



Flood Hazard and Vulnerability Analysis at Drainage Networks, Casae Study of Shuaibieh Plain

Minoo Jamshidzadeh¹ | Sanaz Bambeichi² | Atefeh Parvaresh Rizi³

1. Department of Irrigation & Development Engineering, Water & soil Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: m.jamshidzadeh@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Engineering faculty, Islamic Azad University-North Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: s.bambeichi@iau-tnb.ac.ir
3. Department of Irrigation & Development Engineering, Water & soil Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: parvarsh@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 11 July 2023

Received in revised form

5 September 2023

Accepted 1 October 2023

Published online 17 January 2024

Keywords:

AHP

Coping Capacity

Damage

Flood Hazard Map

Flood Vulnerability map

2D-model

ABSTRACT

Flood is one of the most terrible natural disasters in the world, flood damages leave long-term damages in various sectors, especially agriculture. Hazard analysis and vulnerability assessment is one of the primary steps in flood disaster management. Although such studies less done in irrigation networks. In this research, hazard analysis and vulnerability assessment has been done for the irrigation network in the east of Shuaibieh plain. It is an important irrigation project of Khuzestan province, and its flood will cause irreparable damages to the farmers and residents. For this purpose, hydraulic simulation has been done in Hec-Ras-2D and for 25, 50, 100 and 200 years return periods. The extent, inundation depth and flood velocity were extracted from the model. Using the model outputs and with the aim of existing standards, flood hazard maps have been drawn. According to these maps, for each flood with a return period greater than 50 years, more than 50 percent of the Shuaibieh plain is at unsafe level for all people and structures. By using the prepared questionnaires from 42 local farmers and irrigation network operators, various vulnerability indexes (economic, social, environmental, resilience, and flood magnitude) were estimated and by Analytic Hierarchy Process of them, the vulnerability was assessed. Finally, with superposition of each vulnerability index map, the total vulnerability map of the plain against floods was drawn. The highest and lowest levels of vulnerability are related to coping capacity index with 33.7 percent and social index with 9.6 percent, respectively.

Cite this article: Jamshidzadeh, M., Bambeichi, S., & Parvaresh Rizi, A. (2024). Flood Hazard and Vulnerability Analysis at Drainage Networks, Casae Study of Shuaibieh Plain. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (4), 1035-1052. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.362125.1088>



تحلیل خطر و آسیب‌پذیری در برابر سیل در شبکه‌های آبیاری، مورد کاوی دشت شعبیه

مینو جمشیدزاده^۱ | ساناز بمبئی چی^۲ | عاطفه پرورش‌ریزی^۳

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.jamshidzadeh@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: s.bambeichi@iau-tmb.ac.ir
۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: parvarsh@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

کلیدواژه‌ها:

تحلیل سلسله‌مراتبی

توان مقابله و بهبود

خسارت

مدل دویبعندی

نقشه آسیب‌پذیری سیل

نقشه خطر سیل

سیل یکی از مهیب‌ترین بلایای طبیعی در جهان محسوب می‌شود و هائیکسارت ناشی از آن در بخش‌های مختلف به‌ویژه کشاورزی تأثیرات نامطلوب درازمدتی به‌جا می‌گذارد. تعیین مناطق تحت خطر و ارزیابی آسیب‌پذیری آن‌ها از گام‌های اساسی در اقدامات سازه‌ای و مدیریتی مقابله با سیلاب محسوب می‌شود. چنین مطالعاتی کم‌تر در شبکه‌های آبیاری انجام شده است. در این پژوهش تحلیل خطر و ارزیابی آسیب‌پذیری برای شبکه آبیاری شرق دشت شعبیه انجام شده که از طرح‌های مهم استان خوزستان است و رخداد سیل در آن خسارت‌های جبران‌ناپذیری برای کشاورزان و ساکنین منطقه به‌وجود می‌آورد. بدین منظور از شبیه‌سازی هیدرولیکی توسط مدل دویبعندی Hec-Ras استفاده شده و برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله پهنه، عمق آب‌گرفتگی و سرعت سیلاب به‌عنوان مشخصات جریان از مدل استخراج شده‌اند. این مشخصات توسط روش ارائه‌شده در استاندارد موجود تبدیل به نقشه خطر سیل در شبکه آبیاری شدند. براساس این نقشه‌ها به‌ازای سیل با دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر از ۵۰ ساله بالغ بر ۵۰ درصد دشت شعبیه در سطح نایمن برای کلیه افراد و سازه‌ها قرار می‌گیرد. با استفاده از پرسش‌نامه‌های تهیه‌شده و براساس اظهارات ۴۲ کشاورز محلی و بهره‌برداران شبکه، شاخص‌های مختلف آسیب‌پذیری (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، توان مقابله و بهبود، و بزرگی سیل) برآورد و با انجام تحلیل سلسله‌مراتبی، ارزیابی شبکه انجام شد. با برهم‌نهی نقشه‌های مربوط به هر یک از شاخص‌ها، نقشه آسیب‌پذیری کل شبکه در برابر سیل ترسیم گردید. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آسیب‌پذیری به‌ترتیب مربوط به توان مقابله و بهبود با ۳۳/۷ درصد و شاخص اجتماعی با ۹/۶ درصد است.

استناد: جمشیدزاده، مینو؛ بمبئی چی، ساناز و پرورش‌ریزی، عاطفه (۱۴۰۲). تحلیل خطر و آسیب‌پذیری در برابر سیل در شبکه‌های آبیاری، مورد کاوی دشت شعبیه. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۴)، ۱۰۵۲-۱۰۳۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.362125.1088>



۱. مقدمه

سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که براساس گزارش پایگاه داده بین‌المللی مخاطرات و بلایای طبیعی، در کنار زلزله و خشکسالی بالاترین رتبه را از لحاظ خسارات مالی و جانی به‌همراه دارد (Guha-Sapir et al., 2016). در ایران نیز خسارت‌های ناشی از سیلاب آمار قابل توجهی داشته‌اند. با توجه به سیلاب ویرانگر استان خوزستان در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸، پیش‌بینی تبعات سیلاب در این منطقه اهمیت زیادی دارد. در این سیلاب بیش‌تر مناطق حاشیه رودخانه‌های دز و کرخه درگیر سیلاب شدند (Karami, 2019) و منجر به آب‌گرفتگی وسیع شهرها، روستاها، راه‌ها و اراضی کشاورزی و خسارت زیاد به بخش‌های نفت و انرژی، حمل‌ونقل، صنعت و کشاورزی شد. علت تشدید سیل، عدم اطمینان دست‌اندرکاران مدیریت سیل به پیش‌بینی‌ها و اجرای به‌موقع اقدامات کنترل سیل و استفاده از کلیه قابلیت‌ها برای مهار آن بود. لذا تشکیل یک نظام‌نامه مدیریت سیل، توجه به اقدامات آبخیزداری و اصول مهندسی رودخانه‌زیستی، طراحی اصولی سازه‌های تقاطعی، بازسازی و احیای تالاب‌های طبیعی، رفع تجاوزها و ... از اقدامات ضروری برای کنترل سیل است (Rajabizadeh et al., 2019).

مدیریت یکپارچه سیلاب^۱ که شامل تلفیق اقدامات مدیریتی و سازه‌ای در محدوده حوضه آبخیز می‌باشد از اقدامات مؤثر در کاهش خسارت‌های سیل است. اولین گام در این راستا تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، ناحیه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری در برابر سیل است. طبق تعریف خطرپذیری یا ریسک سیلاب، حاصل ضرب سه عامل بزرگی سیل، در معرض خطر بودن و میزان آسیب‌پذیری جامعه مربوطه است. لذا علاوه بر توجه به بزرگی سیل لازم است تا اثر دو عامل دیگر نیز در نظر گرفته شود. بحث تحلیل خطر و مدیریت سیلاب تنها به رودخانه‌ها محدود نمی‌شود و لزوم انجام این مطالعات در شبکه‌های آبیاری نیز محرز است. عوامل مختلفی مانند عدم طراحی دقیق سازه‌های سیل‌بند و عدم آمادگی مقابله با سیلاب منجر به افزایش خسارت‌های سیل در شبکه‌های آبیاری می‌شود.

اولین نقشه‌های سیلاب در دنیا به‌صورت نقشه‌های پهنه سیل‌گیر در دهه‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ تهیه شد، اما در این نقشه‌ها پارامترهای دیگر مانند سرعت و عمق جریان ملاک طبقه‌بندی خطر قرار نگرفت. تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری از سال ۲۰۰۲ در اروپا به‌طور جدی آغاز شد. آسیب‌پذیری از ویژگی‌های یک جامعه یا یک منطقه است که توانایی پیش‌بینی حوادث، مقابله با آن‌ها و ظرفیت بهبود شرایط پس از وقوع یک حادثه را تعیین می‌کند (Nasiri et al., 2016). هر چقدر ارزیابی آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر سیلاب دقیق‌تر صورت پذیرد، ارائه راه‌کارهای مقابله با سیل و کاهش خسارت‌های آن با کیفیت بیش‌تری انجام می‌پذیرد (Afsous et al., 2020).

Ogato et al. (2020) در پژوهشی به تحلیل خطر سیل با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ در یک حوضه آبخیز در ایتالیای پرداخته‌اند. کاربری، پوشش زمین، ارتفاع، شیب، زهکشی، خاک و بارندگی به‌عنوان عوامل اصلی در تحلیل خطر سیل وارد شده‌اند. هم‌چنین تحلیل آسیب‌پذیری سیلاب با استفاده از لایه خطر سیل و دو المان در معرض ریسک، یعنی جمعیت انسانی و کاربری زمین انجام شده و روش ترکیب خطی وزنی^۳ در فرایند تهیه نقشه‌های خطر و آسیب‌پذیری استفاده شده است. نتیجه نقشه‌های خطر نشان داد که بخش عمده حوضه آبریز (۶۰/۵۸ درصد) در ناحیه خطر سیل زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد و نتیجه نقشه‌های آسیب‌پذیری مشخص کرد که بخش زیادی از حوضه (۴۱/۷۶ درصد) در ناحیه با ریسک زیاد و خیلی زیاد است.

Rincón et al. (2018) نقشه‌های خطر سیل را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۴ و تصمیم‌گیری چندمعیاره^۵ در کانادا تهیه نموده‌اند. علاوه بر آن، آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی نیز برای تعیین آسیب‌پذیری کل ارزیابی شده است. خطر سیل با استفاده از مدل دوبردی هکرس به‌دست آمده و برای برآورد آسیب‌پذیری اقتصادی، کاربری اراضی و ارزش دارایی‌ها به‌همراه توابع عمق-خسارت استفاده شده‌اند. آسیب‌پذیری اجتماعی نیز براساس نقشه تراکم جمعیت و محل سالمندان،

کودکان، مدارس و بیمارستان‌ها برآورد شده است. ابتدا نقشه‌های خطر سیل تولید شده‌اند، سپس با افزودن لایه‌های آسیب‌پذیری اقتصادی و اجتماعی نقشه‌های خطرپذیری به‌ازای سناریوهای مختلف ایجاد شده‌اند. افزودن آسیب‌پذیری باعث می‌شود که نقشه‌ها شرایط واقعی‌تری را نمایش دهند تا تصمیمات بهتری برای کنترل سیل اتخاذ شود.

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که با وجود مطالعات زیادی که در خصوص پهنه‌بندی سیلاب و نقشه‌های خطر سیل در رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز انجام شده، تاکنون به موضوع ارزیابی خطر و آسیب‌پذیری شبکه‌های آبیاری در برابر سیل پرداخته نشده است. لذا در این پژوهش سعی شده است تا با توجه به اهمیت موضوع، به تحلیل خطر سیل و ارزیابی آسیب‌پذیری در این شبکه‌ها پرداخته شده و نقشه‌های مربوطه در یک شبکه آبیاری ترسیم شوند. این نقشه‌ها به‌عنوان پیش‌نیاز اقدامات مدیریت سیل می‌توانند مورد استفاده مسئولین و کلیه بهره‌برداران شبکه قرار گیرند. براساس متدولوژی پژوهش، از استانداردها و تجربیات مشابه موجود برای برآورد خطر سیل، آسیب‌پذیری و روش تحلیل سلسله‌مراتبی که مربوط به رودخانه‌ها و بعضاً حوضه‌های شهری بوده، با همانندسازی در شبکه آبیاری استفاده شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. متدولوژی تحقیق

در این پژوهش با استناد به استاندارد تهیه نقشه‌های خطر سیل در ایران، شبکه آبیاری شعبیه مورد کاوی شده و آسیب‌پذیری آن در برابر سیل ارزیابی گردیده است. نقشه‌های خطر سیل انواع مختلفی دارند که براساس نوع منتخب لازم است اطلاعات موردنیاز آن در منطقه مطالعاتی تهیه و یا مدل‌سازی شوند. اجزا و مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل به‌طور کلی مطابق روندنمای شکل (۱) می‌باشد همان‌طور که مشاهده می‌شود، پس از جمع‌آوری اطلاعات، با روش‌های مختلفی می‌توان پارامترهای خطر سیل را برآورد نمود و نقشه‌های متنوعی برای نمایش خطر سیل وجود دارد. در این پژوهش از روش مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده شده و مراحلی که برای تحلیل خطر و تهیه نقشه‌ها طی شده با کادر قرمز رنگ در شکل (۱) مشخص شده‌اند. برای ناحیه‌بندی خطر سیل، روش‌های متعددی وجود دارد (Afsous *et al.*, 2020). در این پژوهش از روش استرالیایی استفاده شده که ترکیبی از دو پارامتر اصلی جریان (حاصل ضرب عمق در سرعت) را به‌عنوان معیاری برای ارزیابی خطر سیل در نظر گرفته و براساس آن شش سطح خطر مطابق شکل (۲) تعریف می‌کند (Australian Disaster Resilience Handbook, 2017). ترکیب‌های دیگری از پارامترهای جریان را نیز می‌توان با توجه به استانداردهای موجود در نظر گرفت.

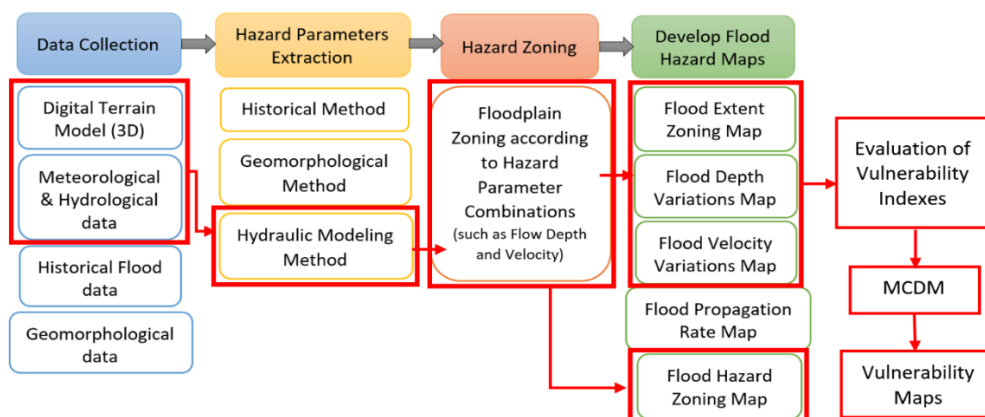


Figure 1. Components and steps of Flood Hazard Map Preparation and this study approach

در مرحله بعد، برای تعیین آسیب‌پذیری، می‌توان از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمود، بدین ترتیب که نقش عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری یک منطقه یا جامعه لحاظ می‌گردد و پس از انتخاب معیارها، به هر یک از آن‌ها با توجه به میزان تأثیر وزن داده می‌شود (Rashetnia, 2016). با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده در خصوص مسائل اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، و توان مقابله و بهبود، می‌توان آسیب‌پذیری منطقه را برآورد نمود. سپس با تقسیم‌بندی منطقه مطالعاتی به محدوده‌های کوچک‌تر، سطح آسیب‌پذیری براساس شاخص‌های تعیین شده مشخص و نقشه‌های آسیب‌پذیری ترسیم می‌گردند. در این پژوهش، به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری، پرسش‌نامه‌هایی با پنج معیار (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، توان مقابله و بهبود و بزرگی سیل) و در دو حالت، برای کشاورزان و بهره‌برداران تهیه شدند. سپس نتایج پرسش‌نامه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین آسیب‌پذیری کل تحلیل شدند. نقشه‌های آسیب‌پذیری برای هر یک از شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و توان مقابله و بهبود به‌طور جداگانه ترسیم شدند و در نهایت با برهم‌نهی چهار لایه مختلف آسیب‌پذیری در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه آسیب‌پذیری کل برای شبکه آبیاری شعیبیه به‌دست آمد.

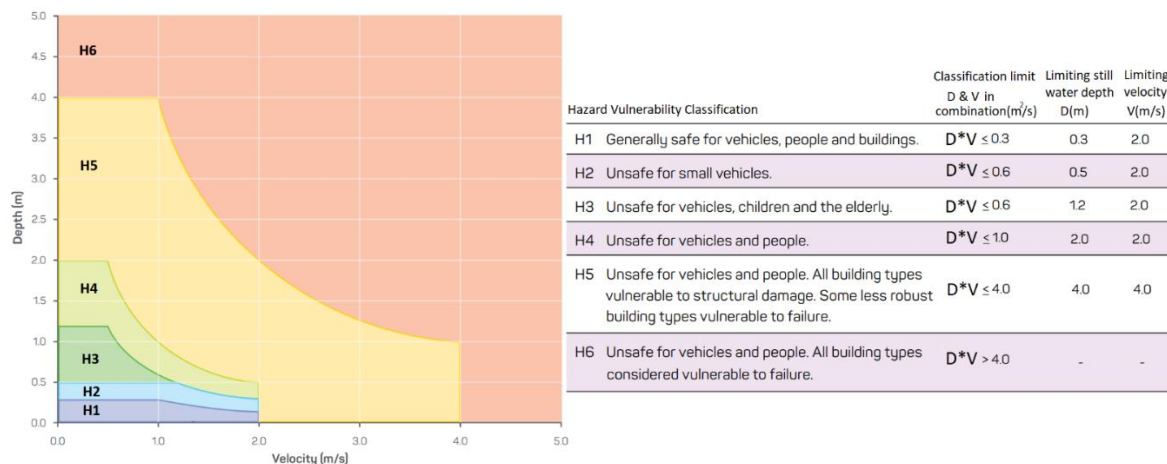


Figure 2. General flood hazard vulnerability curves (Australian Disaster Resilience Handbook, 2017)

۲.۲. منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان از دیرباز درگیر سیلاب‌های بزرگ با خسارت‌های قابل توجه بوده است. در بهمن‌ماه ۱۳۵۸ طغیان رودخانه‌های مارون، کارون و کرخه در شهرهای مسجدسلیمان، شوشتر، اهواز و سوسنگرد منجر به خسارت شد و سد قدیمی گتوند بر اثر سیل کاملاً تخریب شد. در آبان ۱۳۹۰ سیلاب شهر بهبهان را فرا گرفت، ۱۳ نفر طعمه سیلاب شدند و ۵۵ میلیارد تومان خسارت مالی به بار آورد. سیلاب ویرانگر در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸، در پی بارندگی شدید، گسترده و هم‌زمان در حوضه‌ها به‌وجود آمد و طبق گزارش‌ها، حداقل از ده روز قبل از وقوع، قابل پیش‌بینی بود (Rajabizadeh et al., 2019). این سیلاب به‌علت مد دریا و ورود آن به رودخانه و طغیان نهرها رخ داده بود. در پی رهاسازی آب سدهای کرخه و دز، حجم آب رودخانه کارون در پایین‌دست به‌شدت افزایش یافت (Karami, 2019).

در فروردین‌ماه ۱۳۹۸، بیشینه‌شدن دبی خروجی از سد کرخه سبب شد که دبی عبوری رودخانه در ایستگاه پای پل به مقدار بیشینه ۲۰۹۸ مترمکعب بر ثانیه برسد. حداکثر دبی تخلیه روزانه سد دز برابر با ۳۲۲۸ مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاد که با توجه به رهاسازی جریان با دبی ۱۴۳۸ مترمکعب بر ثانیه از سد گتوند، در مجموع جریان ۴۶۶۶ مترمکعب بر ثانیه

برای پایین دست رها شد که برای عموم شایان توجه بود. سیل بند قسمت غربی مسیر ۳۶ روستای شعبیه و گوریه شکست. خروجی سد دز به ۱۷۲۶ مترمکعب بر ثانیه رسید. با افزایش دبی خروجی گتوند به مقدار ۱۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه، در شاخه شطیط مناطق روستایی دچار آب گرفتگی شدند. دبی کارون بزرگ به ۲۹۳۵ مترمکعب بر ثانیه رسید و روستای سید سلمان زیر آب رفت (Special committee of National Flood Report, 2020).

۳۷ روستای بخش شعبیه شوشتر گرفتار سیلاب شدند و شبکه آب در این روستاها قطع شد. به علت نفوذ آب در تأسیسات علاوه بر خسارت، امکان وصل نمودن تأسیسات آبرسانی نبود و با تانکر به مردم منطقه آبرسانی شد. هم چنین برای بازگشت مردم به زندگی، نیاز به نوسازی و بازسازی منازل بود. میزان خسارت های وارد شده به کانال های آبیاری و زهکشی و ایستگاه های پمپاژ در حال ۱۲/۵ میلیارد تومان برآورد شد. شبکه های آبیاری و زهکشی شعبیه شوشتر، ایستگاه پمپاژ شمال آبادان، شبکه های آبیاری هندیجان و ... از جمله پروژه های مهمی بودند که در اثر سیلاب خوزستان دچار خسارت شدند.

با توجه به موارد ذکر شده، بررسی سیلاب و جوانب مختلف آن در این منطقه اهمیت زیادی دارد. شبکه آبیاری و زهکشی شرق دشت شعبیه در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی یکی از طرح های آبیاری روباز، دشت بزرگ کارون و در منطقه ای به وسعت ۱۰۰۰۰ هکتار بین روخانه شطیط (کارون) و دز و اراضی تپه ماهوری جنوب شهر شوشتر است (شکل ۳). رخداد سیل در این شبکه خسارت های جبران ناپذیری برای کشاورزان و ساکنین منطقه به وجود می آورد. مهم ترین روستاهای این منطقه مهدیه سیدعنایت، مگرنات دو و سه، عبدلی، زویه یک و دو، ابوگرینه یک و دو، چم الحمید و چنیبیه است. عمده راه ارتباطی منطقه از شهرستان شوشتر و بخش گوریه است و از طریق دو سکوی شناور نیز با جاده اصلی اهواز- شوشتر ارتباط برقرار می کند. اجزای این شبکه شامل ایستگاه پمپاژ، کانال اصلی، کانال های درجه دو، سه و چهار، جاده ارتباطی، ابنیه فنی و سازه های هیدرومکانیکال است. طول کانال اصلی ۲۱/۸۵ کیلومتر و حداکثر ظرفیت آن ۸/۵۸ مترمکعب بر ثانیه است.

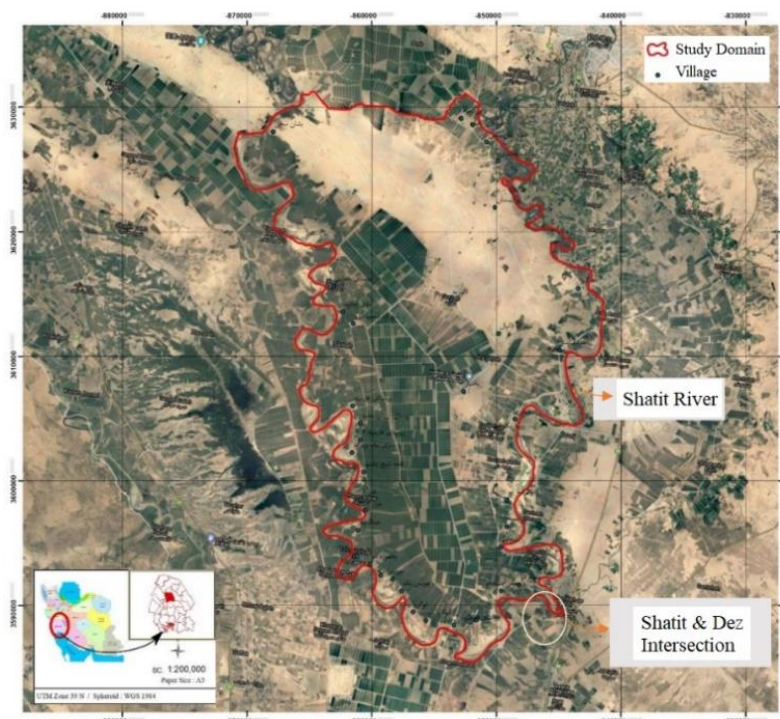


Figure 3. Study Domain

ابنیه فنی روی این کانال شامل ۱۴ آبگیر، پنج سرریز جانبی و هرز آبرو، پنج پل، هشت پل عابر پیاده و چهار شست و شوگاه و تعدادی زیرگذر موقت انهار است. کانال های درجه دو با مجموع طول ۲۱ کیلومتر و کانال های درجه سه با مجموع طول ۱۲۸ کیلومتر آبرسانی به شبکه را انجام می دهند. کانال های درجه چهار به طور مستقیم قطعات زراعی را آبیاری می کنند. این شبکه دارای زهکش اصلی (با ۱۴ کیلومتر طول و ۲۸ متر مکعب ظرفیت)، زهکش SD و ابنیه فنی است. عمده اراضی شرق شعیبیه زیر کشت آبی هستند برخلاف گذشته که دیم بودند. الگوی کشت پیشنهادی در طرح توسعه شعیبیه عبارتست از ۳۵/۷ درصد گندم، ۱۸/۵ درصد ذرت علوفه ای، ۲۳ درصد جو، ۶/۶ درصد به ازای هر یک از محصولات باقلا، یونجه و گوجه فرنگی، ۵ درصد برای هر یک از محصولات هندوانه و خیار و سه درصد باغات میوه. شعیبیه جزو مناطق گرمسیر ایران با حرارت حداکثر ۵۱ و حداقل ۷- درجه سانتی گراد و متوسط سالانه بارندگی ۲۴۱ میلی متر است. پارامترهای هواشناسی از ایستگاه های سینوپتیک شوشتر و اهواز برداشت شده که متوسط بارندگی سالانه آن ها در دوره آماری ۴۷ ساله، به ترتیب ۲۲۶/۷ و ۳۱۸/۷ میلی متر است. حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت های دو، پنج و ۱۰ ساله به ترتیب در اهواز ۳۷/۷، ۵۷/۳ و ۷۰/۲ میلی متر و در شوشتر ۴۵/۹، ۶۵/۹ و ۷۹/۱ میلی متر است.

۳.۲. تحلیل سلسله مراتبی

یکی از روش های پر کاربرد تصمیم گیری چندمعیاره، تحلیل سلسله مراتبی می باشد. این روش علاوه بر رتبه بندی گزینه ها و انتخاب بهترین گزینه برای تصمیم گیری، می تواند برای پیدا کردن اهمیت نسبی شاخص ها و رتبه بندی آن ها از با اهمیت ترین به کم اهمیت ترین مورد استفاده قرار گیرد. لذا در این پژوهش برای تحلیل آسیب پذیری منطقه از آن استفاده شده است. به عبارت دیگر، برای تعیین آسیب پذیری یک منطقه با توجه به تعدد عوامل تأثیرگذار استفاده از رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره این امکان را فراهم می سازد که علاوه بر آسیب پذیری فیزیکی، آسیب پذیری های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی را نیز در نظر گرفت و یک نگرش کلی نسبت به وضعیت منطقه یا کل جامعه مطالعاتی در اختیار تصمیم گیران قرار داد. انتخاب معیارهای تأثیرگذار در هر منطقه با توجه به شرایط آن و توسط چندین گروه کارشناسی و خبره به طور مستقل انجام می شود. به هر یک از معیارها با توجه به میزان تأثیر وزن داده و توسط روش های مختلف تصمیم گیری چندمعیاره مانند روش رتبه ای، روش سلسله مراتبی، روش سلسله مراتبی فازی و ...، تحلیل انجام می شود. در این پژوهش برای تعیین آسیب پذیری پرسش نامه تهیه شده و برای تحلیل نتایج آن ها از روش سلسله مراتبی در نرم افزار اکسپرت چویس^۶ استفاده شده است.

۴.۲. تحلیل خطر سیل و ارزیابی آسیب پذیری شبکه آبیاری

اولین گام برای ارزیابی خطر سیل، شناسایی مناطقی است که دچار سیلاب می شوند. از روش های مطمئن تعیین مناطق سیلابی، مدل سازی هیدرولوژیکی- هیدرولیکی است که با استفاده از آن می توان پهنه سیلاب، عمق و سرعت آب را تعیین نمود. تعیین مدل مناسب اعم از یک بعدی یا دوبعدی و نوع شبیه سازی جریان (ماندگار یا غیرماندگار) به میزان پیچیدگی منطقه و شبکه آبراهه مورد مطالعه بستگی دارد. در گام بعدی، باید پارامترهای مورد نیاز جریان (مانند عمق، سرعت و پهنه سیل) برای ترسیم نقشه های خطر استخراج گردند. سپس با استفاده از روش های موجود و توسط پارامترهای هیدرولیکی مستخرج، میزان خطر سیل در نقاط مختلف منطقه برآورد شده و نقشه خطر برای سطوح مختلف طبق استاندارد ترسیم می گردد. در مرحله بعد، با توجه به اطلاعات جمع آوری شده در خصوص آسیب پذیری، شامل شاخص های اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و توان مقابله و بهبود اقدام به برآورد آسیب پذیری کل در منطقه می شود. سپس سطح آسیب پذیری براساس شاخص های تعیین شده مشخص می گردد و توسط آن انواع نقشه های آسیب پذیری ترسیم می شوند.

۱.۴.۲. داده‌های سیلاب در منطقه و مدل هیدرولیکی

اگرچه برای تخمین سطح آب در رودخانه و شناسایی مناطق آب‌گرفته، مدل‌های یک‌بعدی با الگوی جریان ماندگار مناسب می‌باشند، اما انجام مطالعات سیلاب در مناطق مسطح و نیز برآورد آسیب‌پذیری در شبکه‌های آبیاری نیازمند مدل‌های دوبعدی و تحلیل غیرماندگار است. در این پژوهش از مدل دوبعدی هکرس^۲ استفاده شد که با اجرای این مدل پهنه سیلابی به‌همراه مشخصات متنوعی از عمق تا سرعت و عدد فرود برای هر المان در دشت سیلابی قابل‌استخراج و نمایش است. مراحل مدل‌سازی دوبعدی سیلاب به‌طور خلاصه عبارتست از ۱- تهیه مدل رقومی شبکه آبیاری (شامل شاخه‌های اصلی و فرعی) و المان‌بندی آن، ۲- برآورد مقادیر دبی جهت شبیه‌سازی سیلاب (با دوره بازگشت‌های مختلف)، ۳- شرایط مرزی هیدرولیکی در بالادست و پایین‌دست بازه مطالعاتی، ۴- اجرای مدل دوبعدی، استخراج و تحلیل نتایج مدل (عمق، سرعت و پهنه آب‌گرفتنی به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف)، ۵- تهیه نقشه‌ها.

لذا مدل مورد‌استفاده نیاز به هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف دارد. از این‌رو، آمار سیلاب موجود مربوط به سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۳ در ایستگاه‌های کرخه، کارون (گتوند) و دز با استفاده از نرم‌افزار ایزی‌فیت^۸ مورد تحلیل قرار گرفت. این نرم‌افزار توزیع‌های آماری مختلفی مانند ویبول، لوگ‌پیرسون، گامبل، جانسون و ... را بر داده‌های سیلاب برازش می‌دهد و با استفاده از بهترین توزیع آماری که بر روی داده‌ها فیت می‌شود، دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف را پیش‌بینی می‌نماید. براساس مقادیر دبی برآوردشده (جدول ۱)، هیدروگراف‌های سیلاب به‌طور مصنوعی تولید (شکل ۴) و وارد مدل شدند. پس از اجرای مدل، اطلاعات پهنه آب‌گرفتنی، عمق و سرعت جریان با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله استخراج و برای تهیه نقشه وارد نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی شدند.

Table 1. Discharge (m^3/s) with different return periods for Gotvand, Paye Pol and Dezfol stations

River	Station	Return period							
		2	5	10	25	50	100	200	500
Karoon	Gotvand	1633	2926	3695	4504	4598	5385	5710	6051
Karkheh	Paye Pol	967	2812	3906	5013	5117	6253	6752	7330
Dez	Dezfol	895	1927	2665	3472	3544	4302	4577	4839

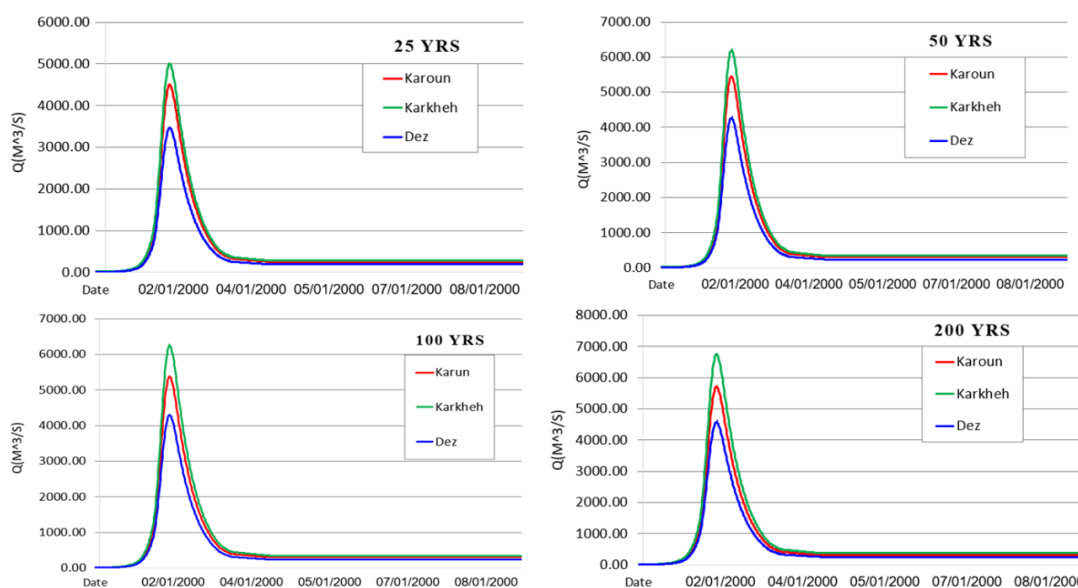


Figure 4. Flow discharge hydrographs at Karoun, Karheh & Dez stations with 25, 50, 100, 200 yrs return periods

۲.۲.۲. شاخص‌های آسیب‌پذیری

ویژگی‌های افراد، دارایی‌ها و سرمایه‌های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، تاریخی و زیست‌محیطی یک جامعه تعیین‌کننده میزان حساسیت و آسیب‌پذیر بودن آن‌ها در برابر وقوع یک بحران و توان بهبود جامعه پس از آن است (Balica et al., 2009). آسیب‌پذیری را به چهار جزء آسیب‌پذیری محیطی یا فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌کند و در عین حال آن را وابسته به سه فاکتور حساسیت، در معرض بودن و انعطاف‌پذیری می‌داند و تمام این مؤلفه‌ها را در شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI)^۹ وارد می‌نماید (رابطه ۱):

$$FVI = \frac{\text{Exposure} * \text{susceptibility}}{\text{Resilience}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

قابلیت آسیب‌پذیری (حساسیت)^{۱۰}، استعداد بروز خسارت در یک منطقه است و مواردی از قبیل کیفیت پیش‌بینی، اطلاع‌رسانی و آمادگی پیش از وقوع سیل، اقدامات انجام‌شده در راستای کاهش اثرات سیل، شرایط مسیرهای ترافیکی برای فرار، سطح آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و کاربری موجود در معرض سیل را شامل می‌شود. تاب‌آوری (انعطاف‌پذیری)^{۱۱}، عموماً در مناطقی وجود دارد که پیش از این سابقه سیلاب داشته‌اند و شرایط و امکانات منطقه متناسب با سیلاب برنامه‌ریزی شده است.

۳.۲.۲. تهیه نقشه‌های خطر سیل

مراحل لازم برای تهیه نقشه‌های خطر سیل عبارتند از ۱- جمع‌آوری آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری، تهیه نقشه‌های توپوگرافی رودخانه، اطلاعات حوضه آبریز، آثار و شواهد سیلاب‌های رخ داده و جستجو در اسناد و مدارک گذشته رودخانه، ۲- استخراج پارامترهای هیدرولیکی جریان از جمله پهنه‌بندی، سرعت و عمق جریان و یا سرعت پخش سیل؛ بدین منظور با توجه به دقت موردنیاز یکی از روش‌های تعیین خطر سیل مانند روش تاریخی، روش ژئومورفولوژیکی یا روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی انتخاب می‌شود، ۳- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، تغییرات سرعت و عمق جریان و نقشه سرعت پخش سیل. همچنین به منظور تهیه نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل، منطقه موردبررسی به ناحیه‌های مختلف تقسیم شده و نقشه موردنظر برای سطوح مختلف خطر سیل تهیه می‌شود.

همان‌طور که گفته شد روش‌های متعددی برای ناحیه‌بندی خطر سیل وجود دارد. در این پژوهش از روش استرالیایی استفاده شده که حاصل ضرب دو پارامتر اصلی جریان (عمق و سرعت) را به‌عنوان معیاری برای ارزیابی خطر سیل در نظر می‌گیرد. زیرا بالاترین میزان خطر لزوماً در اوج هیدروگراف سیل اتفاق نمی‌افتد، بلکه ممکن است در ترکیبی از دو پارامتر عمق و سرعت جریان روی دهد. از سوی دیگر عامل خطر و آسیب‌پذیری برای انسان‌ها و محصولات کشاورزی در واقع ترکیبی از این دو پارامتر است.

۴.۲.۲. برآورد آسیب‌پذیری شبکه آبیاری در برابر سیل

به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری در این پژوهش پرسش‌نامه تهیه شد. جامعه آماری شامل ۸۰۰ خانوار با ۵۰۰۰ نفر است. حدود ۴۰ درصد مردم منطقه مشغول به کشاورزی هستند، که براساس فرمول کوکران^{۱۲} (Nanjundeswaraswamy et al., 2021) از ۳۲۰ نفر سرپرست خانوار (کشاورز)، به ۱۷۰ نفر نیاز است. این پرسش‌نامه در هر آبادی با توجه به نظرات نماینده کشاورزان توسط ۴۲ نفر در منطقه شعبیه تکمیل شده است. به‌منظور تحلیل نتایج پرسش‌نامه‌ها در این پژوهش از روش سلسله‌مراتبی استفاده شده است که در محاسبه آسیب‌پذیری بسیار کاربرد دارد. پرسش‌نامه تهیه‌شده در این پژوهش دارای پنج معیار (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، توان مقابله و بهبود، و بزرگی سیل) است که در دو حالت، برای کشاورزان (جدول ۲) و بهره‌برداران (جدول ۳) تهیه شده است.

Table 2. Questionnaire prepared for farmer

Question	Always	Often	Average	Sometimes	At all
1-How many times floods enter agricultural lands at each crop year?					
2-In the recent floods, how much land destruction and loss of agricultural soil occurred?					
3-In the floods that occur, How much agricultural products has been destroyed?					
4-In the previous floods, how much water rose on the agricultural lands ?					
5-How much was the sediments brought to agricultural lands due to floods?					
6-What was the extent of damage to streams and water catchments and irrigation equipment due to flood?					
7- Before the flood, how much did the authorities warn the farmers about it? (For example, announcing the evacuation of the area or quick harvesting of products, etc.)					
8-How many temporary measures did the officials take to reduce flood damage, before the flood? (For example, creating temporary flood dams that cause less damage to the area)					
9-How much did the officials of the irrigation network help and participate in compensating for the flood damages? (Such as damage to products, restoration of streams and canals and structures, sediment discharge, etc.)					
10-How much has been done to prevent flooding in the future? (Such as the construction of a dam or a retaining wall to prevent flooding in the area)					
11-To what extent have the insurers participated in the compensation of flood damages?					
12-Has the flood directly enter your farmland ?					
13-Has the sediment brought by the flood made the land fertile?					
14-How long did it take for the fields to be ready for agriculture again after the flood?					
15- How long did it take to rebuild and prepare the canals and streams of the irrigation network after the flood ?					
16-Did many people lost their farming jobs due to flooding?					
Which produces are more resistant to flooding and vice versa which produces are less?					

Table 3. Questionnaire prepared for operators of irrigation network

Question	Always	Often	Average	Sometimes	At all
1- How much preparation is there in the management system to deal with floods, mentally and in terms of facilities and support?					
2- What has been the intensity of the floods that have entered the network and caused damage in the last Δ years?					
3- How much was the destruction of the land and the destruction of the agricultural soil, in the recent floods?					
4- What was the amount of loss of agricultural products in the floods that occur?					
5- What was the extent of damage to streams, water catchments, and irrigation equipment due to floods?					
6- What extent has the insurance contributed to compensation?					
7- How long did it take until the irrigation channels and streams were restored and ready for operation, after the flood?					
8- What are the methods of flood control in the irrigation area network(structural non-structural methods /)					
9- What temporary measures were taken to reduce the flood damage, and to what extent were farmers informed and warned about the risk of flooding, before the flood?					
10- What was the damage that the flood caused to the irrigation network?					
11- How is the method of damage assessment calculated?					
12- What was the method of compensation for damages (including: dredging, repair of irrigation network, human damages, damage to agricultural products?) What source was the budget provided?					
13- What was the opinion and reaction of the people regarding the response of the officials to the flood? Has there been a rally or protest? Have their opinions and demands been conveyed to the officials at higher levels?					

۳. نتایج و بحث

۳.۱. نتایج مدل دوبعدی جریان شبکه آبیاری دشت شعیبیه

هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵ تا ۲۰۰ ساله به‌عنوان شرط مرزی در موقعیت سدهای دز، کرخه و کارون در شبکه و در پایین‌دست این سازه‌ها به‌صورت جریان غیردائمی به مدل دوبعدی معرفی شدند، مدل برای شرایط غیرماندگار و با معادلات موج دینامیک اجرا شد. نتایج مدل به‌صورت پهنه سیلابی به‌همراه مشخصات متنوعی از عمق تا سرعت برای هر المان قابل استخراج و نمایش است. نقشه‌های آب‌گرفتگی و سرعت جریان که به‌صورت رستر^{۱۳} می‌باشند، برای دوره بازگشت‌های مختلف در شکل‌های (۵) و (۶) آمده‌اند.

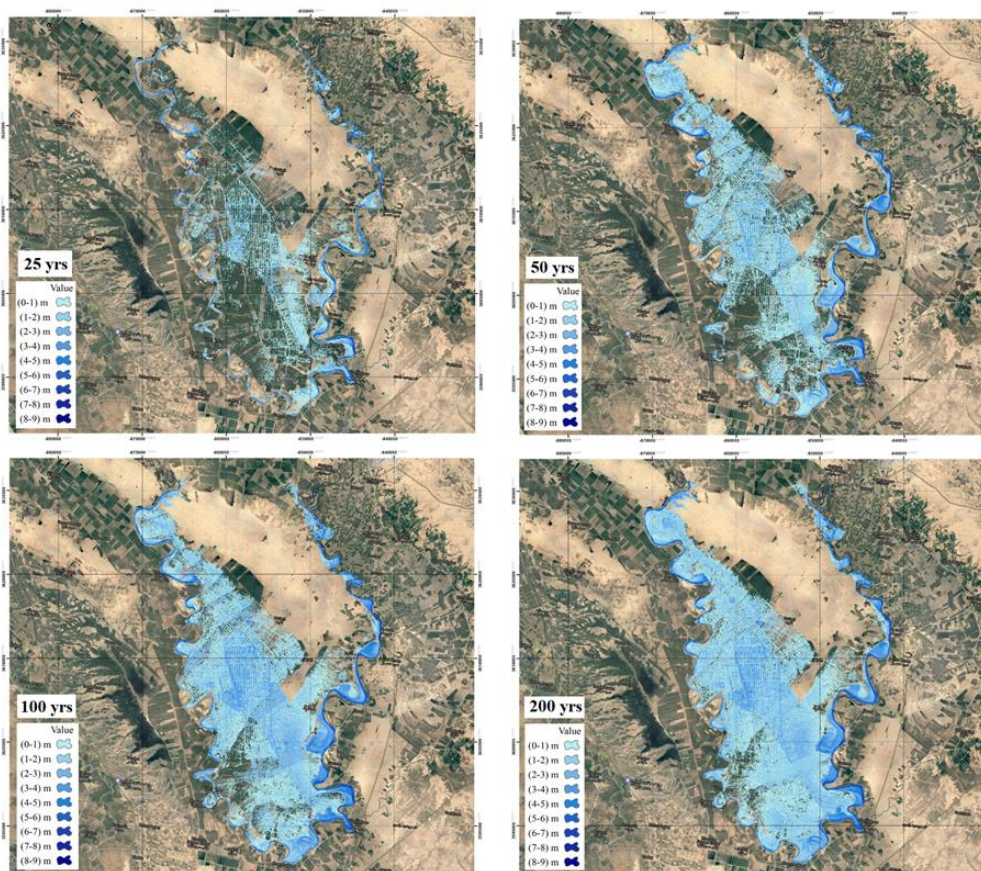


Figure 5. Inundation Maps for 25, 50, 100, 200 return periods-Shoebiye Irrigation Network

پس از شبیه‌سازی شبکه آبیاری عمق آب در نقاط مختلف آن به‌دست آمد، از مقایسه عمق آب با ارتفاع سازه‌های موجود، تعداد سازه‌هایی که دچار سیلاب شده‌اند (جدول ۴)، مشخص شد. مساحت پهنه سیلابی با استفاده از نقشه آب‌گرفتگی در GIS به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد (جدول ۵). سرعت سیل (شکل ۶) با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد و از روی شاخص سرعت مشخص شد که سرعت در زمین‌های کشاورزی به سمت صفر میل می‌کند. لذا می‌توان گفت سیلاب در زمین‌های کشاورزی به حالت ماندابی است و نمی‌تواند به راحتی خارج شود. مدت زمان آب‌گرفتگی مزارع سبب آسیب به محصولات و شبکه آبیاری می‌شود و سیستم را از کار می‌اندازد.

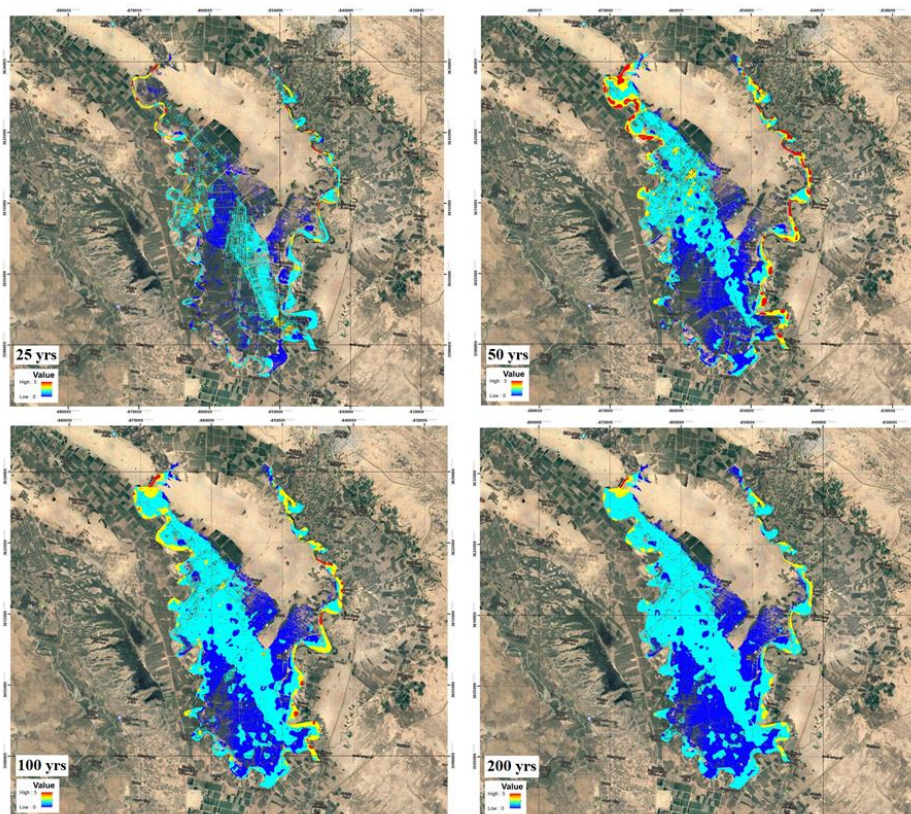


Figure 6. Current Velocity Maps for 25, 50, 100, 200 return periods-Shoebiye Irrigation Network

Table 4. Flooded Structures per different return periods

Return Period	Drainage	Canal	Dyke	Sluice	Partial Flume	Bridge	Pedstrain Bridge
25	21	31	14	35	0	0	0
50	21	31	16	37	5	4	6
100	21	50	20	41	11	8	11
200	21	50	22	46	11	8	11

Table 5. Percent of inundation area per different return periods

No	Return Period	Study Domain Area	Inundation Area	Percent of Inundation	Damage Percent
1	25	763.48	155	20.35	14.24
2	50		299	39.29	27.5
3	100		379	49.65	34.75
4	200		415	54.35	38.04

۲.۳. ترسیم نقشه‌های خطر سیل

براساس مطالب بحث‌شده، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های خطر سیل حاصل ضرب سرعت در عمق جریان است که مطابق روش استرالیایی، این مقدار برای تعیین میزان خطر استفاده شد. با توجه به مدل‌سازی دوبعدی جریان، کمیت $V \times D$ در هر المان مدل براساس مش‌بندی انجام‌شده محاسبه می‌شود که حاصل آن یک رستر است. با کلاس‌بندی این رستر به محدوده‌های عددی مطابق شکل (۲) نقشه‌های خطر سیل برای شبکه آبیاری به‌ازای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف ترسیم شد (شکل ۷). جدول (۶) نیز مقادیر شاخص خطر (متوسط گیری‌شده در سطح حوضه) را به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف سیل ارائه می‌دهد.

Table 6. Hazard Index $D*V$ for different return periods

Return Period	D (m)	V (m/s)	$D*V$ (m^2/s)
25	0.47	0.06	0.03
50	0.95	0.24	0.23
100	1.45	0.27	0.40
200	1.72	0.29	0.50

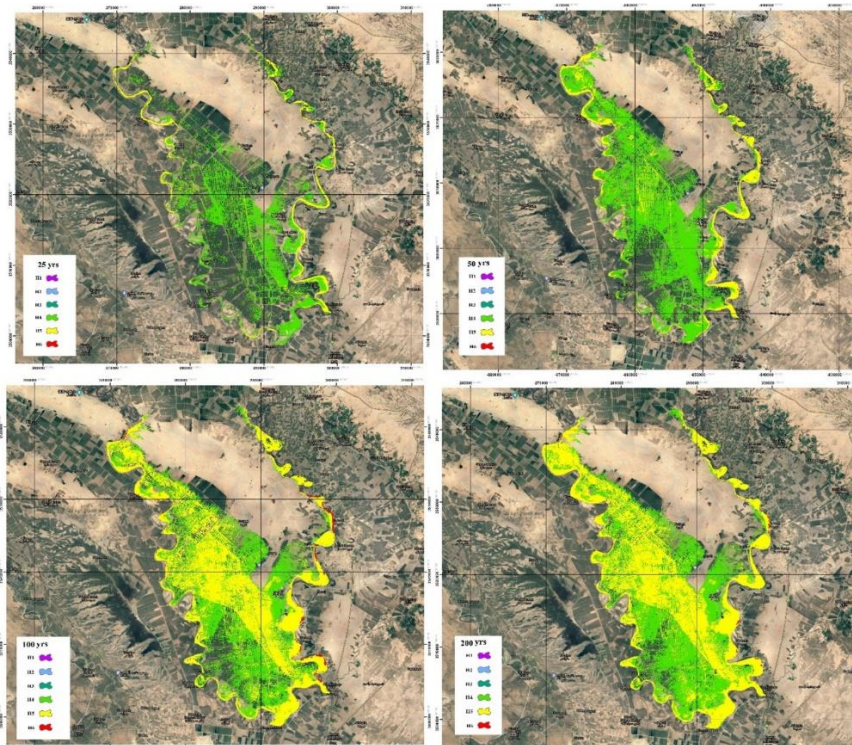


Figure 7. Hazard Maps for 25, 50, 100, 200 return periods-Shoebiyeh Irrigation Network

۳.۳. برآورد شاخص‌ها و ترسیم نقش‌های آسیب‌پذیری شبکه

همان‌طور که گفته شد برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه آبیاری، پرسش‌نامه‌های تهیه‌شده توسط ۴۲ نفر از کشاورزان محلی تکمیل شدند. سؤالات این پرسش‌نامه در قالب پنج شاخص اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، توان مقابله و بهبود، و بزرگی سیلاب دسته‌بندی شدند (جدول ۷). به هر دسته با توجه به میزان تأثیر آن با استفاده از نظر کارشناسان می‌توان وزن داد که در اینجا وزن تمام دسته‌ها یکسان است. به منظور تحلیل سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار اکسپرت‌چویس، لازم است نتایج مستخرج از پرسش‌نامه‌ها کمی شوند و براساس دسته‌بندی جدول (۷)، سهم هر یک از شاخص‌ها در پرسش‌نامه مربوطه به دست آید. ابتدا به منظور برآورد شاخص‌های مذکور در کل منطقه، میانگین اعداد به دست آمده از پرسش‌نامه‌ها وارد اکسپرت‌چویس شد و نتایج خروجی این تحلیل به صورت درصد پنج شاخص نامبرده به دست آمد (جدول ۸). بر این اساس، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد آسیب‌پذیری در شعیبیه، به ترتیب مربوط به توان مقابله و بهبود و شاخص اجتماعی است. لذا از دیدگاه کشاورزان خسارت وارده به شبکه و محصولات بیش از انتظار است. براساس شکل‌های (۵) تا (۷) نیز می‌توان نتیجه گرفت که سیلاب‌های ایجادشده پتانسیل خطر پایینی دارند، اما به علت مسطح بودن منطقه و اتصال آن در پایین دست به رودخانه کارون بزرگ که اختلاف سطح کمی با دریا دارد، خسارت‌های زیاد است. شیب بسیار کم زمین‌های کشاورزی موجب ماندابی شدن آن‌ها و خسارت چندین برابری می‌شود.

Table 7. Discharge

Index	Related Questions
Economical	2,3,6
Social	14,16
Environmental	5,12,13
Reaction	7,8,9,10,11,15
Hazard	1,4

Table 8. Vulnerability Indexes derived from Questionair analysis for whole Shuaibieh plain

Index	Economical	Social	Environmental	Coping Capacity	Hazard
Percent	13.9	9.6	28.1	33.7	14.7

سپس به منظور تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری، به‌ازای هر آبادی به‌طور جداگانه تحلیل سلسله‌مراتبی بر روی پنج شاخص نامبرده با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس انجام گرفت و درصد شاخص‌های آسیب‌پذیری در هر آبادی به‌دست آمد. در محیط GIS اطلاعات موجود در نقاط (آبادی‌ها) در قالب یک رستر به سطح گسترش یافت تا بتواند به‌صورت گرافیکی میزان آسیب‌پذیری در منطقه را نمایش دهد (شکل ۸). براساس شکل (۸) میزان آسیب‌پذیری زیست‌محیطی بر روی شبکه آبیاری شرق دشت شعبیه از سایر شاخص‌ها بیش‌تر است. همچنین با تلفیق چهار لایه آسیب‌پذیری (اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و توان مقابله‌و‌بهبود)، نقشه آسیب‌پذیری کل دشت شعبیه مطابق شکل (۹) ترسیم گردید. در این شکل نیز علاوه بر روستاهای دشت شعبیه، شبکه آبیاری شرق آن نیز نمایش داده شده که مقادیر آسیب‌پذیری کل در نقاط مختلف آن قابل رؤیت است. کانال‌های درجه ۲، sc6، sc7 و sc8 دارای بیش‌ترین آسیب‌پذیری کل هستند.

همچنین نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- سطح آب‌گرفتگی از ۲۰/۳۵ درصد در سیلاب ۲۵ ساله به ۵۴/۳۵ درصد در سیلاب ۲۰۰ ساله می‌رسد.
- ۲- سرعت سیلاب با افزایش دوره بازگشت تغییرات زیادی نداشته و سیلاب به‌صورت ماندابی است. بیش‌ترین علت آسیب به شبکه و مزارع ماندابی‌شدن سیلاب است که باعث پوسیده‌شدن ریشه گیاهان و از بین‌رفتن محصولات کشاورزی می‌شود.
- ۳- طبق شاخص‌های ذکرشده در استاندارد استرالیایی (Australian disaster resilience handbook, 2017) و در نظر گرفتن مقادیر متوسط شاخص خطر در سطح حوضه (جدول ۶)، سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله، در منطقه H1 (امن برای افراد، ساختمان‌ها و وسایل نقلیه)، برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ ساله در منطقه H2 (نا امن برای وسیله نقلیه کوچک) و در سیلاب ۲۰۰ ساله در منطقه H3 (نا امن برای وسایل نقلیه، کودکان و سالمندان) قرار می‌گیرد.
- ۴- طبق استاندارد نیوساوت‌ولز (New South Wales Government, 2005)، سیلاب‌ها با دوره بازگشت ۲۵ ساله در محدوده خطر متوسط و سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ تا ۲۰۰ ساله به بالا در محدوده خطر زیاد قرار می‌گیرند.
- ۵- طبق روش استفاده‌شده در کشور هلند (Federal Staes on Water Issues, 2006)، براساس خروجی مدل‌سازی محدوده مورد مطالعه دشت در ناحیه آبی رنگ (خطر متوسط، ساخت‌وساز در این مناطق با اعمال محدودیت‌هایی همراه است) قرار می‌گیرد.
- ۶- مقادیر حدی هر شاخص در آبادی‌ها مستخرج از تحلیل پرسش‌نامه‌های کشاورزان و ارزیابی آسیب‌پذیری، مطابق جدول (۹) است.

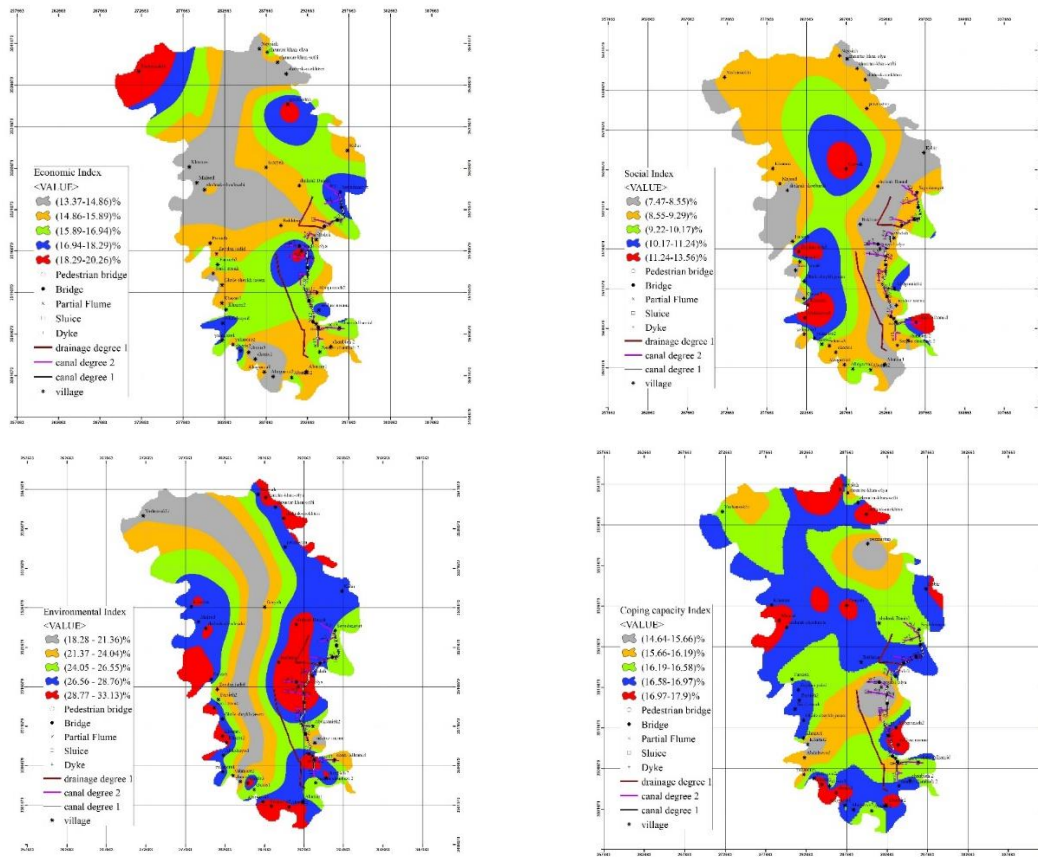


Figure 8. Different Flood Vulnerability Maps

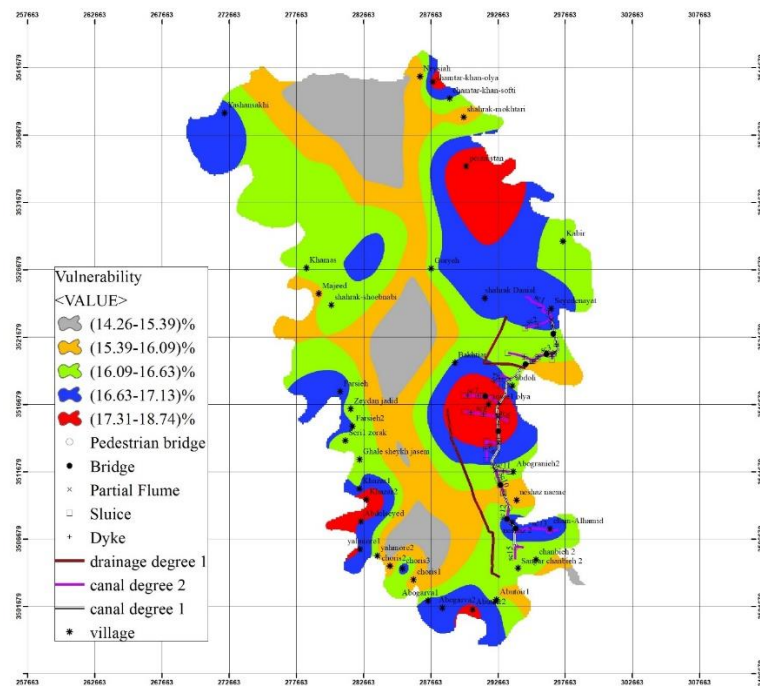


Figure 9. Total Flood Vulnerability Map

Table 9. Extreme values of vulnerability Indexes that occur at villages

Village	Min	Village	Max	Index
Shahrake Mokhtari	12.4	Yeshan Sakhi	17.9	Hazard
Choris2	19	Zoye1Olia	33.1	Environmental
Shahrake Mokhtari	13.4	Yeshan Sakhi	20	Economical
Seri1Zorak	8.1	Khazar2	13.5	Social
Choris2	25.1	Choris2	38.8	Coping

۴. نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های روباز آبیاری در برابر سیلاب انجام شد. شبکه آبیاری-زهکشی دشت شعبیه که یکی از مهم‌ترین دشت‌های خوزستان از نظر مواجهه با سیلاب است برای این منظور انتخاب گردید. مدل‌سازی سیلاب در این شبکه توسط مدل دوبعدی هکرس انجام شد و پارامترهای هیدرولیکی موردنیاز (عمق، سرعت، پهنه و ...) از این مدل مستخرج گردید. با استفاده از این پارامترها و با توجه به استاندارد موجود در این زمینه، نقشه‌های بزرگی و خطر سیلاب تهیه شدند. در ادامه، برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری شبکه در برابر سیلاب، علاوه بر پارامترهای هیدرولیکی، نیاز به اطلاعات بیش‌تری در خصوص اثرات اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و توان مقابله و بهبود منطقه در برابر سیل بود. بدین منظور پرسش‌نامه‌هایی تهیه شد که توسط ۴۲ نفر از کشاورزان محلی و بهره‌برداران تکمیل و سپس پاسخ‌ها با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و توسط نرم‌افزار اکسپرت‌چویس موردارزیابی قرار گرفت. در نهایت به کمک نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های آسیب‌پذیری به‌ازای هر شاخص ترسیم و با برهم‌نهی آن‌ها نقشه آسیب‌پذیری کل در شبکه تهیه شد.

بررسی نقشه‌های خطر سیل نشان می‌دهد که به‌ازای وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر از ۵۰ ساله بالغ بر ۵۰ درصد سطح شبکه براساس روش استرالیایی در طبقه‌بندی H5 یعنی شرایط ناایمن برای کلیه افراد و سازه‌ها قرار می‌گیرد. ارزیابی شاخص‌های مختلف آسیب‌پذیری (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، توان مقابله و بهبود و بزرگی سیل) نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آسیب‌پذیری به‌ترتیب مربوط به توان مقابله و بهبود با ۳۳/۷ درصد و شاخص اجتماعی با ۹/۶ درصد است. لذا از دیدگاه کشاورزان منطقه، خسارت‌های وارده به شبکه و محصولات کشاورزی نسبت به بزرگی سیلاب‌ها بیش از انتظار است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت با وجود آن که سیلاب‌های ایجادشده به لحاظ بزرگی، پتانسیل خطر پایینی دارند، اما چون منطقه مسطح و از پایین دست نیز به رودخانه کارون بزرگ متصل است که اختلاف سطح کمی با دریا دارد، موجب ماندابی شدن آب شده است. به علت شیب بسیار کم زمین‌های کشاورزی، تخلیه آب به‌کندی انجام گرفته و منجر به وقوع خسارت بیش‌تر شده است. اما اگر آب به سرعت تخلیه می‌شد، خسارت‌ها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یافت.

مقایسه نقشه خطر سیل با نقشه آسیب‌پذیری کل نشان می‌دهد که این دو در پیش‌بینی موقعیت مناطق با بالاترین سطح خطر متفاوت می‌باشند. نقشه خطر سیل تنها براساس شاخص بزرگی سیل رسم شده، درحالی که نقشه آسیب‌پذیری با افزودن شاخص‌های دیگر (اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، توان مقابله و بهبود)، برآورد واقعی‌تری از خطرپذیری سیلاب را ارائه می‌دهد. این امر لزوم در نظر گرفتن دو پارامتر آسیب‌پذیری و در معرض خطر بودن را در کنار فاکتور بزرگی-سیل برای برآورد واقعی خطرپذیری سیلاب نشان می‌دهد.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق‌تر برای برآورد میزان آسیب‌پذیری منطقه با روش‌هایی به‌جز تهیه پرسش‌نامه بود. در صورت فراهم آمدن اطلاعاتی مانند میزان خسارت‌های وارده در سیلاب‌های پیشین در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، پیشنهاد می‌شود توابع عمق-خسارت استخراج شده و

ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره برای این منطقه دوباره انجام شود. هم چنین با توجه به تأثیر بالای شاخص توان مقابله و بهبود پیشنهاد می شود زیرساخت های شبکه و جامعه تحت مطالعه به لحاظ تاب آوری و روش های مقابله با سیلاب مورد ارزیابی قرار گیرد و نقاط ضعف آن برطرف شود.

۵. پی نوشت ها

1. Integrated Flood Management
2. Analytic Hierachy Process
3. Weighted Linear Combination
4. Geographic Information System
5. Multi-Criteria Decision Making
6. Expert Choice
7. Hec-Ras
8. Easy Fit
9. Flood Vulnerability Index
10. Susceptibility
11. Resilience
12. Cochran formula
13. Raster

۶. تشکر و قدر دانی

بخشی از اطلاعات این پژوهش، با کمک سازمان آب و برق خوزستان و مهندسين مشاور آب ورزان فراهم شده است که بدین وسیله از همکاری ایشان تشکر می شود.

۷. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. منابع

- Afsous, M., Bambaiechi, S., & Kakavand, E. (2020). *Manual for providing flood risk maps, No.821*. Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs, Ministry of Energy, Water and Wastewater Standards and Projects Bureau.
- Balica, S. F., Douben, N., & Wright, N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water Science & Technology-wst*, 60(10), 2571-2580.
- Floodplain development manual: the management of flood liable land. (2005). New South Wales Government.
- Flood hazard. (2017). Australian disaster resilience handbook collection, Guideline 7-3, Australian institute for disaster resilience.
- Flood hazard map guidelines of the German Working Group. (2006). Federal Staes on Water Issues (LAWA).
- Guha-Sapir, D., Below, R., & Hoyois, P. (2016). EM-DAT: the CRED/OFDA International disaster database.
- Karami, Y. (2019). *A Documented look at the actions of the North Khuzestan irrigation networks explotation company in flood management*. North Khuzestan irrigation networks, website: <http://www.dezco.ir>. (In Persian).
- Nanjundeswaraswamy, T. S., & Divakar, S. (2021). Determination of sample size and sampling methods in applie research. *Proceedings on Engineering Sciences*, 3(1), 25-32.
- Nasiri, H., Yusof, M. J. M., & Ali, T. A. M. (2016). An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustainable Water Resources Management*, 2(3), 331-336.

- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 100659.
- Rajabizadeh, Y., Ayobzadeh, S. A., & Ghomshi, M. (2019). Investigation of Khuzestan flood during 2018-2019 water year and presenting flood control and management solutions for future. *Echo Hydrology*, 6(4), 1069-1084.
- Rashetnia, S. (2016). *Flood vulnerability assessment by applying a fuzzy logic method: a case study from Melbourne*. Master of engineering thesis, Victoria University, Australia.
- Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater toronto area case study. *Geosciences (Switzerland)*, 8(8).
- Special committee of National Flood Report, (2020). *Final report: Narration, Analyses, Lessons learnt and recommendations*.