Flood vulnerability assessment
Case study: Cheshmekile Tankabon river

Sara Mohammadi Issaabad [a], **Amir Safari** [b*], **Ali Ahmadabadi** [c] **Sahar Darabi Shahmari** [d]
[a] *Ph.D Student in Geomorphology, Department of Geomorphology, Khwarazmi University, Tehran, Iran*
[b] *Associate Professor, Department of Geography, Khorazmi University, Tehran, Iran*
[c] *Associate Professor, Department of Geography, Khorazmi University, Tehran, Iran*
[d] *PhD in Geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2023/07/21 Accepted: 2023/11/12)

Extended abstract

1- Introduction

Flood is one of the most common and widespread natural disasters that occur frequently around the world (Patra et al, 2016). In recent years, the damages and casualties caused by floods have been affected by various factors. However, increased population, land use change, and the development of residential areas are considered to be the boosters for the increase in damages. The decrease in the active width of rivers by different factors especially human interventions has increased the vulnerability facing floods. The damages are classified into tangible or intangible types. Tangible damages, including the destruction of buildings, agricultural lands, roads and transportation systems, infrastructures, environmental ecosystems, and human casualties impose a major negative emotional burden on the target society (Tiryaki and Karaca, 2018). Among the natural disasters, floods cause the most damage to the agriculture, fisheries, housing, and infrastructure sectors and severely affect economic and social activities. Despite the natural cause of the floods in Iran, the main cause of the damages may be due to the human settlement in the high-risk areas (Mustafa et al, 2018, Nga et al, 2018). In recent years, about 70% of the annual budget dedicated to decreasing natural disasters have been allocated to recovering the damages by flood and this trend is increasing, so the 250% growth of flood damages in the last five decades confirms this claim (Demir and Kisi, 2016).

3- Results

This applied quantitative research was carried out in the Cheshme kile river, located in Tonekabon City in 2021-2022. In the first stage, indicators affecting flood vulnerability were prepared using the study of the research background. In this regard, the data of 6 indicators of aging ratio, sex ratio, youth ratio, land use, population density, structure quality, and material quality were prepared as effective indicators of flood vulnerability. Data were collected using the statistical yearbooks by referring to the National Statistics Center of Iran, which was recorded in the last census in 2016. In the next step, the relationships defined according to Table 1 were used to prepare each index. Zoning the floodplain area is applicable to detect the vulnerable area. The map of floodplain zoning is the result of modeling based on the HEC-RAS model (Saffari et al, 2023). The data of each of the indicators was overplayed with the layer of urban blocks of Tonekabon using ArcGIS 10.3 software. Then, the Vikor method was used to prepare flood vulnerability zoning maps. The data normalization was carried out due to the different data spectrums. Then, the weight of each index and sub-index was prepared using the AHP method. After determining the weight of each index, positive and negative ideals were determined. Positive ideals are the highest values of each index and negative ideals are the lowest values of each index. The result of subtracting the positive ideal from other sub-indices is the index of usefulness, and the result of subtracting the negative ideal from each of the sub-indices is the regret index (Table 2). The regret and usefulness indicators were classified (very high, high, medium, low, and very low) for each of the layers using the reclassify tool through ArcGIS software. (Figures 2 and 3). The classification spectrum for each of the layers is presented in Table 2. After calculating the indices of usefulness and regret, a flood vulnerability map was prepared for the

* **Corresponding Author: saffari@khu.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

study area using Equation 5 (Figure 3). In this map, values close to zero show the highest vulnerable area, and values close to one show the lowest vulnerable area conditions. To better understand the distribution of risk zones, the target map was classified into 5 spectrums of very high risk, high risk, medium risk, low risk, and very low. According to the findings, the area of risk zones in very high, high, medium, low, and very low classes were 0.36, 0.26, 0.34, 0.28, and 0.19 kilometers, respectively. The largest and lowest area of risk zones were observed in the very high and very low classes.

4- Discussion & Conclusions

The aim of this study was to investigate the vulnerability of the Cheshme Kile River in the area of Tonekabon City facing floods using the Vikor multi-criteria decision-making method based on the geographic information system (GIS). Effective criteria in flood vulnerability included land use, population density, youth ratio, aging ratio, gender ratio, and quality of structures and materials. The findings show the low vulnerability facing floods in the southern areas on the left side and the northern areas on the left and right sides of the Cheshme kile river due to the low population density, the low active width of the river channel, and the presence of green spaces. On the other hand, the density of the population and the dense building texture on the left banks in the western and northwestern margins have led to a decrease in soil permeability levels and an increase in the volume of urban runoff. Therefore, these areas are more vulnerable to floods and urban runoff. According to the findings, the highest and lowest areas were observed at very high risk and very low zones.

The width channel of the river has increased downstream, while the slope of the river has decreased, which increases the water level and the possibility of financial and human losses. As can be seen in Figure 4, areas with high vulnerability can be seen on the left and right banks in the downstream section of the river. In these layers, factors such as population density at the range of 192-67 and 192-408, youth ratio in the ranges of 19.21-26-43 and 14.19-21, structure quality in the very unfavorable range, the aging ratio in the range 9-18, the gender ratio in the range of 27.56-44.74 and building and industrial lands have increased the risk of flood vulnerability in this area. Naturally, by reducing the range of investigated indicators, the risk of flood vulnerability also decreases. For example, in a factor such as the youth ratio, the lower the relative spectrum, the greater the risk of flood damage.

Key Words: Vulnerability, Cheshme kile, Flood water, Vikor.

Cite this article: Mohammadi Issaabad, S., Safari, A., Ahmadabadi, A., & Darabi Shahmari, S. (2024). Flood vulnerability assessment Case study: Cheshmekile Tankabon river. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (1) :121-138*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب
(مطالعه موردی: رودخانه چشمه‌کیله تنکابن)

سارا محمدی عیسی‌آباد: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه علوم جغرافیا، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*
امیر صفاری *: *دانشیار گروه علوم جغرافیا، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*
علی احمدآبادی: *دانشیار گروه علوم جغرافیا، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*
سحر دارابی شاهماری: *دانش‌آموخته دکتری گروه علوم جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱)
DOI: http//doi.org/

چکیده

امروزه رشد سریع جمعیت و توسعه پیوسته محیط‌های شهری، تأثیرات نامطلوبی بر هیدرولوژی حوضه‌های آبریز گذاشته و در بستر زمان سبب تشدید سیلاب، افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. شاخه اصلی رودخانه چشمه‌کیله از مرکز شهر تنکابن عبور می‌کند که این امر تهدیدات مخاطره‌آمیز را دو چندان می‌کند. در سال‌های اخیر وقوع سیل، خسارات مالی و جانی در این منطقه بر جای گذاشته است. این مسئله نشان می‌دهد که عدم توجه به آسیب‌پذیری شهر تنکابن نسبت به سیلاب‌های گذشته، سبب تکرار هزینه‌ها و خسارات در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت شده است. بنابراین، کنترل، هدایت و مدیریت سیلاب‌ها برای کاهش خسارت امری اجتناب ناپذیر است. هدف این مطالعه، ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب در شهر تنکابن بوده است. برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب، بر اساس مطالعه پیشینه تحقیقاتی، اطلاعات مربوط به شاخص‌های نسبت جوانی، نسبت سالخوردگی، نسبت جنسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت و کیفیت سازه و مصالح تهیه شد. در گام بعدی هر یک از شاخص‌ها با استفاده از مدل ویکور وزن‌دهی شد و نقشه نهایی آسیب‌پذیری سیلاب از طریق نرم افزار ArcGIS تهیه شد. بر اساس یافته‌ها، بیشترین مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در سطح بسیار زیاد و کمترین مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری در سطح بسیار کم واقع شده است. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که در کناره‌های چپ در حواشی غربی و شمال غربی محدوده مورد مطالعه به دلیل تراکم بالای جمعیت و تراکم بافت مسکونی، سطوح نفوذپذیری خاک کم شده و حجم روانآب افزایش یافته است. بنابراین در این محدوده‌ها پتانسیل آسیب‌پذیری در برابر خطر سیلاب نسبت به سایر نواحی بیشتر است.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، چشمه‌کیله، سیلاب، ویکور.

* نویسندهٔ مسئول: saffari@khu.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

۱ـ مقدمه

سیل یکی از شایع‌ترین و گسترده‌ترین بلایای طبیعی است که به طور فراوان در سرتاسر جهان رخ می‌دهد (Patra *et al*, 2016). افزایش تعداد وقوع، حجم و میزان خسارات ناشی از وقوع سیل در سال‌ها و دهه‌های اخیر در سطح ملی و نیز در سطح جهان متأثر از عوامل گوناگونی بوده است. با این وجود افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی و توسعه و افزایش مناطق مسکونی از مهمترین دلایل افزایش خسارات محسوب می‌شوند. افزایش سطوح نفوذناپذیر و نیز محدود کردن عرض و مجرای عبوری مسیل‌ها، رودخانه‌ها و آبراهه‌های طبیعی آسیب‌پذیری مناطق مسکونی و تأسیسات شهری را در مقابل سیلاب‌های شهری افزایش داده است. این خسارات به انواع ملموس یا ناملموس طبقه‌بندی می‌شوند. خسارات ملموس، شامل تخریب ساختمانها، اراضی کشاورزی، جاده و سیستم‌های حمل و نقل، زیرساختها، اکوسیستم‌های زیست‌محیطی و تلفات انسانی بار عاطفی منفی عمده‌ای را بر جامعه مورد نظر تحمیل می‌کند (Mine and Oznur, 2018). در میان سوانح طبیعی سیلاب بیشترین خسارت را به بخش کشاورزی، شیلات، مسکن و زیرساخت‌ها وارد می‌کند و به شدت در فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارد. این امر در کشور ما نیز صادق است. علیرغم منشاء طبیعی این سیل‌ها، دلیل اصلی خسارت را می‌توان در اشغال انسان در مناطقی که به طور سنتی مستعد سیل هستند، شناسایی کرد (Mustafa *et al*, 2018، Nga *et al* ,2020). در اغلب سال‌های گذشته، حدود ۷۰ درصد اعتبارات سالانه طرح کاهش اثر بلایای طبیعی و ستاد حوادث مترقبه صرف جبران خسارات ناشی از سیل شده است و این رقم مرتباً در حال افزایش است. رشد ۲۵۰ درصدی خسارات ناشی از سیل در پنج دهه گذشته مؤید این ادعاست (Demir and Kisi, 2016). با وجود این، افزون بر پیش‌بینی ناپذیربودن زمان و مکان وقوع سیلاب، رفتار فیزیکی رودخانه، مقاومت سازه‌ها، واکنش مردم و پیامدهای اجتماعی ـ اقتصادی آن، همچنین تغییرات اقلیم و تأثیرات آن در دورهٔ بازگشت دبی سیلاب‌های محتمل، تغییر الگوی کاربری اراضی، مسئله پیش‌بینی سیلاب‌ها در بلندمدت و تصمیم‌گیری برای آن را دشوارتر می‌کند. بنابراین، بررسی مسئله وقوع سیلاب و خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن در کشور اهمیت خاصی دارد. تحلیل ریسک در دارائی‌های حیاتی، رویکردی سیستماتیک است که از قابلیت ترکیب دانش و مهارت‌های چندگانه به منظور تحلیل آسیب‌پذیری جامع تأسیسات و دارائی‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین تحلیل ریسک این دارائی‌ها ابزاری مدیریتی در دست مدیران بحران در جهت تصمیم‌گیری برای بررسی شیوه‌های اقدام متقابل در مواجهه با تهدیدها و آسیب‌پذیری‌های احتمالی است. ریسک سیلاب به پدیده‌هایی مانند بارش، رواناب ایجاد شده و تمرکز آن و میزان در معرض آسیب قرار گرفتن نواحی پایین‌دست سیلاب بستگی دارد. آسیب‌پذیری سیلاب طی زمان و از ناحیه‌ای به ناحیه‌ی دیگر متغیر است که علت آن شرایط خاص طبیعی، فعالیت‌های انسانی و فرهنگ مخاطره نزد جامعه‌ی در معرض خسارت است. خسارت‌ها و تلفات ناشی از رویداد سیل، شامل طیف وسیعی از اثرات محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی است (Asumadu-Sarkodie *et al*, 2015). در ایران، بروز خسارات سیلاب در مناطق شهری ممکن است ناشی از جریان سیلابی در رودخانه‌های عبوری از داخل و حاشیه شهرها باشد. مدیریت سیلاب و کاهش خسارات آن در محدوده شهرها نیز مشابه خارج از شهرها مستلزم انجام اقدامات سازه‌ای و احداث تأسیسات خاص و نیز اقدامات غیرسازه‌ای همچون

* نویسندهٔ مسئول: saffari@khu.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

سیستم‌های هشدار سیل است (Pashtovan *et al*, 2010). در زمینه کاهش خطر بلایا[1]، تلاش‌ها به طور سنتی بر زیرساخت‌ها و اقدامات مرتبط با فناوری متمرکز شده است (Flanagan *et al*, 2011). در حال حاضر، تلاش‌ها باید با اقدامات دیگری مرتبط با بهبود تاب‌آوری مردم و مناطق در تمام مراحل چرخه بلایا (آمادگی، واکنش، بازیابی، کاهش) همراه باشد (Barredo and Engelen, 2010؛ Driessen *et al*, 2018). برای جلوگیری و کاهش اثرات سیلاب می‌توان این موارد را در دستور کار قرار داد: به روزرسانی برنامه‌ریزی شهری بر اساس پیشگیری از خطر، توسعه سیستم‌های هشدار اولیه (Thielen et al, 2009؛ Durga et al, 2018) و به طور خاص ارتقای ظرفیت مقابله‌ای مردم. به طور کلی با تعیین مناطقی که از ریسک بالای سیل برخوردارند، می‌توان از توسعه در این مناطق جلوگیری کرد و یا در صورت نیاز به توسعه در این مناطق، ابتدا راهکارهای مدیریتی برای ساخت و ساز در این بخش‌ها لحاظ شود. در وضع موجود منطقه برای جلوگیری از خسارات در بخش‌های با ریسک بالا سیل، تمهیدات کنترل و مدیریت سیلاب را در نظر گرفت. لذا این فرآیند هم در انتخاب مکان توسعه آتی و چگونگی اقدامات مهندسی جهت ساخت و ساز و هم در کاهش خسارات ناشی از سیل در وضع موجود منطقه مؤثر واقع می‌شود. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های ریسک یک موضوع تکراری در ادبیات علمی است. چارچوب‌های مفهومی مختلفی از ریسک پیشنهاد شده است که مؤلفه‌ها و روابط اصلی آن (خطر، آسیب‌پذیری، مواجهه، ظرفیت مقابله، ظرفیت انطباق و غیره) را تعریف می‌کند (Richard Eiser *et al*, 2012؛Hufschmidt *et al*, 2005). در همه این چارچوب‌ها، توافق مشترکی در مورد دو مؤلفه اصلی خطر سیل وجود دارد: خطر (به عنوان احتمال وقوع سیل) و آسیب‌پذیری (نماینده شرایط و ظرفیت‌هایی که یک سیستم یا یک فرد را مستعد آسیب می‌کند). لازم به ذکر است که مواجهه گاهی اوقات یک مؤلفه مستقل در نظر گرفته می‌شود (Mishra and Sinha, 2020) اما در این مطالعه، مواجهه در مفهوم آسیب‌پذیری (Oubennaceur *et al*, 2019) گنجانده شده است.

بررسی مفهوم آسیب‌پذیری در برابر سیل همچنین چارچوب‌های مفهومی متنوعی را نشان می‌دهد که بر ویژگی چند بعدی آن تأکید می‌کند (Aroca et al, 2017؛ Kumpulainen, 2006؛ Vargas, 2002؛ UNDRO[2],1980) که شامل ابعاد فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی است (Apotsos, 2019 ؛ Dwyer et al, 2004). توجه به بعد اجتماعی یکی از رایج‌ترین رویکردها در مطالعات آسیب‌پذیری است. آسیب‌پذیری اجتماعی شامل همه عواملی است که به طور خاص به تعاملات مخاطرات سیل با افراد، جمعیت و جوامع مربوط می‌شود، از جمله مواجهه افراد، مشخصات اجتماعی-جمعیت‌شناختی و اجتماعی- اقتصادی، اشتغال، تحصیلات، ترکیب خانوار، ساختار جمعیتی و ظرفیت جامعه برای مقابله با خطرات و اثرات آنها می‌شود. همه این عوامل بر تاب‌آوری جوامع برای مقابله با اثرات سیل تأثیر می‌گذارد، اما اهمیت مربوط به آنها مشخص نیست (Flanagan et al, 2011). یکی از دلایلی که منجر به بروز خسارت ناشی از سیل می‌شود، قرارگرفتن سرمایه‌های اجتماعی و اقتصادی در مسیر عبور سیل است. جمعیت، دارائی‌ها و اراضی با کاربری‌های مختلف که در مسیر عبور سیل هستند، شاخص‌هایی می‌باشند که تعیین‌کننده میزان در معرض خطربودن است. مواجهه به این پرسش می‌پردازد که آیا افراد یا دارائی‌ها به شکل فیزیکی در مسیر سیلاب قرار دارند یا نه، در حالیکه آسیب‌پذیری، شرایط حاصل از عوامل یا فرآیندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی هستند که

[1]. Disaster Risk Reduction

[2]. Natural Disasters and Vulnerability Analysis; Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator

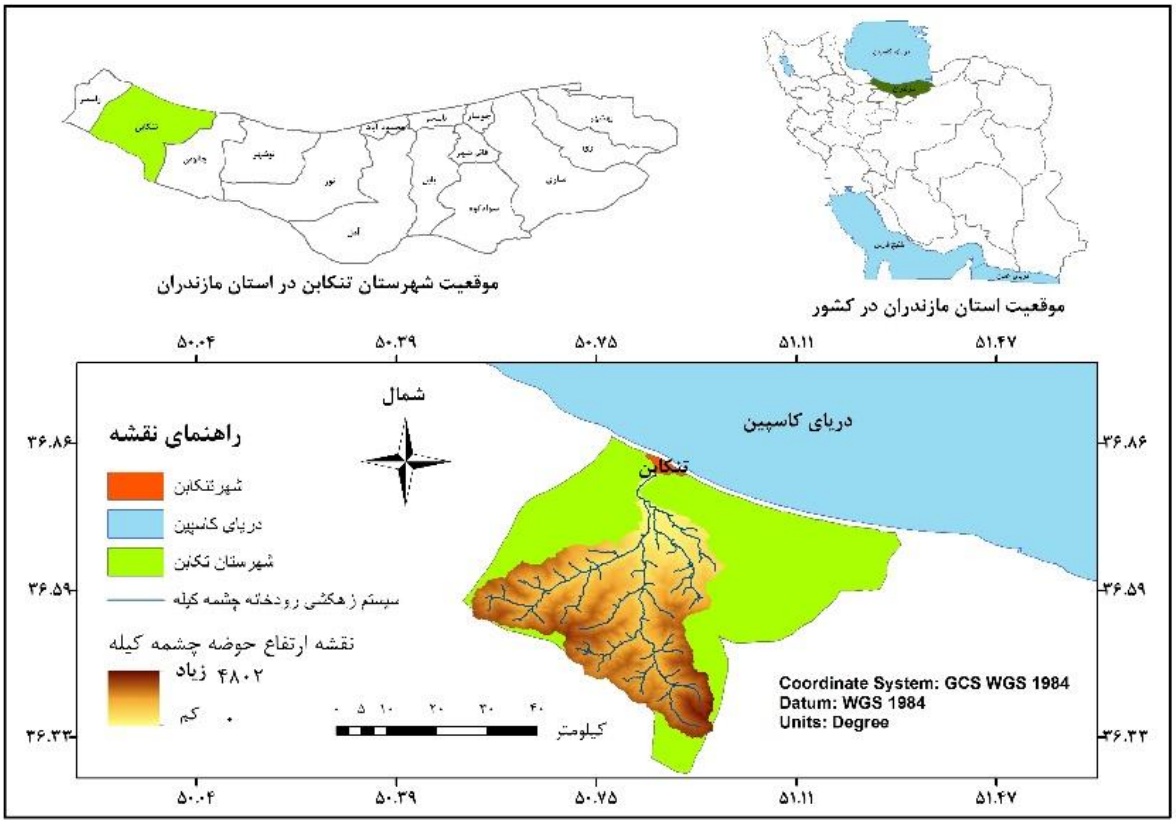
[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

تأثیرپـــذیری مـــردم را از خطـــرات افزایش می‌دهد. قابل توجه است که اکثر مطالعات آسیب‌پذیری اجتماعی تمرکز نظری دارند (Armas and Gavris, 2013)، اگرچه تلاش‌هایی برای انجام ارزیابی‌های تجربی در ســـال‌های اخیر انجام شـده اسـت (Nga et al,2020؛ Armas and Gavris, 2013؛Arrighi et al, 2019). تا به امروز، مقالات تحقیقاتی که آسـیب‌پذیری اجتماعی یک شـهر را برآورد می‌کنند، طیف گسـترده‌ای از مقیاس‌ها را با واحدهای نقشـه‌برداری مختلف مانند شـــهرداری‌ها (Bjarnadottir et al, 2011) مناطق شـــهری (Aroca et al, 2017؛ Gautam, 2017 و بلوک‌های سـرشـماری (Cutter et al, 2012؛ Prudent, 2016) یا محله‌ها به کار گرفته‌اند (Ebert, 2009). بر اسـاس شـکاف‌هایی که قبلا ذکر شـد و با بررسـی پیشـینه تحقیقاتی قابل توجه اسـت که اکثر مطالعات آسـیب‌پذیری اجتماعی تمرکز نظری داشـته‌اند و این مطالعه به صـورت عملی به ارزیابی آسـیب‌پذیری سـیلاب در رودخانه چشـمه‌کیله واقع در شـهر تنکابن پرداخته اسـت. همچنین تاکنون هیچ مطالعه‌ای به منظور ارزیابی آسـیب‌پذیری شـهری در برابر خطر سـیلاب از روش ویکور با شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه کار نکرده است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه چشـمه‌کیله در غرب اسـتان مازندران واقع در شـهرسـتان تنکابن و در بخش شـمالی رشـته کوه البرز مرکزی قرار دارد (شـکل ۱). رودخانه‌های دوهزار و سـه‌هزار تنکابن منطبق بر بخشـی از حوزه آبخیز چشـمه‌کیله است که در جنوب شهر تنکابن قرار دارد. این محدوده در حد فاصل طول شرقی °۵۰ ۳۵ تا °۵۰ ۵۹ و عرض شمالی °۳۶ ۲۱ تا °۳۶ ۵۰ قرار گرفته است. رودخانه چشمه‌کیله از رودخانه‌های مهم بزرگ آبخیز ساحلی دریای خزر است. طول رودخانه ۸۰ کیلومتر است که قسمت اعظم آن کوهستانی، مرتفع و پوشیده از جنگل و دارای رژیم بارانی و برفی است (Abbaspour *et al*, 2014). ظرفیت‌های بالای اراضی حاشیه رودخانه و محدودیت اراضی مناسب در آبخیز سبب شـده اسـت که بسـیاری از فعالیت‌های کشـاورزی در کناره رودخانه تمرکز یابند که به شـدت تحت تأثیر سـیلاب قرار دارند (Ramezanzadeh and Badri, 2014). ایـــن رودخـــانه بعـــد از پل‌رود، پرآب‌ترین رودخانه غرب مازندران و دارای رژیمی منظم در فصول مختلف سال است. دوره پرآبی رودخانه در بهار است و بخشی از آب آن به شهر تنکابن سرازیر می‌گردد.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

این تحقیق کمی کاربردی در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ با مطالعه موردی رودخانه چشمه‌کیله تنکابن انجام شد. در مرحله اول، شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری سیلاب با استفاده از مطالعه پیشینه تحقیقاتی تهیه شد. در این راستا، داده‌های ۶ شاخص نسبت سالخوردگی، نسبت جنسی، نسبت جوانی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، کیفیت سازه و کیفیت مصالح، به عنوان شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری سیلاب تهیه شد (González *et al*, 2020). برای جمع‌آوری داده، از مطالعه سالنامه‌های آماری و نیز تهیه اطلاعات بلوک‌های شهری چشمه‌کیله با مراجعه به مرکز ملی آمار ایران که در آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ ثبت شده است استفاده شد. در مرحله بعد برای تهیه هر یک از شاخص‌ها از روابط تعریف شده طبق جدول ۱ استفاده شد. یکی دیگر از لایه‌های تعیین‌کننده منطقه، پهنه سیلابی بود که به تعیین حدود مناطق آسیب دیده کمک کرد. در این مطالعه بعد از جمع‌آوری داده‌های مربوط‌به دبی حداکثر روزلنه و لحظه‌ای در ایستگاه‌های موردنظر، با انتخاب ۲۰ سال دوره آماری مشترک، اقدام به کنترل، تصحیح و بازسازی داده‌ها شد. در مرحله بعد دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف تعیین شد، بدین ترتیب که بعد از وارد کردن دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در نرم افزار Easyfit، با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده، بهترین توزیع آماری تعیین و در نهایت ۳ دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به مدل معرفی شد. برای تعیین ضریب مانینگ کل منطقه به ۲۰۹ مقطع تقسیم شد. سپس با استفاده از روش کاون در هر یک از مقاطع سه ضریب زبری متفاوت برای بستر رودخانه، ساحل راست و چپ تعیین شد. گام پنجم انتقال نتایج نرم افزار HEC-RAS در قالب فایل متنی (ASCII) به سامانه ArcGIS و نمایش پهنه‌های

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

سیلاب با دوره‌های برگشت مختلف در این محیط است. این نقشه حاصل مدلسازی بر اساس مدل HEC-RAS است (Mohammadi *et al*, 2023).

جدول ۱: شرح عوامل و شاخص‌های پیشنهادی مورد استفاده برای تحلیل میزان مواجهه سیلاب

معیار	شاخص
نسبت جوانی	(جمعیت زیر ۱۴ سال/ کل جمعیت) × ۱۰۰
نسبت سالخوردگی	نسبت سالخوردگی (جمعیت بالای ۶۵ سال/کل جمعیت) ×۱۰۰
کیفیت سازه و مصالح	کیفیت مصالح (آجر و آهن، آجر و چوب و بلوک سیمانی) اسکلت سازه (اسکت فلزی و اسکلت بتن آرمه)
تراکم جمعیت	جمعیت هر بلوک/مساحت بلوک (هکتار)
نسبت جنسی	(جمعیت زنان/کل جمعیت) × ۱۰۰

داده‌های هریک از شاخص‌ها به لایه بلوک‌های شهری شهر تنکابن با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10/3 افزوده شد. سپس برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب، از روش ویکور استفاده شد.

۳-۲- روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور (VIKOR)

روش ویکور حرف اختصاری عبارت صربی یکی از مدل‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر می‌باشد. این مدل از سال ۱۹۸۴ بر مبنای روش توافق جمعی و با داشتن معیارهای متضاد تهیه شده و عموماً برای حل مسائل گسسته کاربرد دارد. این روش برای بهینه‌سازی چند معیاره سیستم‌های پیچیده توسعه یافته است. این روش روی دسته‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسأله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند، به طوری که قادر است تصمیم‌گیرندگان را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در اینجا جواب سازشی نزدیکترین جواب موجهه به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد. مزیت مدل ویکور در این است که الزاماً در این مدل جهت ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، نیازی به استفاده از نظرات کارشناسان نیست بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده کرد. این تفاوت اصلی این مدل با روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای می‌باشد که بر اساس مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها طراحی شده بود، در حالیکه در این مدل مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد بلکه هرگزینه به صورت مستقل بر اساس هر معیار ارزیابی می‌شود (Yadkori and Hojati, 2016).

روش VIKOR که به عنوان تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] شناخته شده است، بر انتخاب و رتبه‌بندی مجموعه‌های جایگزین معیارهای متضاد تأکید می‌کند. روش انجام فرآیند ویکور در مراحل اولیه شباهت‌هایی با روش تاپسیس دارد. اما در مراحل نهایی، نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های سودمندی و تأسف متفاوت است. روش VIKOR برای گزینه‌های رتبه‌بندی می‌تواند در مراحل زیر شرح داده شود (Arab Ameri, *et al*, 2018):

۱. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری؛

۲. محاسبه‌ی ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده به روش خطی با استفاده از معادله (رابطه‌ی ۱)

[1]. Multiple Criteria Decision Making

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

رابطهٔ ۱
$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_1^M X_{ij}}$$

که این‌جا Rij، یک عنصر ماتریس تصحیح شده است و xij عملکرد جایگزین iام در معیار jام است.

۳. محاسبه‌ی وزن معیارها؛

برای محاسبه‌ی وزن معیارها مزیت مدل VIKOR این است که ارزیابی تمام معیارها نیازی به بررسی کارشناس ندارد؛ اما، داده‌های خام نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۴. محاسبه‌ی ماتریس وزین با ضرب هر معیار در وزن آن (رابطه‌ی ۲)؛

رابطهٔ ۲
$$V_{ij} = R_{ij} \times W_j$$

Vij عنصر ماتریسی تصحیح شده عادی است، Rij یک عنصر ماتریسی تصمیم عادی است و wj وزن معیارهای محاسبه شده است.

۵. محاسبه‌ی مقادیر Si (شاخص سودمندی) و Ri (شاخص تأسف) (به ترتیب رابطه‌های ۳ و ۴)؛

برای هر معیار، بهترین و بدترینِ هر یک را در میان همه‌ی گزینه‌ها تعیین کرده و به ترتیب f^+ و f^- می‌نامیم. اگر معیار از نوع سودمندی باشد، $f^+ = max f_{ij}$، و اگر از نوع تأسف باشد، $f^- = min f_{ij}$، را خواهیم داشت.

رابطهٔ ۳
$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \times \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-}$$

رابطهٔ ۴
$$R_i = max\left[w_j \times \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-}\right]$$

مقدار سودمندی (S) بیانگر فاصله‌ی نسبی گزینه‌ی i ام از نقطه‌ی ایده‌آل و مقدار تأسف (R) بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه‌ی iام از دوری از نقطه‌ی ایده‌آل است.

۶. محاسبه‌ی مقادیر Q برای هر گزینه (رابطه‌ی ۵).

رابطهٔ ۵
$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right] + (1\text{-}v)\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right]$$

$S^* = \min S_i$, $S^- = \max S_i$
$R^* = \min R_i$, $R^- = \max R_i$

پارامتر v با توجه به میزان توافق گروه تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. مقدار این پارامتر بین صفر تا یک تعیین می‌شود. چنانچه توافق زیاد باشد، آنگاه مقدار v بیشتر از ۰/۵، توافق با اکثریت آراء باشد، آنگاه v برابر با ۰/۵ و اگر توافق اندک باشد، آنگاه v کمتر از ۰/۵ را به کار می‌گیرند. در اکثر منابع، مقدار v برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

۷. رتبه‌بندی جایگزین‌ها که با توجه به مقادیر S، R و Q طبقه‌بندی شده است. بهترین گزینه دارای کمترین مقدار این سه پارامتر است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

۸. بالاترین جایگزین در پارامتر Q بهترین گزینه است اگر دو شرط زیر را داشته باشد:

الف- اگر گزینه‌ی A1 و A2 در میان m گزینه رتبه‌ی اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه‌ی زیر برقرار باشد (۶):

رابطهٔ ۶

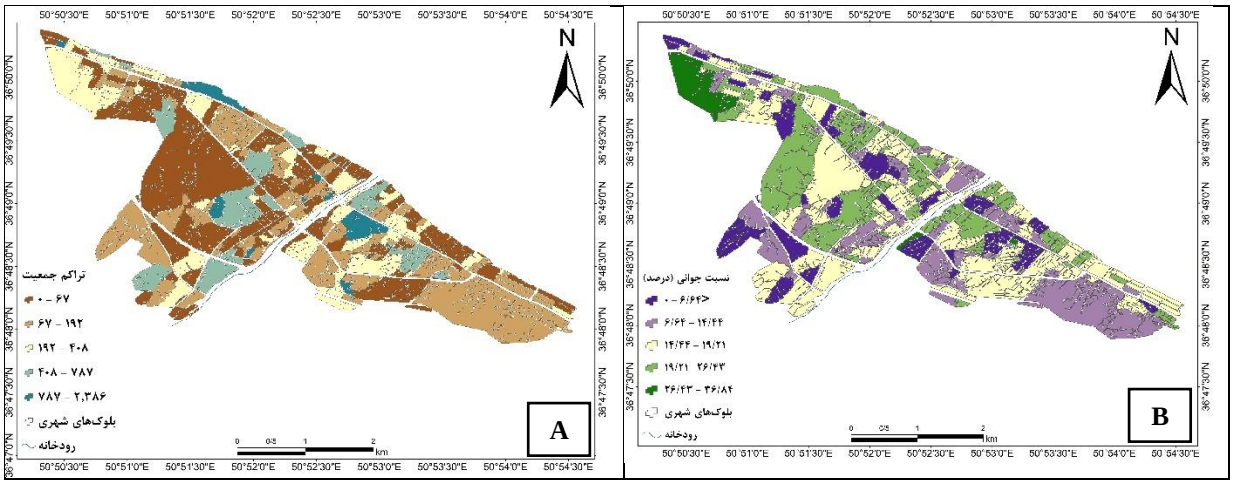
$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1}$$

ب- گزینه‌ی A1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه‌ی برتر شناخته شود. اگر شرط نخست برقرار نباشد، هر دو گزینه بهترین گزینه خواهند بود. اگر شرط دوم برقرار نباشد، گزینه‌ی A1 و A2 هر دو به عنوان گزینه‌ی برتر انتخاب می‌شوند.

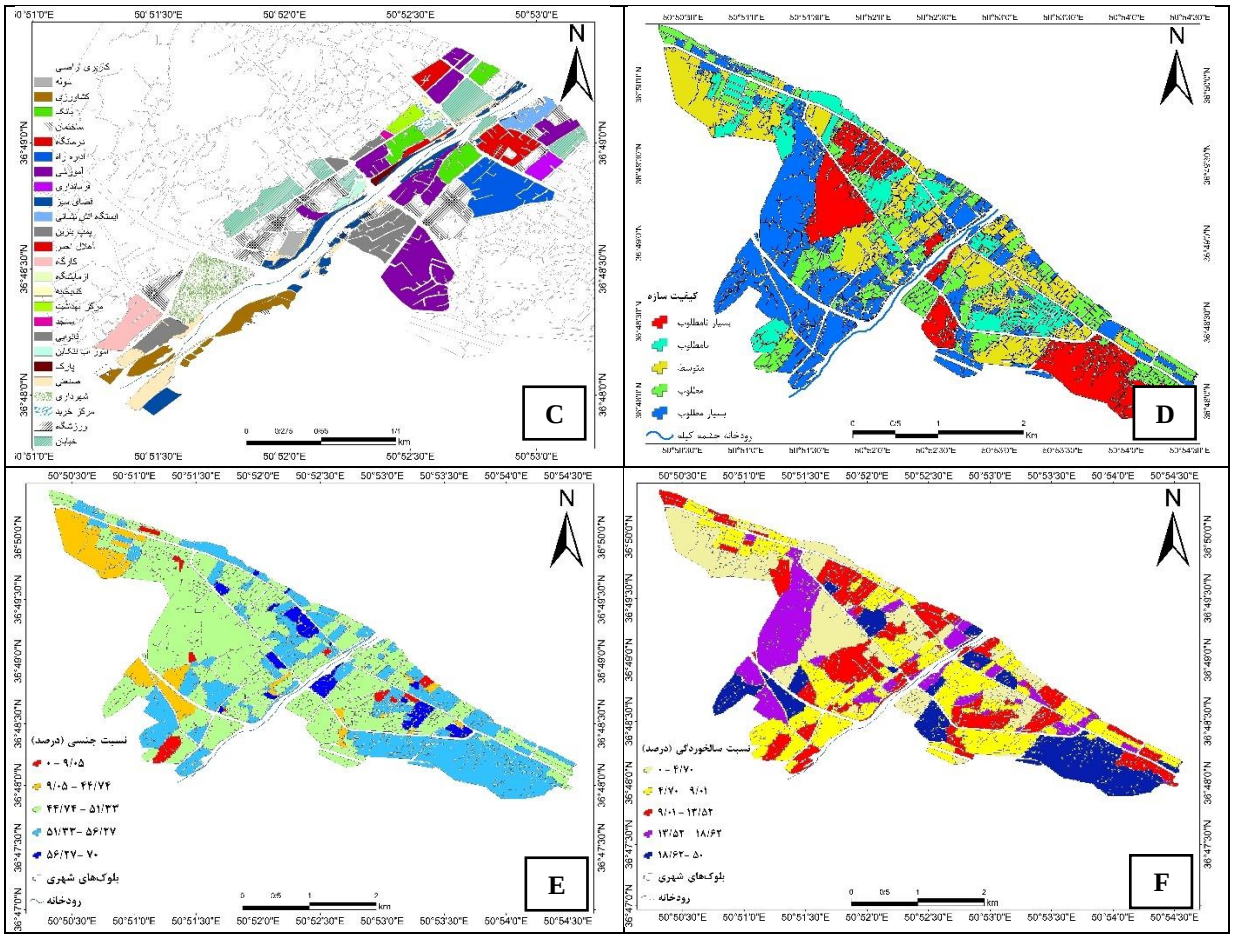
پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری به هرکدام از شاخص‌ها بر مبنای حد مطلوب هر شاخص، طیفی از ۱ تا ۵ (خیلی نامطلوب تا خیلی مطلوب: شاخص‌های مثبت) اختصاص داده شد. سپس میانگین شاخص‌های مورد نظر محاسبه و ماتریس خام تصمیم‌گیری تشکیل شد. در آخرین مرحله از مدل ویکور، مقدار Qi با استفاده از دستور Raster Calculate در محیط نرم افزار Arc Map و با استفاده از نتایج شاخص‌های سودمندی و تأسف به دست آمد. پس از وزن‌دهی هریک از شاخص‌ها نقشه نهایی آسیب‌پذیری سیلاب در محیط ArcGIS 10.3 تهیه شد.

۴- یافته‌ها

لایه‌های اطلاعاتی هر یک از شاخص‌های نسبت جوانی، نسبت سالخوردگی، نسبت جنسی، کاربری اراضی، تراکم جمعیت و کیفیت سازه و مصالح بر اساس جدول ۱ تهیه شد.



[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]



شکل ۲: شاخص‌های تراکم جمعیت(A)، نسبت جوانی(B)، کاربری اراضی(C)، کیفیت سازه و مصالح (D) نسبت جنسی(E) نسبت سالخوردگی(F)

فرآیندهای پیشرفته نشان می‌دهد که معیارهای یکسانی در هنگام استفاده از شاخص‌های زیر وجود دارد:

نسبت جنسی و نسبت جوانی جمعیت: تلاقی شرایط سنی (سالمندان و کودکان)، جنسیت (زنان)، بیشترین تأثیر را بر بار اجتماعی مخاطرات طبیعی دارند. درصد سالمندان، درصد کودکان، درصد زنان (Aroca-Jiménez, 2017؛ Ruiz, 2011؛ Cutter, 2012؛ Koks, 2015) گروه‌های آسیب‌پذیرتری از جمعیت را تشکیل می‌دهند که وقتی در معرض خطر خاصی قرار می‌گیرند، بیشتر متحمل تأثیرات اجتماعی عمده می‌شوند. تنوع قابل توجهی در میان گروه‌های اجتماعی/گروه‌های سنی در محدوده و شدت خطرات وجود دارد. در داخل خانواده، گروه‌های سنی مختلف به طور متفاوتی در معرض خطر قرار می‌گیرند. برخلاف سایر ابعاد الگوی اجتماعی، توجه به گروه‌های سنی مختلف اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. دیدگاه جنسیتی و سنی باعث ایجاد تفاوت در میزان تلفات و جراحات می‌شود، زیرا کودکان، زنان، افراد خاص و افراد سالمند آسیب‌پذیرتر هستند و به راحتی می‌توانند در هنگام بلایا تحت تأثیر قرار گیرند. در ارزیابی آسیب‌پذیری جمعیت در برابر مخاطرات طبیعی در منطقه دو پارامتر مهم سن و جنس بیشتر تأثیرگذار است. کودکان، سالخوردگان و زنان بیشتر آسیب‌پذیر هستند. آنها قدرت بدنی کمتری برای زنده ماندن در بلایا دارند و اغلب بیشتر در معرض بیماری‌های خاص هستند. افراد مسن نیز اغلب کاهش بینایی و شنوایی دارند. کودکان اغلب برای تصمیم‌گیری برای بقاء به دیگران وابسته هستند. توجه ویژه در مورد موقعیت سکونتگاه‌ها بایستی به عوامل اجتماعی اقتصادی معطوف شود. آشکار است که افراد جوان و سالم به احتمال بیشتری تاب تحمل تنشهای فیزیکی را

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

در مقایسه با افراد سالخورده و بیمار دارند. از سوی دیگر، آنهایی که با فنون سازگاری در مواقع تنش آشنا هستند می‌توانند علیرغم محرومیت از شرایط فیزیکی مطلوب از عهدهٔ سیل برآیند. طبق اطلاعات دریافت شده از مرکز ملی آمار ایران، برای به دست آوردن نسبت جوانی جمعیت، جمعیت زیر ۱۴ سال مرد و زن بر کل جمعیت تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شده است. این نسبت برای کل بلوک‌های شهری محاسبه شد (González et al, 2020). دیدگاه جنسیتی و سنی باعث ایجاد تفاوت در میزان تلفات و جراحات می‌شود، زیرا کودکان، زنان، افراد خاص و افراد سالمند آسیب‌پذیرتر هستند و به راحتی می‌توانند در هنگام بلایا تحت تأثیر قرار گیرند. برای به دست آوردن نسبت جنسی، جمعیت زنان منطقه مورد مطالعه تقسیم برکل جمعیت و در عدد ۱۰۰ ضرب شد. این نسبت برای کل بلوک‌های شهری محاسبه شد.

نسبت سالخوردگی: کودکان، سالخوردگان و زنان بیشتر آسیب‌پذیر هستند. آنها قدرت بدنی کمتری برای زنده ماندن در بلایا دارند و اغلب بیشتر در معرض بیماری‌های خاص هستند. همچنین افراد مسن اغلب زوال بینایی و شنوایی دارند. برای به دست آوردن نسبت سالخوردگی، جمعیت بالای ۶۵ سال مرد و زن را برکل جمعیت تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد. این نسبت برای کل بلوک‌های شهری محاسبه شد.

کیفیت مصالح و سازه: توضیحات مشابهی نیز دربارهٔ زیرساخت‌ها قابل طرح است. با اینکه خانه‌های بتونی به احتمال کمتری در اثر سیلاب تخریب می‌شوند؛ دیگر خانه‌های ساده‌تر ممکن است آسیب‌پذیری کمتری داشته باشند؛ مشروط به اینکه به خوبی در برابر سیل سازگار شده باشند، برای نمونه استقرار خانه بر روی پایه. آسیب‌پذیری عناصر شهری به ویژگی سازه‌های ساختمانی، خدمات، تجهیزات و اتصالات، قابلیت تحرک تجهیزات، و مواد موجود بستگی دارد (Cho and Chang, 2017). پس از عنصر انسانی، مهم‌ترین عناصر، پناهگاه‌ها و واحدهای مسکونی موجود در یک منطقه هستند. در طول هر فاجعه‌ای، از دست دادن سرپناه مهم‌ترین خسارت محسوب می‌شود. در ارزیابی ریسک خطرات طبیعی برای واحدهای مسکونی، اطلاعات مربوط به وضعیت ساختاری واحدها باید جمع‌آوری شود. برای تهیه نقشه کیفیت سازه و مصالح از اطلاعات مربوط به نوع اسکلت و مصالح مورد استفاده بهره برده شد. بدین‌ترتیب که نوع اسکلت بر اساس اطلاعات بلوک‌های شهری تهیه شده از مرکز ملی آمار ایران به سه دسته بتن آرمه، فلزی و سایر اسکلت‌های سازه‌ای تقسیم شد. مصالح مورد استفاده نیز به سه دسته آجر- آهن، آجر-چوب و بلوک سیمانی تقسیم شد. لایه‌های مربوط به مصالح و اسکلت سازه در محیط ArcGIS ترکیب شده و لایه کیفیت سازه تهیه شد.

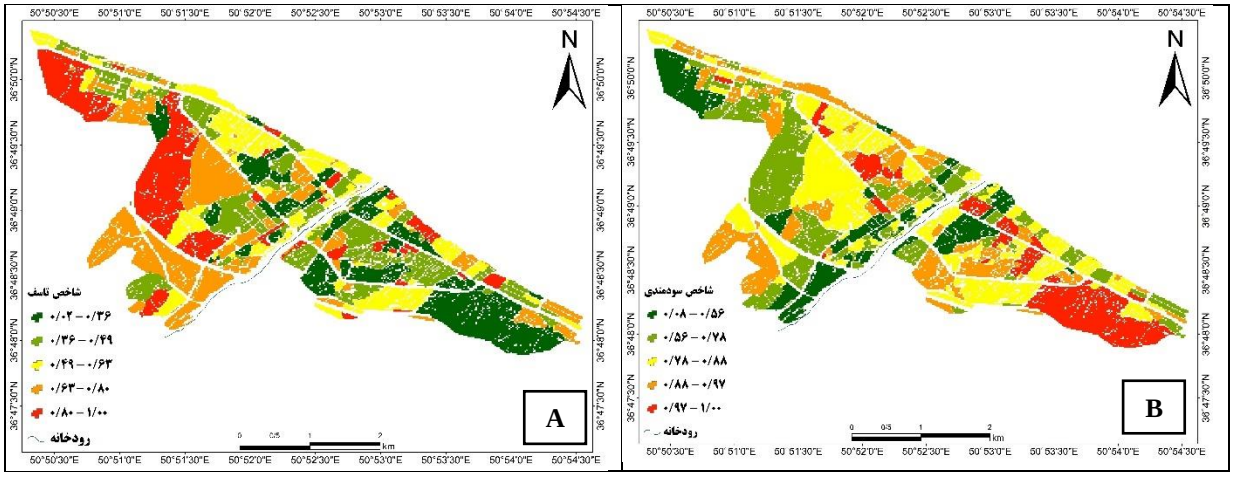
تراکم جمعیت: یکی دیگر از عناصر، تراکم جمعیت است که به عنوان مهم‌ترین عنصر در معرض مخاطرات طبیعی به شمار می‌آیند. به همین دلیل در ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب، تراکم جمعیت نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای دارد. برای به دست آوردن تراکم جمعیت منطقه، جمعیت هر بلوک بر مساحت آن (هکتار) تقسیم شد.

کاربری اراضی: عامل کاربری اراضی از دو نظر حائز اهمیت است. کیفیت سطوح تأثیر متفاوتی بر ضریب جریان رواناب دارد. به طوری که ضریب جریان رواناب در سطوح غیر قابل نفوذ بیشتر است و این امر تأثیر بسزایی بر افزایش مقاومت هیدرولیک جریان و افزایش آسیب‌پذیری دارد. همچنین، عامل کاربری اراضی در تخمین میزان خسارت حائز

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

اهمیت است. طبیعتاً میزان خسارت در کاربری‌های مسکونی، صنعتی و تجاری بیش از کاربری‌هایی همچون فضای سبز است.

به دلیل تفاوت در طیف داده‌ها، ابتدا نرمال‌سازی داده‌ها شکل گرفت. سپس با استفاده از روش AHP وزن هر یک از شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تهیه شد. پس از تعیین وزن هر معیار، تعیین ایده‌آل مثبت و منفی انجام شد. ایده‌آل‌های مثبت، بیشترین مقدار هر شاخص و ایده‌آل منفی، کمترین مقدار هر شاخص در میان گزینه‌ها است. نتیجه کسر ایده‌آل مثبت از سایر زیر شاخص‌ها، شاخص میزان سودمندی و نتیجه کسر شاخص ایدآل منفی از هر یک از زیرشاخص‌ها، بیانگر شاخص تأسف است (جدول ۲). طیف شاخص‌های تأسف و سودمندی برای هر یک از لایه‌ها با استفاده از ابزار طبقه‌بندی در نرم‌افزار ArcGIS در ۵ گزینه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم کلاسه‌بندی شد. نتایج طبقه‌بندی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی برای طیف‌بندی شاخص‌های تأسف و سودمندی در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳: شاخص‌های تأسف(A) و شاخص سودمندی(B) بر اساس مدل ویکور در شهر تنکابن

کلاسه‌بندی برای هر یک از لایه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. پس از محاسبه مقادیر سودمندی و تأسف برای هر یک از شاخص‌ها، نقشه شاخص‌های کلی تأسف و سودمندی که با استفاده از لایه‌های سودمندی و تأسف برای هر یک از شاخص‌ها به دست آمده، تهیه شد (شکل ۳).

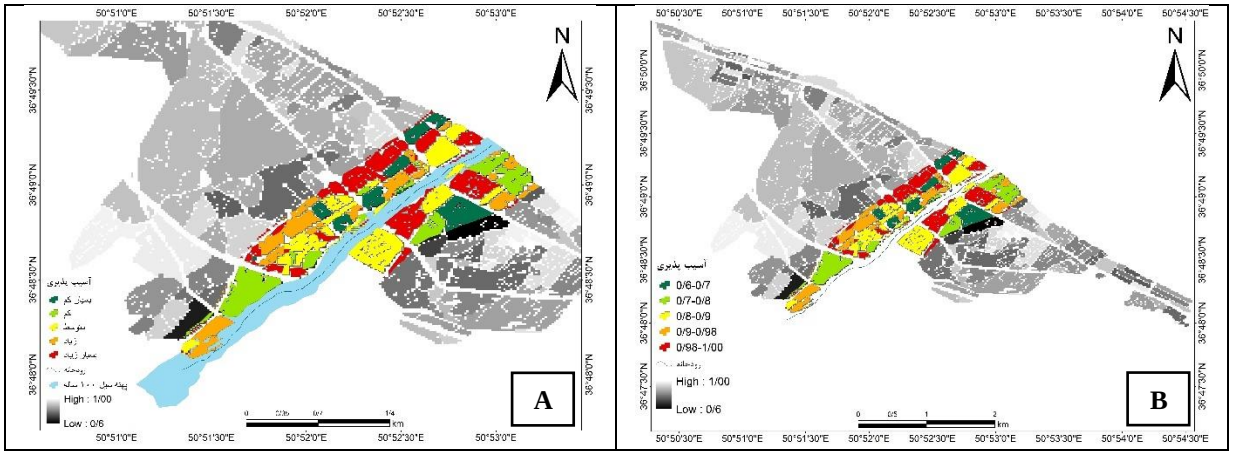
جدول ۲. مقادیر سودمندی (Si) و تأسف (Ri) به دست آمده با استفاده از مدل ویکور

شاخص	طیف				
	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
شاخص تأسف					
نسبت جنسی	۰/۰۸۱	۰/۰۵۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲	۰/۰۱
نسبت سالخوردگی	۰/۰۶۹	۰/۰۴۹	۰/۰۲۹	۰/۰۹	۰/۰۲
تراکم جمعیت	۰/۰۶۹	۰/۰۴۹	۰/۰۲۹	۰/۰۱۹	۰/۰۲
کاربری اراضی	۰/۰۱۵	۰/۰۳۹	۰/۰۳۰	۰/۰۲۹	۰/۰۹
نسبت جوانی	۰/۰۸۰	۰/۰۶۰	۰/۰۴۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

کیفیت سازه	۰/۰۷۹	۰/۰۵۹	۰/۰۳۱	۰/۰۱۳	۰/۰۸
سودمندی					
نسبت جنسی	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۷
نسبت سالخوردگی	۰/۶۹	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۴
تراکم جمعیت	۰/۶۹	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۴
کاربری اراضی	۰/۸۰	۰/۳۷	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۵
نسبت جوانی	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۴
کیفیت سازه	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۶

پس از محاسبه شاخص‌های سودمندی و تأسف، با استفاده از رابطه ۵ نقشه پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری سیلاب برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۴). در این نقشه مقادیر نزدیک به صفر دارای بدترین شرایط و یا به عبارتی بیشترین مقدار تأسف هستند و مقادیر نزدیک به یک دارای بهترین شرایط یا بیشترین مقدار سودمندی هستند. برای درک بهتر پراکندگی پهنه‌های خطر، نقشه مورد نظر به ۵ طیف خطر بسیار زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم و نیز خطر بسیار کم طبقه‌بندی شد.



شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب بر اساس مدل ویکور(B) و همپوشانی لایه سیل‌گیری با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (Mohammadi et al, 2023) با لایه مواجهه سیلاب(A)

جدول ۳. مساحت طبقات آسیب‌پذیری سیلاب

کلاس‌های خطر	مساحت (km^2)	درصد
بسیار کم	۰/۱۹	۱۳/۲۸
کم	۰/۲۸	۱۹/۵۸
متوسط	۰/۳۴	۲۳/۷۷
زیاد	۰/۲۶	۱۸/۱۸
بسیار زیاد	۰/۳۶	۲۵/۱۷
کل	۱/۴۳	۱۰۰

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

برای نمایش بهتر پدیده سیل‌گیری و آسیب‌پذیری مناطق کرانه چپ و راست رودخانه در حاشیه رودخانه چشمه‌کیله، از همپوشانی نقشه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (Mohammadi *et al*, 2023) در محدوده مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۴). بر اساس یافته‌ها، مساحت طیف آسیب‌پذیری بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم در حاشیه رودخانه چشمه کیله به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۲۶، ۰/۳۴، ۰/۲۸ و ۰/۱۹ کیلومتر مربع است که بدین ترتیب بیشترین مساحت در طیف بسیار زیاد و کمترین مساحت در طیف بسیار کم مشاهده می‌شود.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی آسیب‌پذیری رودخانه چشمه‌کیله در محدوده شهر تنکابن در برابر سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ویکور مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته شده است. معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری ناشی از سیل شامل کاربری اراضی، تراکم جمعیت، نسبت جوانی، نسبت سالخوردگی، نسبت جنسی، و کیفیت سازه و مصالح هستند. به طور کلی یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که نواحی جنوبی در کناره چپ و نواحی شمالی در کناره چپ و راست محدوده مورد مطالعه به دلیل تراکم پایین جمعیت، توان آبگذاری مسیل رودخانه، وجود فضای سبز، آسیب‌پذیری پایینی در مواجهه با سیلاب‌های شهری و روانآب سطحی دارند. در مقابل، تراکم شدید جمعیت و بافت متراکم ساختمانی در کناره‌های چپ در حواشی غربی و شمال غربی منجر به کاهش سطوح نفوذپذیری خاک و افزایش حجم روانآب شهری شده است. بنابراین، این نواحی آسیب‌پذیری بیشتری در مقابل سیلاب و روانآب شهری دارند. بر اساس یافته‌ها، بیشترین مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در سطح بسیار زیاد و کمترین مساحت پهنه‌های آسیب‌پذیری در سطح بسیار کم واقع شده است. عرض رودخانه مورد مطالعه به سمت پایین دست افزایش یافته، درحالی که شیب رودخانه با کاهش مواجه بوده است. این امر باعث افزایش سطح آبگیری منطقه و احتمال وقوع خسارات مالی و انسانی می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ (همپوشانی لایه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و لایه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه) مشاهده می‌شود، پهنه‌های با آسیب‌پذیری بسیار زیاد در کرانه‌های چپ و راست در بخش پایاب رودخانه قابل مشاهده است. در این لایه‌ها عواملی همچون تراکم جمعیت در سطح (۶۷-۱۹۲ و ۴۰۸-۱۹۲، نسبت جوانی در طیف‌های ۲۶/۴۳-۱۹/۲۱ و ۱۹/۲۱-۱۴/۴۴، کیفیت سازه در طیف بسیار نامطلوب، متوسط، نسبت سالخوردگی در طیف ۱۸-۹، نسبت جنسی در طیف ۵۶/۲۷-۴۴/۷۴ و کاربری اراضی اغلب در اراضی ساختمانی و صنعتی باعث تشدید ریسک آسیب‌پذیری سیلاب در این منطقه شده است. طبعاً با کاهش طیف شاخص‌های مورد بررسی، ریسک آسیب‌پذیری سیلاب نیز کاهش می‌یابد. برای مثال عاملی همچون نسبت جوانی، هر چقدر طیف نسبی کمتر باشد، ریسک بیشتری برای خسارت سیلاب قابل استناد است. در نهایت می‌توان این مطالعه را از لحاظ روش‌شناسی مشابه با کار (Hooseini, 1401) مقایسه کرد با این تفاوت که روش‌شناسی این مطالعه قابلیت اطمینان بیشتری دارد. همچنین در پژوهش دیگری که (González et al, 2020) انجام داده‌اند نیز تا حد نسبتاً زیادی از شاخص‌های آسیب‌پذیری مشابه به پژوهش حاضر استفاده شده است. با توجه به پیشینه مطالعاتی در حوضه رودخانه چشمه‌کیله تا به امروز برای این منطقه مطالعه‌ای مبنی بر ارزیابی آسیب‌پذیری با مدل ویکور با این شاخص‌ها صورت نگرفته است.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

آسیب‌پذیری عناصر شهری به ویژگی سازه‌های ساختمانی، خدمات، تجهیزات و اتصالات، قابلیت تحرک تجهیزات، و مواد موجود بستگی دارد. شرایط اجتماعی حاکم بر یک جامعه و محیط اطراف آن مانند نوع مشاغل افراد جامعه، سطح سواد، میزان آموزش پیش از وقوع سیل، نوع ساخت و ساز، کشاورزی و باغداری در سیلاب‌دشت، شرایط زیست‌محیطی، استفاده از روش‌های کنترل سیلاب، برنامه مدیریت بحران قبل و حین وقوع سیل، سیستم هشدار سیلاب و سایر عواملی که بر میزان آسیب‌پذیر بودن منطقه و جامعه در برابر سیل مؤثر است. در حقیقت، آسیب‌پذیری بیانگر میزان حساسیت عناصر موجود در سیلاب‌دشت است که در معرض خطر سیل قرار گرفته‌اند. میزان خسارت به نوع سیل بستگی دارد (به ویژه از نظر عمق، سرعت جریان، کیفیت آب، مدت و بار رسوب). در حالیکه در مناطق روستایی خسارات سیل اکثراً مستقیم هستند؛ از نظر زیان تولید کشاورزی، خسارات در شهرها پیچیده‌تر هستند. با اینکه اثرات سیلاب‌های شهری متنوع است، بایستی به یاد داشت که سیلاب‌های رودخانه‌ای در مناطق روستایی غالباً اثرات اکولوژیک مثبتی دارند. تعیین سطح کل خسارت سیلاب به ویژه برای طراحی اقدامات مؤثر حفاظت از سیلاب مطلوب است. عدم آگاهی از اقدامات ایمنی و اطلاع‌رسانی نادرست در مورد وقوع سیل، سبب خسارت بیشتر می‌شود. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود که سیستم هشدار اولیه وقوع سیلاب برای آگاه سازی مردم به منظور تخلیه به موقع ایجاد شود.

منابع

1. Ameri, A. A., Pourghasemi, H. R., & Cerda, A. (2018). Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. *Science of the Total Environment*, *613*, 1385-1400.
2. Apotsos, A. (2019). Mapping relative social vulnerability in six mostly urban municipalities in South Africa. *Applied geography*, *105*, 86-101.
3. Armaș, I., & Gavriș, A. (2013). Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model)–a case study for Bucharest, Romania. *Natural hazards and earth system sciences*, *13*(6), 1481-1499.
4. Asumadu-Sarkodie, S., Owusu, P. A., & Rufangura, P. (2017). Impact analysis of flood in Accra, Ghana.
5. Abbaspour, Ruholah, Hedayati Fard, Massoud, Masgarian Karimi, Javad, and Tousi, Azadeh. (2011). Investigating the effects of pollution on the benthic macroinvertebrate population of the Kileh Tankabon spring river based on biological indicators. Animal Biology, 4(4), 55-68. SID. https://sid.ir/paper/176726/fa.
6. Arrighi, C., Pregnolato, M., Dawson, R. J., & Castelli, F. (2019). Preparedness against mobility disruption by floods. *Science of the Total Environment*, *654*, 1010-1022.
7. Aroca-Jimenez, E., Bodoque, J. M., Garcia, J. A., & Diez-Herrero, A. (2017). Construction of an integrated social vulnerability index in urban areas prone to flash flooding. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *17*(9), 1541-1557.
8. Barredo, J. I., & Engelen, G. (2010). Land use scenario modeling for flood risk mitigation. *Sustainability*, *2*(5), 1327-1344.
9. Cutter, S. L., Mitchell, J. T., & Scott, M. S. (2012). Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. In *Hazards Vulnerability and Environmental Justice* (pp. 111-142). Routledge.
10. Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2012). Social vulnerability to environmental hazards. In *Hazards vulnerability and environmental justice* (pp. 143-160). Routledge.
11. Cho, S. Y., & Chang, H. (2017). Recent research approaches to urban flood vulnerability, 2006–2016. *Natural Hazards*, *88*, 633-649.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

12. Durga, B. K., Moulika, M. B., Kumar, K. P., & Varma, L. K. (2018). Design of early warning flood detection systems. *International Journal of Engineering Technology Science and Research (IJETSR)*, *5*(4), 794-799.
13. Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S., & Roberts, S. (2004). Quantifying social vulnerability: a methodology for identifying those at risk to natural hazards.
14. Demir, V., & Kisi, O. (2016). Flood hazard mapping by using geographic information system and hydraulic model: Mert River, Samsun, Turkey. *Advances in Meteorology*, *2016*.
15. Driessen, P. P., Hegger, D. L., Kundzewicz, Z. W., Van Rijswick, H. F., Crabbé, A., Larrue, C., ... & Wiering, M. (2018). Governance strategies for improving flood resilience in the face of climate change. *Water*, *10*(11), 1595.
16. Ebert, A., Kerle, N., & Stein, A. (2009). Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and spaceborne imagery and GIS data. *Natural hazards*, *48*, 275-294.
17. Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., & Lewis, B. (2011). A social vulnerability index for disaster management. *Journal of homeland security and emergency management*, *8*(1), 000010220215477355179 2.
18. Gautam, D. (2017). Assessment of social vulnerability to natural hazards in Nepal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *17*(12), 2313-2320.
19. Hosseini, S. M., Ghanbari Nasabb, A., Asgari, O., & Hashemi Fasaei, E. (2023). Assessment of urban vulnerability to flood risk by using GIS-based Best-Worst method. *Emergency Management*, *11*(2).
20. Hufschmidt, G., Crozier, M., & Glade, T. (2005). Evolution of natural risk: research framework and perspectives. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *5*(3), 375-387.
21. Kumpulainen, S. (2006). Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. *Special paper-geological survey of Finland*, *42*, 65.
22. Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., & Botzen, W. J. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental science & policy*, *47*, 42-52.
23. Tiryaki, M., & Karaca, O. (2018). Flood susceptibility mapping using GIS and multicriteria decision analysis: Saricay-Çanakkale (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, *11*(14), 364.
24. Mishra, K., & Sinha, R. (2020). Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. *Geomorphology*, *350*, 106861.
25. Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Erpicum, S., Pirotton, M., Dewals, B., & Teller, J. (2018). Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments. *Journal of environmental management*, *225*, 193-204.
26. Nga, P. H., Takara, K., & Van, N. C. (2018). Integrated approach to analyze the total flood risk for agriculture: The significance of intangible damages–A case study in Central Vietnam. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *31*, 862-872.
27. Oubennaceur, K., Chokmani, K., Nastev, M., Lhissou, R., & El Alem, A. (2019). Flood risk mapping for direct damage to residential buildings in Quebec, Canada. *International journal of disaster risk reduction*, *33*, 44-54.
28. Prudent, N., Houghton, A., & Luber, G. (2016). Assessing climate change and health vulnerability at the local level: Travis County, Texas. *Disasters*, *40*(4), 740-752.
29. Patra, J. P., Kumar, R., & Mani, P. (2016). Combined fluvial and pluvial flood inundation modelling for a project site. *Procedia Technology*, *24*, 93-100.
30. Ramezanzadelasbooi, M., & Badri, A. (2014). Explaining the socio-economic structures of resilience of local communities against natural disasters with an emphasis on floods, a case study: the tourism basins of Kileh Tankabon spring and Sardabroud Kalardasht. *Geography*, *12*(40), 109-131.
31. Ruiz Pérez, M. (2011). Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe: una aproximación desde la geografía del riesgo.
32. Eiser, J. R., Bostrom, A., Burton, I., Johnston, D. M., McClure, J., Paton, D., ... & White, M. P. (2012). Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards. *International journal of disaster risk reduction*, *1*, 5-16.

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]

33. Saffari, A., Mohammadi, S., Ahmadabadi, A., & Darabi, S. (2023). Adaptive flood zoning in Cheshmekile watershed, Tenkabon. *Hydrogeomorphology*, *9*(33), 147-127.
34. Thielen, J., Bartholmes, J., Ramos, M. H., & De Roo, A. (2009). The European flood alert system–part 1: concept and development. *Hydrology and Earth System Sciences*, *13*(2), 125-140.
35. Tascón-González, L., Ferrer-Julià, M., Ruiz, M., & García-Meléndez, E. (2020). Social vulnerability assessment for flood risk analysis. *Water*, *12*(2), 558.
36. UNDRO. Natural Disasters and Vulnerability Analysis; Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator: Geneva, Switzerland, (1980); p. 53.
37. Pashtovan H, Arab, D., R., Rajabi M. (2010). Urban flood risk management; Translated by Hashtjin. (In Persian).
38. Vargas González, J. E. (2002). *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales*. Cepal.
39. https://scholar.conference.ac:443/index.php/download/file/6681-Prioritize-suppliers-in-the-supply-chain-green. (In Persian).

[DOI: 10.61186/jeer.14.1.121]