تاب‌آوری است. به‌عبارت دیگر این سه عامل جزء عوامل اصلی آسیب‌پذیری سیل می‌باشند. مطابق شکل، در معرض قرار گرفتن، شامل مؤلفه‌هایی از قبیل افراد، خانوار، اکوسیستم، شرکت‌ها و غیره است که ممکن است تحت تأثیر خصوصیات سیل و آسیب‌پذیری آن قرار گیرند؛ در حساسیت هر دو شرایط اجتماعی و محیطی در معرض خطر قرار دارند؛ و تاب‌آوری هم توانایی مقابله با آسیب‌پذیری، اثرات آسیب‌پذیری و همچنین، تنظیم و انطباق را شامل می‌گردد.



شکل ۳: چارچوب مفهومی آسیب‌پذیری (ترنر و همکاران، ۲۰۰۳)

در این روش همچنین برای تفسیر میزان آسیب‌پذیری سیل، از جدولی که توسط بالیکا (۲۰۱۲) ارائه گردیده است، می‌توان استفاده کرد (جدول ۷).

1. Len

جدول ۷: طبقه‌بندی مقادیر آسیب‌پذیری از سیل (بالیکا و همکاران، ۲۰۱۲؛ مونیا و همکاران، ۲۰۱۹)

مقدار معیار	<۰/۰۱	۰/۰۱-۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۵۰	۰/۵۰-۰/۷۵	۰/۷۵-۱
درجه آسیب‌پذیری	بسیار ناچیز	ناچیز	متوسط	زیاد	بسیار زیاد

بحث

ارزیابی آسیب‌پذیری سیل و سازگاری با آن در سطح جهانی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری سیل، کاهش خطرات و خسارات و به‌طور گسترده، افزایش تاب‌آوری در برابر سیل می‌باشد. لذا، اینکه یک جامعه به چه میزان در برابر سیل تاب‌آوری دارد یا با چه شیوه‌ای ظرفیت جامعه را برای پذیرش سطح معینی از خطرات سیل افزایش می‌دهد، بسیار مهم است. نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری سیل، به عنوان مرحله اولیه مطالعه دلایل اصلی ایجاد سیل و ارائه راه‌حل مناسب جهت کاهش تلفات جانی و مالی بکار می‌رود. روش‌های زیادی برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل توسط محققان ارائه گردیده است (ناهید اُززامان[1] و همکاران، ۲۰۱۵). لیکن، با توجه به پیشینه مطالعات مورد بررسی، این جمع‌بندی حاصل شد که از بین روش‌های بیان شده، روش FVI یا شاخص آسیب‌پذیری سیل با دارا بودن مؤلفه‌های هواشناسی، هیدرلوژیکی، طبیعی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری و معیارهای مهم مربوط به هر مؤلفه از جمله معیار رشد شهری برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل مناسب می‌باشد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی عنوان کردند که روش FVI خطرات سیل را به‌طور مستقیم ارزیابی نمی‌کند اما در ارزیابی آن کمک می‌کند. این روش با این‌که ارزیابی گسترده‌ای در اختیار قرار می‌دهد اما این ارزیابی چندان دقیق نیست. با توجه به این‌که ارزیابی این روش به صورت یکپارچه می‌باشد، لیکن عدم قطعیت‌ها همچنان در آن باقی می‌مانند. با این روش، تعداد زیادی از شاخص‌های مهم مرتبط با مؤلفه اجتماعی را نمی‌توان تعیین کرد. همچنین آن‌ها بیان کردند که FVI در مقایسه با سایر روش‌ها برای واسنجی و شبیه‌سازی به زمان کمتری نیاز دارد، با صرف نظر کردن از عدم قطعیت‌ها، اجازه مقایسه بین مناطق مختلف را فراهم می‌کند، برای ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس‌های بزرگ روش مناسبی به نظر می‌رسد، لیکن برای تصمیم‌گیری کافی نبوده و باید همراه با تصمیم‌گیری‌های دیگر استفاده گردد تا نتایج آن مؤثر واقع شود. در نتیجه آن‌ها با مقایسه مزایا و معایب این روش بیان کردند که FVI یکی از مناسب‌ترین روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سیل است. بالیکا و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند از آن‌جایی که روش FVI یک روش مبتنی بر شاخص‌ها می‌باشد و یکی از ایرادات اصلی آن، لزوم در دسترس بودن اطلاعات یا داده‌های مورد نیاز است؛ لیکن این روش به‌عنوان یک ابزار مفید به تصمیم‌گیران در بهبود استراتژی‌های سرمایه‌گذاری جهت کاهش خسارات سیلاب در مناطق آسیب‌پذیر کمک می‌کند و با شناسایی مناطق مستعد سیل، فرآیند تصمیم‌گیری را بهبود بخشیده و در حوزه‌های رودخانه‌ای، آبریز و مناطق شهری قابل اجرا می‌باشد. نصیری و شاه‌محمدی (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که روش FVI ویژگی‌های مختلف مکانی را به رسمیت شناخته و امکان تجزیه و تحلیل و تفسیر دقیق محلی را فراهم می‌کند. نصیری و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش دیگری روش FVI را یک حالت منحصر به فرد برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل به شیوه دقیق و محلی معرفی کردند. کیشی (۲۰۱۴) بیان کرد که FVI به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی خطرات سیل در ارتباط با شرایط اجتماعی، اقتصادی و سیاست‌های مدیریتی به‌کار می‌رود. در ادامه، همچنین با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت که روش FVI حوزه‌ها را از نظر آسیب‌پذیری اولویت‌بندی می‌کند. محاسبه معیارهای این شاخص آسان می‌باشد و معیار مؤلفه‌های این شاخص باید بر اساس اطلاعات بروز شده محاسبه گردد. یکی از مهم‌ترین معیارهایی که این روش مورد بررسی قرار می‌دهد –همان‌طور که اشاره گردید– معیار رشد و یا توسعه شهری می‌باشد که به‌عنوان پتانسیلی برای وارد آمدن خسارات سیل در کشورهای در حال توسعه تلقی می‌گردد. توران‌پور و توران‌پور (۲۰۱۷) در پژوهشی این گونه بیان کردند که توسعه شهرنشینی با ایجاد اختلال در تعادل دامنه، باعث تخریب پوشش گیاهی و فشردگی خاک شده و با تغییر در چرخه هیدرولوژی شهری باعث افزایش سیلاب می‌گردد. حسینی

1. Nahiduzzaman

و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که توسعه شهرنشینی در مناطق کوهستانی باعث بر هم زدن الگوی زهکشی طبیعی شده و دلیل این امر را قلمرو توسعه بیشتر شهرهای کوهستانی دانستند. نتایج مطالعات انجام شده در خصوص اثرات توسعه شهری در افزایش سیلاب، نشان می‌دهد که توسعه شهری اثر نامطلوبی که بر چرخه هیدرولوژی دارد و موجب تشدید سیل می‌شود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه مروری بر روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری سیل با تأکید بر شاخص آسیب‌پذیری سیل به‌عنوان بخشی از مدیریت خطر سیل دارد. در این مطالعه شاخص آسیب‌پذیری سیل و مؤلفه‌ها و معیارهای مربوط به هر مؤلفه جهت ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سیل معرفی شدند. این شاخص با در نظر گرفتن سه سطح در معرض بودن، حساسیت و تاب‌آوری می‌تواند روش مناسبی جهت ارزیابی مخاطره سیل باشد. با استفاده از شاخص مذکور می‌توان در مناطق مختلف، میزان آسیب‌پذیری سیل -که مبنای اولویت‌بندی در مدیریت بحران و نیز اقدامات کنترلی در راستای کاهش اثرات سیل می‌باشد- را محاسبه نمود. همچنین با توجه به وقوع گسترده سیلاب‌ها در مناطق مختلف کشور، استفاده از این رویکرد، زمینه شناسایی مناطق آسیب‌پذیر را فراهم می‌نماید. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از روش FVI علاوه بر ارزیابی میزان آسیب‌پذیری یک منطقه، همچنین می‌تواند اطلاعاتی مفید در زمینه فرسایش، خشکسالی و آسیب‌پذیری اقلیمی آن منطقه در اختیار قرار دهد.

منابع

۱. اسماعیلی علویجه، الهام؛ کریمی، سعید؛ علوی پور، فاطمه سادات (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی (مطالع موردی: منطقه ۲۲ تهران). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲ (۳)، ۳۶۱-۳۴۹. بازیابی از:
http://jest.srbiau.ac.ir/article_10940.html

۲. اسماعیلی، حسین؛ روشنی، احمد؛ پرک، فاطمه (۱۳۹۷). تغییرپذیری فرین‌های اقلیمی بر اساس شاخص‌های ترکیبی و امواج گرمایی در گستره حوزه‌های آبریز کشور. نشریه هواشناسی و علوم جو، ۱ (۲)، ۱۱۳-۹۷. بازیابی از:
http://www.ims-jmas.net/article_105242_71cff60a3520329c733e3a8f5770af07.pdf

۳. بهارلویی، داریوش؛ شریفی، علی؛ بقال نژاد، آرش (۱۳۸۵). سیل و خسارات ناشی از آن در استان خوزستان. دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، بازیابی از:
https://civilica.com/doc/16717/

۴. جعفری، امیر؛ مهرابی توانا، علی (۱۳۹۸). پیامدهای مثبت اقتصادی سیلاب. راهبردهای مدیریت در نظام سلامت، ۴(۴)، بازیابی از:
http://mshsj.ssu.ac.ir/article-1-323-fa.pdf

۵. توران‌پور، نیما؛ توران‌پور، نوید (۱۳۹۵). توسعه پایدارشهری با رویکرد مدیریت سیل. چهارمین کنکره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، بازیابی از:
https://www.researchgate.net/publication/320161843

۶. حاجی‌بیگلو، محبوبه؛ بردی‌شیخ، واحد (۱۳۹۷). تحلیل مدیریت ریسک سیلاب بر اساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها. آب و توسعه پایدار، ۵(۱)، ۸۲-۷۳. بازیابی از:
https://jwsd.um.ac.ir/article_30215.html

۷. حسینی، بشیر؛ احمدی توانا، بهمن؛ ویسی، مسلم الله؛ جهدی، نیما (۱۳۹۲). برنامه‌های راهبردی مدیریت بحران سیلاب‌های شهری با رویکرد توسعه پایدار. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، بازیابی از:
https://civilica.com/doc/207376/

۸. عبدی، کمیل؛ کامیابی، سعید؛ زند مقدم، محمدرضا (۱۳۹۸). ارزیابی یک‌پارچه آسیب‌پذیری، تاب‌آوری و ریسک‌پذیری فضایی در برابر سیلاب در شهر ساری. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵(۳)، ۴۴۵-۴۳۱. بازیابی از:https://jphgr.ut.ac.ir/article_74216.html

۹. قهرمانی، فاطمه؛ ، اسماعیلی کاظم؛ قهرمانی، زهرا (۱۳۹۵). ترکیب مدلسازی پارامتری و فیزیکی برای آسیب‌پذیری ریسک سیل. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲. بازیابی از:
https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=67480

۱۰. ملکی، امجد.، حصاری، همایون.، پیروزی نژاد، نوشین (۱۳۹۳). بررسی رفتار هیدرولوژیکی سیلاب حوزه آبخیز رازآور با استفاده از روش‌های آنالیز آماری، مدل SCS و مقطع برداری از رودخانه. جغرافیا و توسعه، ۲۴، ۱۲۰-۱۰۹. بازیابی از:
https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=211492

11. Abravi Esssenam, K. (2014). Flood Vulnerability Assessment in Downstream area of MONO BASIN, South-Eastern TOGO: YOTO District. (Master of Sclence Thesis). Université de Lomé, Togo. http://www.wascal-togo.org/wp-content/uploads/2018/01/KISSI-Msc-Thesis-AK.2doc.pdf

12. Ahmad, S. S., Simonovic, S. P. (2012). Spatial and Temporal Analysis of Urban Flood Risk Assessment. Urban Water Journal, 10(1), 26-49. https://www.mdpi.com/2073-445X/7/3/106/pdf

13. Blaikei, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). At Risk—Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, London. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 2(2), 4p. DOI: 10.4324/9780203428764

14. Balica S. F. (2007). Development and Application of Flood

Vulnerability Indices for Various Spatial Scales. (Master of Science Thesis) Delft, UNESCO-IHE. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19923763/

15. Balica, S.F., Double, N., & Wright, N.G. (2009). Flood Vulnerability Indices at Varying Spatial Scales. Water Science and Technology, 2571-2580. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19923763/
16. Balica, S. F. (2012). Applying the Flood Vulnerability Index as a Knowledge base for Flood risk Assessment. (doctoral dissertation). Delft University. Netherlands. http://resolver.tudelft.nl/uuid:d790ad77-0592-4459-bb21-08075491a2be
17. Bangalore, M., Smith, A., & Veldkamp, T. (2019). Exposure to Flood, Climate Change, and Poverty in Vietnam. Economics of Disasters and Climate Change, 3, 79-99.https://link.springer.com/article/10.1007/s41885-018-0035-4
18. Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (2008). Climate change and water. Technical, 21, 85-101. https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf
19. Connor, R. F., & Hiroki, K., (2005). Development of a Method for Assessing Flood Vulnerability. Water science and Technology. 51(5), 61-67. https://www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/40/202078/202078_doc.pdf
20. Carlos Salazar, B., JoséMizael Ruiz, G., Marcelo A. Lomelí, B., & Alejandro Mungaray, M. (2020). An Integrated Urban Flood Vulnerability Index forSustainable Planning in Arid Zones ofDeveloping Countries. Water, 12(2), 608.https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/608
21. Can, T. V., Nguyen, T. S., Phan, V. H. P., (2016). Establishing the Basic Indicator for the Calculation of the Flood Vulnerability Index for River Basins in Vietnam. Journal Environ Sci EngineeB5, 390-394.https://pdfs.semanticscholar.org/92db/e21365cf5e826fb193f7d6e51010cbfdb079.pdf?_ga=2.152570745.1320780394.1612951488-684022510.1570890040
22. Dapeng Huang, D., Zhang. R., Huo, Z., Mao, F., Youhao, E., & Zheng, W. (2012). An Assessment of Multidimensional Flood Vulnerability at the Provincial scale in China based on the DEA Method. Natural Hazards, 1575-1586.DOI: 10.1007/s11069-012-0323-1
23. Douben, N. (2006). Characteristics of River Floods and Flooding: a Global Overview, 1985–2003. Irrigation and Drainage, 55(1), 9–21.https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.239
24. Gallopin, G. C. (2006). Linkages between Vulnerability, Resilience, and adaptive Capacity. Globl Environment Change, 16(3), 293–303. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004
25. Ge, P., & Yue, X. P. (2013). A Study of the Variation in time and area of the Vulnerability of Floods Bearing Bodies: a case study of Nanjing. Journal of Catastrophology, 28 (1), 107-111. http://caod.oriprobe.com/articles/31833940/A_Study_of_the_Variation_in_Time_and_Area_of_the_Vulnerability_of_Floo.htm
26. Jong Seok, l., & Hyun, Il. C. (2019). Comparative Analysis of Flood Vulnerability Indicators by Aggregation Frameworks for the IPCCs Assessment Components to Climate Change. Applied Sciences, 9(11), 1-15. https://www.mdpi.com/2076-3417/9/11/2321
27. Len, N. L. S., Bolong, N., Roslee, R., Tongkul, F., bin Mirasa, A. K., & Lynn Ayog, J. (2018). Flood Vulnerability Index for Critical Infrastructure Towards Flood Risk Management. ASM Sciencec Journal, 11(3), 134-146. https://1library.net/title/flood-vulnerability-index-critical-infrastructure-flood-risk-management
28. Madruge de Brito, M., Evers, E., & Almoradie, A. (2018). Participatory Flood Vulnerability Assessment: a Multi-criteria approach. Hydrology and Earth System Sciences, 22, 373-390. https://hess.copernicus.org/preprints/hess-2017-368/hess-2017-368.pdf
29. Miranda, F. N., & Ferreira, T. M. (2019). A Simplified Approach for Flood Vulnerability Assessment of historic sites. Natural Hazards, 96(2), 713-730. https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-018-03565-1
30. Munyai, R. B., Musyoki, A., & Nethengwe, N.S. (2019). An Assessment of Flood Vulnerability and Adaptation: A case study of Hamutsha-Muungamunwe Village, Makhado Municipality. Journal of Disaster Risk Studies, 11(2),1-8. https://pdfs.semanticscholar.org/855e/971ae9a897039a04b3caec10c85ad57a318d.pdf
31. Nasiri, H., & Shamohammadi, Sh. (2013). Flood Vulnerability Index as a knowledge base for Flood risk Assessment in Urban area. Jnasci, 269-272. http://jnasci.org/wp-content/uploads/2013/08/269-272.pdf
32. Nasiri, H., Mohr Jamari Mohr, Y., Tamer Ahmad Mohammad. A,. & M K B, H. (2019). An Overview to Flood Vulnerability Assessment Methods. International Journal of Environmental Science and Technology, 16 (5), 331-2258. https://link.springer.com/article/10.1007/s40899-016-0051-x
33. Nasiri, H., Mohr Jamari Mohr. Y.,& Tamer Ahmad Mohammad, A. (2016). District Flood Vulnerability Index: Urban Decision-Making Tool. Sustain. Water Resource Management, 2, 2249-336. https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-018-1797-5
34. Nahiduzzaman, K. M., Aldosary, A. S., & Rahman, M. T. (2015). Flood Induced Vulnerability in Strategic Plan Making Process of Riyadh city. Habitat International, 49, 375-385. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0197397515001150
35. Raghunath, H.M., 1985. Hydrology: Principles, Analysis and Design. Wiley Eastern Ltd, New Delhi. 228p.https://books.google.com/books/about/Hydrology_Principles_Analysis_And_Design.html?id=9mdkJ0T2P30C&printsec=frontcover&source=kp_read_button#v=onepage&q&f=false
36. Turner, II, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L. et al., (2003). A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100(14), 8074-8079. https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100.

37. United nations, NY. (1982). Proceedings of the Seminars on Flood Vulnerability Analysis and on the Principles of Floodplain Management for Flood Loss Prevention. Bangkok. https://digitallibrary.un.org/record/69917?ln=en
38. Van Beek, E., & Loucks, D. P. (2005) Water Resources Systems Planning and Management—an Introduction to Methods, Models and Applications, UNESCO—Paris. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-44234-1
39. Van, C T., Tri, D. Q., Son, N. T., Thao, T. T. T., & Hoa, D. T. H. (2019). Determining the Vulnerability Index in the Context of High Floods in An Giang Province. Conference Series Earth and Environmental Science,https://www.researchgate.net/publication/334908203_Determining_the_vulnerability_index_in_the_context_of_high_floods_in_An_Giang_province
40. Wang, Y.G., Gao, Ch., Zhai, J.Q., Li, X., Su, B., & Hartmann, H. (2014). Spatio-Temporal Changes of Exposure and Vulnerability to Floods in China. Advances in Climate Change Research, 5, 197-205. https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.03.002
41. Zelenakova, M., Dobos, E., Kovacova, L., Vago, J., Abu-hashim, M., Fijko, R., & Purcz, P. (2018). Flood Vulnerability Assessment of Bodva Cross-Border River Basin. 23(1),53-61. https://www.researchgate.net/publication/324979322_Flood_vulnerability_assessment_of_Bodva_cross-border_river_basin