



Data-Driven Application of the Water and Power Observatory in Flood Management in the Metropolis of Ahvaz

Mostafa Masoumi¹ | Seyed Ebrahim Hosseini² | Gholamhossein Karimi^{3*} | Aref Vaeli⁴ | Ardeshir Kalani⁵

1. Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: masoumi.m@kwpa.ir
2. River and Coastal Engineering Department, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: hosseini.se@kwpa.ir
3. Corresponding Author, Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: karimi1925@yahoo.com
4. Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: vaeli.a@kwpa.ir
5. Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: kalani.a@kwpa.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 July 2025
Revised 02 September 2025
Accepted 02 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Ahvaz,
Flood Management Regulations,
Specialized Table,
Urban Flood.

ABSTRACT

The presence of permanent rivers or seasonal streams in populated areas or in the vicinity of large cities such as Tehran, Ahvaz, Isfahan, and Shiraz, in addition to creating opportunities for urban development, should always be considered as a potential threat in terms of risks and damages caused by floods. The presence of 5 important and flood rivers in Khuzestan Province and the location of the metropolis of Ahvaz and some important cities in the vicinity of these rivers shows that floods are always lurking in the shadows of entering these cities. 60 years of experience in water resources management in Khuzestan Province has led to integrated and more accurate flood management, which can be introduced as a suitable model for the flood management process in cities located in the vicinity of rivers or streams. In the April 2019 flood in the Khuzestan region, the effective use of data, information, and model output, along with the correct analysis of various scenarios, resulted in the maximum flow rate of the Karun River in the Ahvaz section not exceeding 3,200 m³/s. This was while, based on mathematical models and field evidence, if the aforementioned measures were not implemented, the flow rate in the Ahvaz section would have exceeded 5,000 m³/s, causing financial and human losses. In this article, which was conducted in a descriptive-analytical manner after collecting and processing data, based on the lessons learned and experiences gained from the management of the aforementioned flood, the role of the Water and Energy Observatory in predicting and reducing flood risks in the period before, during, and after the flood is presented as an efficient model.

Cite this article: Masoumi, M.; Hosseini, E.; Karimi, Gh.; Vaeli, A. & Kalani, A. (2026). Data-Driven Application of the Water and Power Observatory in Flood Management in the Metropolis of Ahvaz. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 1-17. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059>



© Mostafa Masoumi, Seyed Ebrahim Hosseini, Gholamhossein Karimi, Aref Vaeli, Ardeshir Kalani
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059>

Introduction

Iran is highly vulnerable to destructive river floods. Major cities like Ahvaz, situated near perennial rivers, face constant flood threats. The April 2019 floods in Khuzestan province presented an extreme event, with 14.5 billion cubic meters (BCM) of water entering upstream reservoirs, nearly three times the long-term average for that period. This study details the successful, data-driven strategy employed to manage this crisis, preventing catastrophic urban flooding in Ahvaz. The core of this strategy was

the integrated "Flood Management Process" facilitated by the Khuzestan Water and Power Observatory, which served as a central hub for data collection, analysis, and decision-support.

Materials and Methods

The methodology was a comprehensive, multi-stage process. It began with meteorological forecasting using national and international systems (e.g., Hydroclimate, Flood Forecasting System) to predict precipitation intensity and distribution. This was followed by runoff forecasting using hydrological models (VISTA, SWAT_KARKHEH, MIKE NAM, HEC-HMS) to estimate the volume and timing of inflow into major reservoirs (Karun, Dez, Karkheh, Marun, Jarreh). Reservoir management was the critical next step; utilizing routing models and expert judgment from an advisory council, optimal release strategies were devised to balance dam safety with the downstream carrying capacity of rivers. Flow routing and river engineering employed 1D and 2D hydraulic models (MIKE FLOOD, HEC-RAS, HEC-1) to simulate flood propagation, identify inundation zones, pinpoint critical bottlenecks (e.g., bridges), and calculate travel times to population centers. All actions were coordinated through specialized operational desks that integrated real-time data from a network of 310 monitoring stations, satellite imagery (e.g., Sentinel), and drone footage for situational awareness and scenario planning.

Results

The application of this integrated process yielded highly effective results. The models initially indicated a severe threat: without proactive management, the discharge passing through Ahvaz could have exceeded 5000 m³/s, submerging vast urban areas. However, through precise, data-informed reservoir operations and pre-emptive engineering measures (e.g., reinforcing levees, removing bottlenecks), the actual maximum discharge at the Ahvaz section was successfully capped at 3200 m³/s. This was a crucial threshold, as flows exceeding 3200 m³/s would have breached urban defenses. The managed release strategy, which involved releasing approximately 9 BCM of water in a controlled manner, prevented the city from flooding. Consequently, despite the event's immense scale, flood management in Khuzestan resulted in zero human casualties, a stark contrast to simultaneous floods in other Iranian provinces (Golestan, Lorestan) which suffered significant losses.

Discussion and Conclusion

The April 2019 flood event in Ahvaz serves as a powerful case study for successful, proactive flood risk management in a data-rich environment. The key to success was the seamless integration of advanced forecasting, real-time monitoring, hydraulic modeling, and most importantly a pre-defined collaborative framework and clear responsibility matrix (RACI) between all relevant agencies (Ministry of Energy, Ministry of Interior, municipalities). This "Flood Management Process" ensured that data was transformed into actionable intelligence for timely decision-making. Recommendations derived from this experience emphasize the continuous need for: updating flood action plans and inter-agency protocols, maintaining and reinforcing hydraulic infrastructure (dredging, levees), investing in and modernizing forecasting and warning systems, enforcing strict land-use regulations in floodplains, conducting public awareness campaigns, and mandatory insurance mechanisms. This model demonstrates that a centralized, data-driven observatory can be instrumental in mitigating urban flood disasters, transforming a reactive response into a predictive and managed operation.



کاربست داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان شهر اهواز

مصطفی معصومی^۱ | سید ابراهیم حسینی^۲ | غلامحسین کریمی^{۳*} | عارف وائلی^۴ | اردشیر کلانی^۵

۱. رصدخانه آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: masoumi.m@kwpa.ir
۲. مدیریت مهندسی رودخانه‌ها و سواحل سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: hosseini.se@kwpa.ir
۳. نویسنده مسئول، رصدخانه آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: karimi1925@yahoo.com
۴. رصدخانه آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: vaeli.a@kwpa.ir
۵. رصدخانه آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: kalani.a@kwpa.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

وجود رودخانه‌های دائم یا مسیلهای فصلی در محدوده‌های جمعیتی یا در مجاورت شهرهای بزرگ نظیر تهران، اهواز، اصفهان و شیراز، علاوه بر ایجاد فرصت برای توسعه شهری، همواره به عنوان تهدیدی بالقوه از نظر خطرات و آسیب‌های ناشی از سیلاب، باید مد نظر قرار گیرد. جاری بودن ۵ رودخانه مهم و سیلابی در استان خوزستان و قرار گرفتن کلان‌شهر اهواز و برخی شهرهای مهم در مجاورت این رودخانه‌ها، نشان می‌دهد سیلاب همواره در کمین ورود به این شهرها است. تجارب ۶۰ساله به‌دست‌آمده از مدیریت منابع آب در استان خوزستان، باعث مدیریت یکپارچه و دقیق‌تر سیلاب شده است که می‌تواند به عنوان الگوی مناسب فرایند مدیریت سیلاب در شهرهایی که در مجاورت رودخانه‌ها یا مسیلهای قرار دارند معرفی شود. در سیلاب فروردین ۱۳۹۸ منطقه خوزستان، استفاده مؤثر از داده‌ها، اطلاعات و خروجی مدل‌ها در کنار تحلیل صحیح سناریوهای مختلف باعث شد که حداکثر دبی عبوری رودخانه کارون در مقطع اهواز از ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه تجاوز نکند. این در حالی بود که بر اساس مدل‌های ریاضی و شواهد میدانی در صورت عدم اجرای اقدامات پیش‌گفته، دبی عبوری در مقطع اهواز از ۵ هزار مترمکعب بر ثانیه عبور می‌کرد و خسارت‌های مالی و انسانی به بار می‌آورد. در این مقاله که پس از جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، به شکل توصیفی - تحلیلی انجام شده است، بر اساس درس‌آموخته‌ها و تجارب حاصل از مدیریت سیلاب یادشده، نقش رصدخانه آب و انرژی در پیش‌بینی و کاهش مخاطرات سیلاب در بازه زمانی قبل، حین و پس از وقوع سیل به عنوان یک الگوی کارآمد ارائه شده است.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:

اهواز،
سیلاب شهری،
میز تخصصی،
نظام‌نامه مدیریت سیلاب.

استناد: معصومی، مصطفی؛ حسینی، سید ابراهیم؛ کریمی، غلامحسین؛ وائلی، عارف و کلانی، اردشیر (۱۴۰۵). کاربرد داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان شهر اهواز. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱-۱۷.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059>

© مصطفی معصومی، سید ابراهیم حسینی، غلامحسین کریمی، عارف وائلی، اردشیر کلانی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059>



۱. مقدمه

بررسی آمار سیلاب‌های هفتادساله گذشته نشان می‌دهد کشور ما در ردیف کشورهای سیل‌خیز جهان است و همه‌ساله بر اثر سیلاب‌های حادثه‌ساز متحمل تلفات جانی و خسارات مالی سنگین شده است [۱]. در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم و بروز پدیده‌های حدی، تنوع و تعدد مخاطرات آبی (سیلاب و خشکسالی) به شدت افزایش یافته به طوری که تشدید وقوع سیلاب‌های خسارت‌بار در سطح جهانی و ملی دور از ذهن نیست [۲]. بسیاری از کلان‌شهرها و مراکز جمعیتی به دلیل عبور رودخانه‌ها و مسیل‌های سیلابی از میان یا مجاور آن‌ها، در معرض خطر سیلاب هستند. وجود رودخانه‌های دائم یا مسیل‌های فصلی در نواحی مسکونی یا در مجاورت شهرهایی نظیر تهران، اهواز، شیراز و اصفهان، علاوه بر ایجاد فرصت جهت توسعه شهری، همواره باید از نظر خطرات و آسیب‌های ناشی از سیلاب، به عنوان تهدیدی بالقوه مد نظر قرار گیرد، زیرا سیلاب شهری به عنوان یکی از بلایای مخرب طبیعی، خسارت‌های مالی و جانی قابل توجهی را به جوامع وارد می‌کند. با توجه به رشد شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، مدیریت مؤثر سیلاب به یک ضرورت تبدیل شده است.

به منظور کاهش اثرات مخرب سیلاب لازم است طی فرایندی مشخص و ازپیش‌تعریف‌شده، از زمان پیش از وقوع سیلاب، حین و بعد از آن، از کلیه داده‌ها و اطلاعات به‌روز نظیر داده‌ها و اطلاعات آب و هواشناسی، سامانه‌ها، مدل‌ها و نرم‌افزارهای تخصصی در کنار دانش کارشناسان متخصص در زمینه‌های مختلف، استفاده کرد [۳]. مدیریت داده‌ها و استفاده از فناوری‌های نوین نقش کلیدی در بهبود فرایند مدیریت سیلاب ایفا می‌کند. مطالعات خارجی و ایرانی بر اهمیت مدیریت داده‌ها در تمامی مراحل مدیریت سیلاب (پیش‌بینی، پیشگیری، پاسخ و بازیابی) تأکید کرده‌اند. بخشی از فرایند مدیریت سیل به توانمندی‌های دسترسی به داده‌ها، اطلاعات مورد نیاز و تحلیل‌های اولیه سنجش و پایش برمی‌گردد. از سال ۱۳۹۸ زیرساخت‌های دسترسی سریع به داده‌ها و اطلاعات در رصدخانه آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان ایجاد شده است تا بتوان از آن‌ها به بهترین شکل در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی بهره گرفت [۴]. در این مقاله به اقداماتی که سازمان آب و برق خوزستان به منظور پیش‌بینی، مدل‌سازی، رصد، پایش و مدیریت سیلاب فروردین ۱۳۹۸ پرداخته می‌شود و تجربه موفق مدیریت سیلاب کلان‌شهر اهواز به عنوان الگوی موفق از همکاری مشترک بین وزارت نیرو، وزارت کشور و سایر ارگان‌های دولتی، ارائه می‌شود.

برخی از اصول و تجارب جهانی مدیریت سیلاب شهری که از سال‌های دور مد نظر بوده و ضروری است مورد توجه خاص قرار گیرند، به شرح زیر هستند:

۱-۱. الزامات، استانداردها، بایدها و نبایدهای مدیریت سیلاب شهری

به منظور پیشگیری و کاهش خسارت‌های سیل باید مطالعات و اقداماتی نظیر «مطالعه و اجرای طرح‌های سازه‌ای مهار سیل»، «مطالعه و اجرای طرح‌های غیرسازه‌ای»، «مدیریت و حفاظت حوضه آبخیز»، «تهیه و تدوین نظام‌نامه مدیریت سیل و برنامه اقدام» در سه مرحله زمانی قبل، حین و بعد از وقوع سیل و «آموزش همگانی و تخصصی» مد نظر قرار گیرد که شرح هر یک از این موارد خارج از ظرفیت این مقاله است [۲].

۱-۲. مدیریت ریسک اضطراری سیلاب شهری

با توجه به اینکه با وقوع سیلاب، شهر با بحران مواجه می‌شود لذا باید عملیات مقابله با بحران طراحی و پیاده‌سازی شود. عملیات مقابله با بحران از ۴ جزء مدیریت اضطراری ریسک به شرح زیر تشکیل شده است: جلوگیری از اثرات یا کاهش شدت خسارت‌ها^۱، ایجاد آمادگی و پیشگیری جامعه^۲، مقابله فوری بعد از درک خطر^۳ و توانمندسازی جامعه^۴.

1. Action Plan
2. Prevention
3. Preparedness
4. Response
5. Recovery

۱-۳. مقاوم‌سازی در مقابل سیل و بیمه سیل

در جوامع پیشرفته در معرض سیل، مقاوم‌سازی اماکن و تأسیسات حیاتی را دولت و شهرداری‌ها عهده‌دار شده، ولی مقاوم‌سازی ساختمان‌های مسکونی شخصی توسط مردم البته با حمایت دولت انجام می‌شود. وظایف دولت و شهرداری‌ها، مقاوم‌سازی اماکن حیاتی و مهم در مقابل سیل است. معمولاً چهار نوع مقاوم‌سازی در برابر سیل پیشنهاد می‌شود: حفاظت از تأسیسات زیربنایی، حفاظت از ساختمان‌ها، تمهیدات هدایت و راهنمایی در شرایط اضطراری (شامل در نظر گرفتن راه فرار برای ساکنان، ایجاد دسترسی آسان به پل‌ها و راه‌های اضطراری، در نظر گرفتن راه‌های ایمن به مراکز درمانی و معیشتی) و مقاوم‌سازی کشاورزی در برابر سیل (در صورت وجود کشاورزی و باغ‌ها در نواحی شهری). بیمه سیل نیز یکی از اقدامات بسیار مهمی است که بستر و قوانین آن باید توسط دولت مهیا شود. در این صورت هم امکان جبران خسارت وارد شده فراهم می‌شود و از عهده دولت برداشته می‌شود و هم ریسک دخل و تصرف در سیلاب‌دشت‌ها کاهش می‌یابد.

۲. مروری بر تحقیقات و یافته‌های جدید در خصوص مدیریت سیلاب شهری

مطالعات ده‌ساله اخیر به طور پراکنده بر جنبه‌هایی از مدیریت سیلاب شهری تأکید داشته‌اند که به شرح زیر هستند:

- برنامه‌ریزی برای بهبود پاسخ به سیلاب در مناطق شهری ایران بر اساس استفاده از داده‌های زمان واقعی^۱ و سیستم‌های هشدار سریع [۵].
- خانواده‌ای از شبکه‌های عصبی عمیق جدید، یعنی الگوریتم «شبکه‌های انتزاعی عمیق» (DANet)، برای کاهش سیل شهری به عنوان یک ابزار مدیریتی مفید برای پیش‌بینی سیل شهری توصیه می‌شود [۶].
- داده‌های متنوع و ناهمگن از جمله داده‌های حسگرها، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اجتماعی می‌توانند برای پیش‌بینی، نظارت و پاسخ به سیلاب استفاده شوند. یکپارچه‌سازی این داده‌ها چالش‌های فنی و مفهومی قابل توجهی دارد، اما برای مدیریت جامع سیلاب ضروری است [۷].
- داده‌های باز بر اساس الگوهای جست‌وجوی وب می‌توانند نشان‌دهنده آگاهی عمومی از خطر سیلاب باشند و به پیش‌بینی تأثیر سیلاب شهری کمک کنند. این رویکرد داده‌محور می‌تواند برای بهبود پاسخ به سیلاب و افزایش تاب‌آوری شهری مورد استفاده قرار گیرد [۸].
- استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برای شبیه‌سازی سیلاب شهری مورد تأکید است. این مدل‌ها از داده‌های بارش، توپوگرافی، پوشش زمین و ویژگی‌های سیستم زهکشی شهری استفاده می‌کنند. دقت این مدل‌ها به کیفیت و کامل بودن داده‌های ورودی بستگی دارد [۹].
- ارزیابی ریسک سیلاب با استفاده از داده‌های چندمنبعی نیازمند ادغام داده‌های طبیعی، زیرساختی و اجتماعی - اقتصادی است و استفاده از داده‌های حاصل از منابع مختلف می‌تواند دقت ارزیابی ریسک را افزایش دهد و به برنامه‌ریزی مؤثر برای کاهش خسارت‌ها کمک کند [۱۰].
- استفاده از مدل‌های مفهومی که بر پایه داده‌های تاریخی و واقعی بنا شده‌اند، به درک فرایندهای سیلاب و توسعه سیاست‌های مؤثر کمک می‌کنند [۱۱].
- استفاده از داده‌های تولیدشده توسط شهروندان (مانند گزارش‌های میدانی و پست‌های شبکه‌های اجتماعی) می‌تواند نقش مهمی در مدیریت سیلاب داشته باشد. این داده‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را برای نظارت و پاسخ به سیلاب ارائه دهند [۱۲].
- یکپارچه‌سازی داده‌ها با استفاده از هوش مصنوعی و یا ادغام فناوری‌های زمین مرجع مکانی با هوش مصنوعی به بهبود مدیریت سیلاب کمک می‌کند. هوش مصنوعی می‌تواند برای پردازش حجم بزرگی از داده‌های ناهمگن و استخراج الگوهای مفید مورد استفاده قرار گیرد [۱۳].

- تنها با ۹/۸۱ درصد از مساحت اشغال شده توسط زیرساخت‌های سبز مختلف موسوم به توسعه کم‌اثر (LID)، می‌توان به کاهش بیش از ۳۰ درصدی سیل در مناطق شهری دست یافت. علاوه بر این، اجرای LIDها می‌تواند به بازگرداندن وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبخیز به حالت طبیعی آن کاهش ضریب رواناب کمک کند [۱۴].
- از طریق مدل‌سازی سیلاب‌های ناگهانی در شهرهای ساحلی مدیترانه‌ای (مثل بارسلونا و رم) مشخص شد که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های هیدرولوژیکی پیشرفته، رابطه بین پوشش زمین، شبکه زهکشی و شدت سیلاب‌ها را می‌توان تجزیه و تحلیل کرد [۱۵].
- لزوم اتخاذ راه‌حل‌های متناسب و رویکردهای یکپارچه با استفاده از راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت (NBSs) به عنوان یک استراتژی تاب‌آور برای کاهش خطرات سیل شهری در یک کشور در حال توسعه و گرم و خشک، بر کاهش خطر سیل تأکید می‌کند [۱۶].
- راهکارهای عملیاتی برای مدیریت ریسک سیلاب در شهرهای کوچک و متوسط اروپا (مانند شهرهای آلمان و فرانسه) از ترکیب روش‌های طبیعی (مثل بسترهای رودخانه‌ای بازسازی شده) و زیرساخت‌های مصنوعی مورد تأکید است [۱۷].
- خطر سیل را می‌توان از طریق اقدامات سازه‌ای، مانند احیای زهکشی با استفاده از یک سیستم بسته، و استراتژی‌های غیرسازه‌ای، از جمله رویکردهای انسان‌محور، اداری و فرهنگی، مدیریت کرد. بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی، مؤثرترین فناوری، سیستم زهکشی بسته و بلوک‌های سنگفرش متخلخل بود [۱۸].
- پهنه‌بندی سیلاب کاربرد وسیعی در مدیریت سیلاب دارد و یکی از اطلاعات اساسی و مهم در مدیریت ریسک سیلاب محسوب می‌شود. پهنه‌بندی سیلاب در مناطق شهری با توجه به ماهیت دوبعدی جریان و از طرفی، تراکم عوارض شهری مانند ساختمان‌ها، خیابان‌ها، بلوارها و معابر عمومی بسیار مشکل‌تر از مدل‌سازی در محدوده سیلاب‌دشت و رودخانه‌ها است. پهنه‌بندی سیل برای مناطق ۲۱ و ۲۲ شهر تهران در حالت وضع موجود، که تقریباً منطقه فاقد شبکه کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی است با استفاده از مدل‌سازی بارش - رواناب فیزیک‌مبنا و روندیابی هیدرولیکی دوبعدی به ترتیب با کمک مدل HEC-HMS برای تخمین رواناب ورودی از کوهستان و مدل MIKE21 برای تخمین پهنه سیلاب ۵۰ساله، نشان می‌دهد در صورت رخداد وقایع حدی نظیر بارش ۵۰ساله، بخشی از بزرگراه‌ها و شریان‌های ارتباطی شهر تهران به سمت غرب دچار اختلال می‌شود و امکان تردد وجود نخواهد داشت. علاوه بر این، کاربری‌های مختلفی در پهنه سیل قرار می‌گیرد و به دلیل نبود شبکه آب سطحی، شرایط ماندابی در سرتاسر مناطق ۲۱ و ۲۲ شهر تهران قابل پیش‌بینی است. بنابراین، توسعه شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی از اولویت‌های اصلی کاهش ریسک سیل در این مناطق است [۱۹].
- سیستم‌های هشدار سریع مبتنی بر اینترنت اشیا^۱ و هوش مصنوعی بر اساس جمع‌آوری شده و ترکیب داده‌های سنسورهای زیرزمینی و هوایی با الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شهرهای هوشمند اروپا (مثل اسلو و وین) در مدیریت سیلاب شهری مؤثر بوده است [۲۰].

۳. روش تحقیق

در سال‌های اخیر به دلیل گرمایش جهانی و اثرات آن بر تغییر اقلیم، منطقه جنوب غرب ایران به‌ویژه استان خوزستان به طور متناوب متأثر از وقوع پدیده‌های حدی نظیر سیلاب و خشکسالی بوده است. از بزرگ‌ترین سیلاب‌های سال‌های اخیر سیلاب فروردین ۱۳۹۸ بود که شرایط و آمادگی برای وقوع آن نظیر حالت بحرانی رودخانه‌ها، اعلام عدم تمرکز در مجاورت رودخانه‌ها و تخلیه مخازن به منظور ایجاد حجم خالی به منظور کنترل سیل، از اوایل دی‌ماه سال قبل نمایان شد و سازمان‌های آب و برق خوزستان آمادگی لازم برای مواجهه با سیلاب را اعلام کردند. شایان یادآوری است به دلیل مسطح بودن اراضی دشت خوزستان امکان وقوع سیلاب‌های ناگهانی ناشی از رگبارهای لحظه‌ای وجود ندارد، اما به دلیل قرارگیری دشت خوزستان در ارتفاع پایین و

بخش منتهی‌الیه رودخانه‌ها، تداوم و حجم سیلاب‌های رودخانه‌ای بسیار مهم است و می‌تواند آورد زیادی را به درون سدهای مشرف به استان وارد کند.

۳-۱. مطالعه موردی سیلاب کلان شهر اهواز

در فروردین ۱۳۹۸ حدود ۱۴/۵ میلیارد متر مکعب آب از حوضه‌های مولد جریان رودخانه‌ها در بالادست سدهای استان خوزستان وارد مخازن این سدها شد که بخش اعظمی از آن ناشی از بارش‌ها در دو بازه زمانی، یکی از تاریخ ۴ تا ۶ و دیگری از تاریخ ۱۰ تا ۱۲ فروردین بوده است، به طوری که در سیلاب اول حدود ۳/۷ و در سیلاب دوم حدود ۱۰/۱ میلیارد متر مکعب آب وارد مخازن سدها شد. این در حالی است که متوسط بلندمدت حجم آب ورودی به مخازن یادشده در فروردین‌ماه حدود ۵/۱ میلیارد متر مکعب بوده است. متوسط بارش ماه فروردین ۱۳۹۸ در حوضه‌های آبریز کرخه و کارون بزرگ ۲۲۸ میلی‌متر بوده است که در مقایسه با متوسط بلندمدت (نرمال) بارش فروردین‌ماه در حوضه‌های آبریز یادشده (۷۵ میلی‌متر) ۲۰۰ درصد و نسبت به متوسط بارش ماه فروردین ۱۳۹۷ (۵۲ میلی‌متر)، ۳۳۸ درصد افزایش داشته است. در شروع سیلاب‌های بهار ۱۳۹۸، حجم خالی سدهای مخزنی برای کنترل سیل حدود ۴/۸ میلیارد متر مکعب به این شرح بوده است: سد دز ۷۴۹، سد کرخه ۱۵۹۶، سدهای کارون ۲۲۴۳، سد مارون ۲۰۱ و سد جره ۲۲ میلیون متر مکعب. بنابراین مابه‌التفاوت حجم جریان ورودی به مخازن در دو سیلاب یادشده و حجم خالی کنترل سیلاب مخازن، معادل ۹ میلیارد متر مکعب، عمدتاً از سدهای دز، گتوند و کرخه به سمت پایین‌دست رهاسازی شد که موجب آب‌گرفتگی در بخش‌های وسیعی از استان شد و برخی از شهرها و مناطق مسکونی را در معرض تهدید قرار داد [۲۱].

در ابتدای سال آبی، پیش‌بینی‌ها و چشم‌اندازی که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه شده بود حکایت از وقوع خشکسالی با این مضمون داشت: «با اینکه بارش فصل پاییز در محدوده نرمال بوده و انتظار می‌رود تأخیری در شروع بارش پاییز نداشته باشیم؛ اما آینده‌نگری، کاهش بارش فصل زمستان را نسبت به بلندمدت نشان می‌دهد. در مجموع با توجه به کاهش شدید حجم ذخایر آب نسبت به سال گذشته، خشکسالی شدید آب‌شناسی پیش رو است» [۲۲]. علی‌رغم گزارش سازمان هواشناسی، با توجه به تداوم بارش‌ها و تحلیل میزان ورودی‌ها و چشم‌انداز بارشی، سیاست‌های بهره‌برداری از اواسط آذرماه به‌خصوص در حوضه‌های آبریز کرخه و دز تغییر کرد. در ادامه، ضمن تشریح فرایند مدیریت سیلاب، اقدامات انجام‌شده در این خصوص تشریح خواهد شد.

۳-۲. فرایند مدیریت سیلاب از پیش‌بینی بارش تا فروکش کردن سیل

اساس این فرایند (شکل ۱) که از اجزای پیش‌بینی‌های هواشناسی، پیش‌بینی جریان، مدیریت مخزن، روندیابی جریان و مانتورینگ تشکیل شده بر پایه این شعار است که: «هر پدیده و رویدادی را می‌توان با اندازه‌گیری مدیریت کرد» لذا ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز آب و هواشناسی در قالب شبکه سنجش احصا و به عنوان ورودی سامانه‌ها، مدل‌ها و نرم‌افزارهای تخصصی استفاده می‌شوند.

۳-۲-۱. پیش‌بینی‌های هواشناسی

اولین گام در فرایند مدیریت سیلاب، پیش‌بینی‌های هواشناسی است. آنچه مسلم است بدون پیش‌بینی از میزان، شدت و محدوده بارش، امکان تخمین رواناب وجود ندارد. بر همین اساس، کارشناسان سازمان با استفاده و تحلیل اطلاعات سامانه‌های پیش‌بینی نظیر سامانه پیش‌بینی بارش مؤسسه تحقیقات آب ایران، سامانه تخصصی هیدروکلاسیفیکیشن و سامانه‌های جهانی، از وضعیت بارش در بازه‌های کوتاه‌مدت (حدود دو هفته) آگاه می‌شوند؛ لذا کلیه رخدادهای بارشی در بازه‌های ۱۵، ۱۰ و ۵ روزه پیش‌بینی و به صورت تجمعی یا موردی در اختیار کارشناسان مربوطه قرار می‌گرفت. شایان یادآوری است بارش‌های رخ داده در هفته اول تا چهارم فروردین ۱۳۹۸ به ترتیب ۳۰۶، ۳۱۵، ۶۵ و ۱۷۹ درصد فراتر از نرمال بوده‌اند.



شکل ۱. فرایند مدیریت سیلاب

۳-۲-۲. پیش بینی جریان

در گام بعد با استفاده از مدل های بارش - رواناب، کالیبره و صحت سنجی شده با داده های مشاهده ای، شامل: (۱) سامانه VISTA: پیش بینی کوتاه مدت و بلندمدت رواناب ورودی به مخازن، (۲) مدل SWAT_KARKHEH: پیش بینی جریان ورودی به سد کرخه و محاسبه پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر، (۳) مدل MIKE NAM: مدل بارش - رواناب و شبیه سازی ذوب برف و (۳) مدل HEC HMS: مدل بارش - رواناب برای تمامی حوضه ها، مقدار رواناب ناشی از بارش محاسبه و زمان رسیدن به مخزن تخمین زده می شود. کارشناسان مربوطه به صورت شبانه روزی مدل های مختلف پیش بینی جریان را اجرا و نتایج را با متخصصان دانشگاهی و میدانی تحلیل می کردند. حجم سیلاب ورودی به منطقه خوزستان در فروردین ۱۳۹۸ حدود ۱۸۲ درصد بیشتر از متوسط ورودی بلندمدت سال های نرمال بوده است. نتایج به دست آمده نشان می داد چنانچه حجم جریان های ورودی مدیریت نشود، قسمت اعظم خوزستان زیر آب خواهد رفت که نتیجه آن خسارت های شدید مالی و انسانی خواهد بود (جدول ۱).

جدول ۱. حجم سیلاب ورودی به خوزستان در فروردین ۱۳۹۸

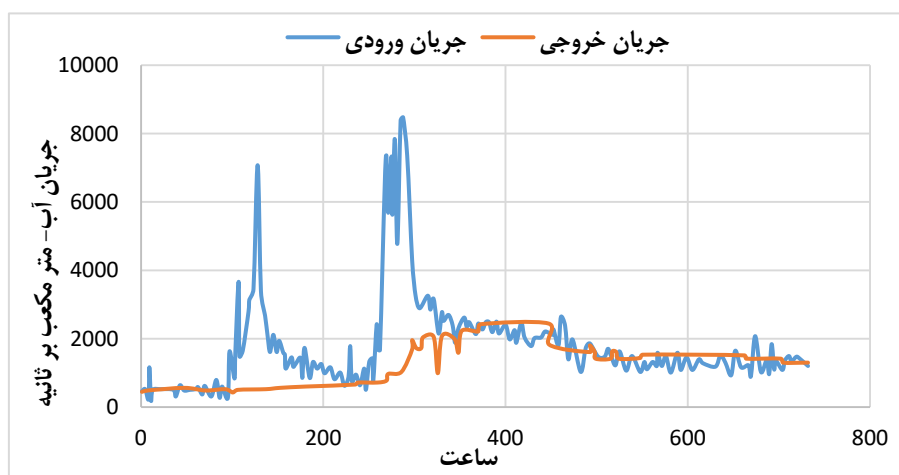
| مشخصه | دز | کرخه | کارون | مارون | جره | مجموع |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|-----|-------|
| سیلاب اول (mcm) | ۱۰۹۳ | ۷۷۸ | ۱۵۵۷ | ۲۷۳ | ۱۲ | ۳۷۴۸ |
| سیلاب دوم (mcm) | ۳۱۰۴ | ۳۷۲۸ | ۲۸۶۴ | ۳۴۹ | ۲۵ | ۱۰۰۵۱ |
| مجموع (mcm) | ۴۱۹۷ | ۴۵۰۶ | ۴۴۲۱ | ۶۲۲ | ۳۷ | ۱۳۷۸۳ |
| حداکثر لحظه ای سیلاب اول (cms) | ۶۰۰۹ | ۷۰۷۵ | *** | ۲۶۳۰ | ۲۳۳ | *** |
| حداکثر لحظه ای سیلاب دوم (cms) | ۵۰۸۷ | ۸۴۷۷ | *** | ۵۱۲ | ۲۲ | *** |
| حداکثر روزانه سیلاب اول (cms) | ۴۱۵۸ | ۳۱۸۰ | ۷۶۹۰ | ۱۶۵۵ | ۵۶ | *** |
| حداکثر روزانه سیلاب دوم (cms) | ۴۰۱۹ | ۵۹۰۹ | ۲۷۱۰ | ۳۳۲ | ۱۷ | *** |

۳-۲-۳. مدیریت مخزن

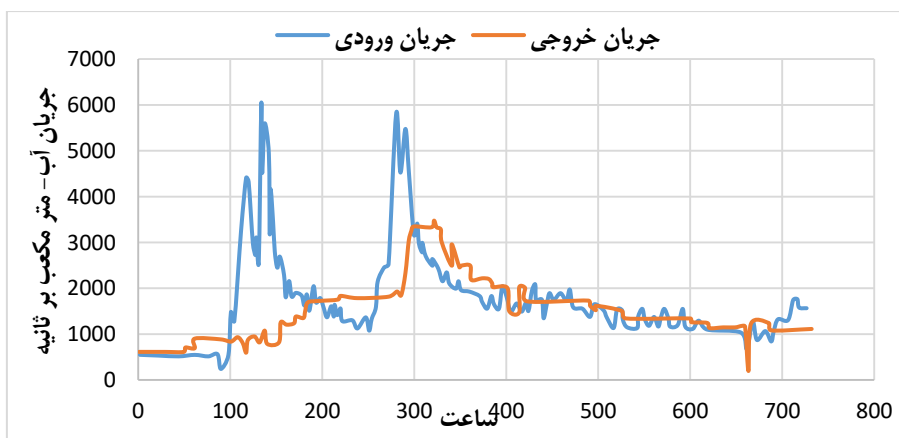
در این مرحله با استفاده از مدل‌های روندیابی جریان در مخزن و تجربیات کنترل پایداری سدهای بتنی و خاکی و قضاوت‌های کارشناسی مبتنی بر تجربیات اعضای شورای مشورتی شامل کارشناسان شرکت‌های مشاور بومی در استان خوزستان، اساتید دانشگاه و کارشناسان خبره بهره‌برداری سدها مشخص می‌شد که چه مقدار از سیلاب ورودی و تا چه تراز در مخزن سد ذخیره و چه حجمی از سیلاب باید از مخزن سد خارج شود. لازمه این کار اطلاع لحظه‌ای از وضعیت مخازن سدها در شروع و حین سیلاب (افزایش ورودی آب به مخازن و افزایش تراز سطح آب مخازن) بوده است (جدول ۲). متخصصان با استفاده از مدل‌های روندیابی و تجربیات تخصصی (مدیریت ریسک) و بر اساس ظرفیت خالی مخازن سدها و میزان تاب‌آوری رودخانه‌های پایین‌دست (ظرفیت آب‌گذری یا دبی ایمن رودخانه)، سناریوهای مختلفی را پیشنهاد و در اختیار مدیران ارشد قرار دادند تا بر اساس آن مقدار دبی خروجی از مخازن سدها رهاسازی شود. در شکل‌های ۲-۴ دبی تنظیمی خروجی از سدها در مقایسه با دبی ورودی به مخزن که بر اساس فعالیت‌های یادشده در بخش مدیریت مخزن حاصل شد، نشان داده شده است.

جدول ۲. منابع آبی استان خوزستان در شروع سیلاب

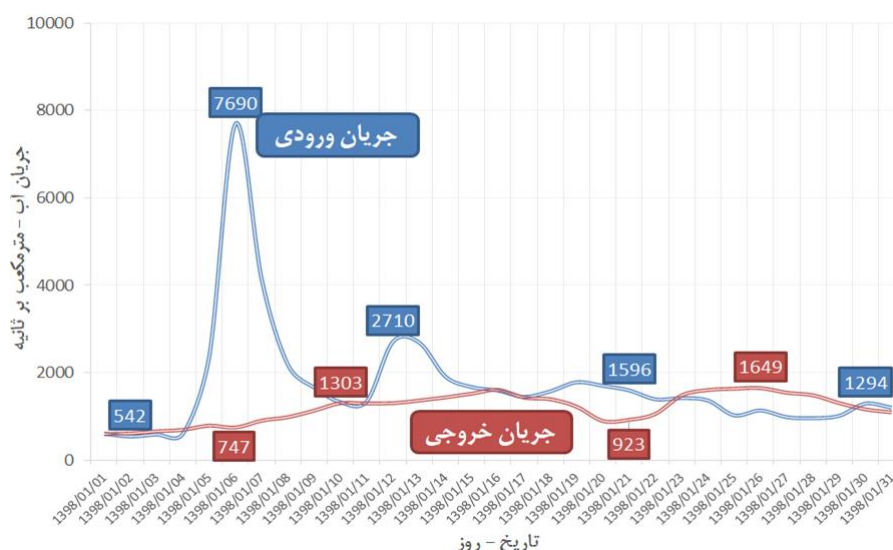
| مشخصه | دز | کرخه | کارون | مارون | جره | مجموع |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ارتفاع (متر) | ۳۳۸۸۷ | ۲۱۶۳۶ | ** | ۴۹۶۳۸ | ۴۸۵۹۵ | ** |
| میزان ورودی از ابتدای سال آبی (mcm) | ۵۹۶۷ | ۵۵۷۲ | ۷۶۰۳ | ۱۱۸۹ | ۱۳۶ | ۲۰۴۶۷ |
| میزان خروجی از ابتدای سال آبی (mcm) | ۵۳۱۷ | ۳۴۶۰ | ۳۹۶۹ | ۴۹۱ | ۶۹ | ۱۳۳۰۶ |
| حجم خالی کنترل سیلاب (mcm) | ۷۴۹ | ۱۵۹۶ | ۲۲۴۳ | ۲۰۱ | ۲۲ | ۴۸۱۱ |



شکل ۲. مدیریت آب ورودی ساعتی به سد کرخه و تنظیم مقدار جریان خروجی جهت مدیریت سیلاب



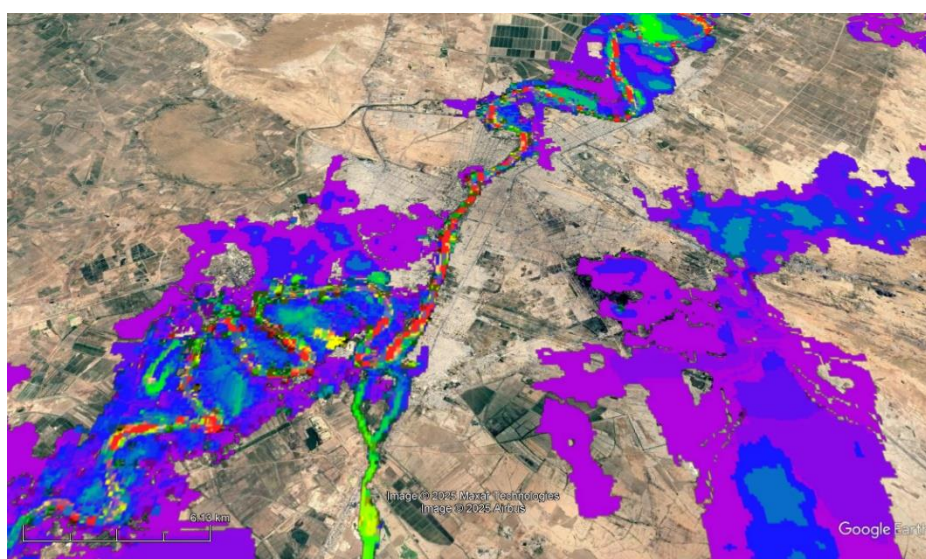
شکل ۳. مدیریت آب ورودی ساعتی به سد دز و تنظیم مقدار جریان خروجی برای مدیریت سیلاب



شکل ۴. مدیریت آب ورودی ساعتی به سد کارون و تنظیم مقدار جریان خروجی برای مدیریت سیلاب

۳-۲-۴. مدل سازی جریان در پایین دست سدها

پس از آنکه حداکثر دبی خروجی از سد بر اساس تصمیمات شورای مشورتی با در نظر گرفتن شرایط ایمنی سد و نیروگاه، و شاخص‌های تاب‌آوری رودخانه در پایین دست مشخص شد، هیدرودینامیک جریان رودخانه بر اساس مدل دوبعدی MIKE FLOOD، با هدف تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و با استفاده از تجارب گذشته، مدل سازی می‌شود. در این مدل سازی پاسخ بسیاری از سؤالات از جمله اینکه؛ حداکثر دبی رهاسازی در چه زمانی به کدام نقطه می‌رسد؟ و یا، با تغییر هندسه (حذف یا اضافه کردن سیل‌بندهای خاص)، چه مقدار انحراف یا افزایش جریان رودخانه را خواهیم داشت؟؛ مشخص می‌شود. به بیان دیگر، زمان پیمایش جریان از سد تا نقاط مورد نظر مشخص می‌شود تا در آن بازه زمانی بتوان هشدارها و اقدامات لازم را از طریق زیرمجموعه‌های وزارت کشور (استانداری، شهرداری‌ها، فرمانداری‌ها)، و سایر نهادهای دولتی و غیردولتی انجام داد. در این مدل سازی‌ها، حداکثر آب‌گذری در نقاط گلوگاهی و پهنه‌های سیلابی مشخص می‌شود که طی آن‌ها می‌توان میزان آب‌گرفتگی و خسارت‌ها در پایین دست را برآورد کرد. در شکل ۵، نمونه‌ای از نقشه پهنه‌بندی دوبعدی سیلاب رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز ارائه شده است.



شکل ۵. پهنه‌بندی سیلاب ۶ هزار متر مکعب در ثانیه در رودخانه کارون با تمرکز بر محدوده جغرافیایی شهر اهواز

۳-۲-۵. مانیتورینگ، اطلاع‌رسانی و مدیریت سیلاب در قالب میزهای تخصصی، قبل، حین و بعد از سیلاب

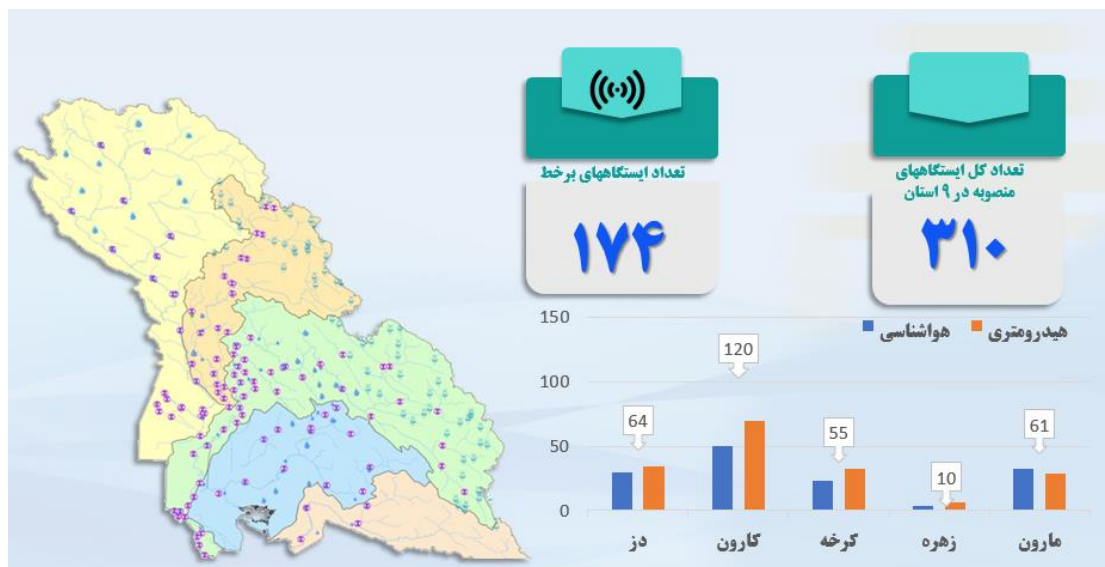
با استفاده از خروجی گام‌های قبل، مقدار دبی سیلابی که در زمان‌های مختلف به نقاط مهم رودخانه می‌رسد مشخص شده و سطح بحران توسط کارگروه‌های تخصصی و مدیریت بحران استان تعیین و اعلام می‌شود. چنانچه خروجی مدل‌ها، ورود سیلاب به داخل محدوده شهری را نشان بدهد، بلافاصله جلساتی با حضور مدیریت بحران استانداری، شورای مشورتی متشکل از اساتید و متخصصان مربوطه، شهرداران مناطق، سازمان هواشناسی، معاونت امنیتی استانداری، جهاد کشاورزی، کمیته‌های تخصصی، شرکت آب منطقه‌ای و غیره تشکیل شده و با استفاده از داده‌های زمان‌واقعی شبکه سنجش آب و هواشناسی، نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، تصاویر ماهواره‌ای (نظیر سنتینل)، عکس‌های هوایی و تصویربرداری پهپادی و سایر مستندات مربوطه اقدام به سناریوسازی و تصمیم‌گیری برای انجام اقدامات بعدی گرفته می‌شود. کلیه فعالیت‌های پیش‌گفته در قالب میزهای تخصصی نظیر شکل ۶ انجام می‌شود. هنگام سیلاب، متخصصان مهندسی رودخانه نقاط مستعد ورود سیلاب به نواحی شهری را مشخص کردند و بر اساس نتایج مدل‌ها و یا اطلاعات دریافتی از تصاویر هوایی دستورات لازم برای تقویت و افزایش ارتفاع سیل‌بندهای حفاظتی صادر می‌شد. در ادامه، بر اساس ساختار سیستم مدیریت/فرماندهی بحران ۱ سازمان آب و برق خوزستان و ماتریس مسئولیت‌ها ۲ برنامه اقدام تیم‌های عملیاتی مدیریت سیلاب مشخص می‌شد [۲۳]. طی زمان بحران کلیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز توسط واحدهای مختلف تهیه و در کارگروه‌ها مطرح و تحلیل‌های لازم ارائه می‌شد.



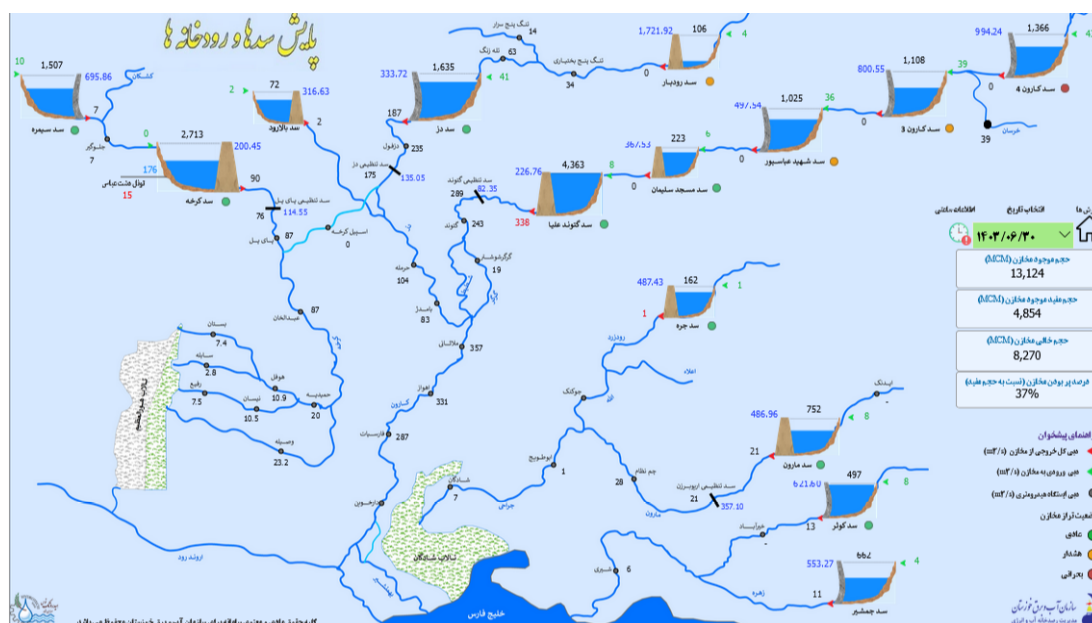
شکل ۶. نمونه‌ای از میزهای تخصصی

داده‌های آب و هواشناسی از طریق شبکه سنجش متشکل از ۳۱۰ ایستگاه که در سطح ۹ استان جانمایی شده (شکل ۷)، در بازه‌های زمانی مورد نیاز با توجه به این اصل مهم که (داده باید اصیل، به‌موقع، به‌اندازه و دقیق باشد) دریافت و پس از صحت‌سنجی از طریق پروتکل‌های استاندارد به پایگاه داده منتقل و به اطلاعات تبدیل می‌شود. پس از آن، کارشناسان متخصص شاخص‌های کلیدی عملکرد ۳ را استخراج و با استفاده از پیشخوان‌های تخصصی، آخرین وضعیت منابع آب و انرژی را نمایش می‌دهند. طراحی پیشخوان‌ها (شکل ۸) به گونه‌ای است که در زمان بحران کارشناسان میزهای تخصصی داده‌های خام و اطلاعات توصیفی طول آمار را در قالب نمودارهای مقایسه‌ای، توصیفی و تحلیلی در اختیار شورای مشورتی قرار می‌دهند.

1. Incident Command/management System (ICMS)
2. RACI Chart
3. Key Performance Indicator (KPI)



شکل ۷. ایستگاه‌های رصد و پایش منابع آب استان خوزستان



شکل ۸. پیشخوان سدها و رودخانه‌ها

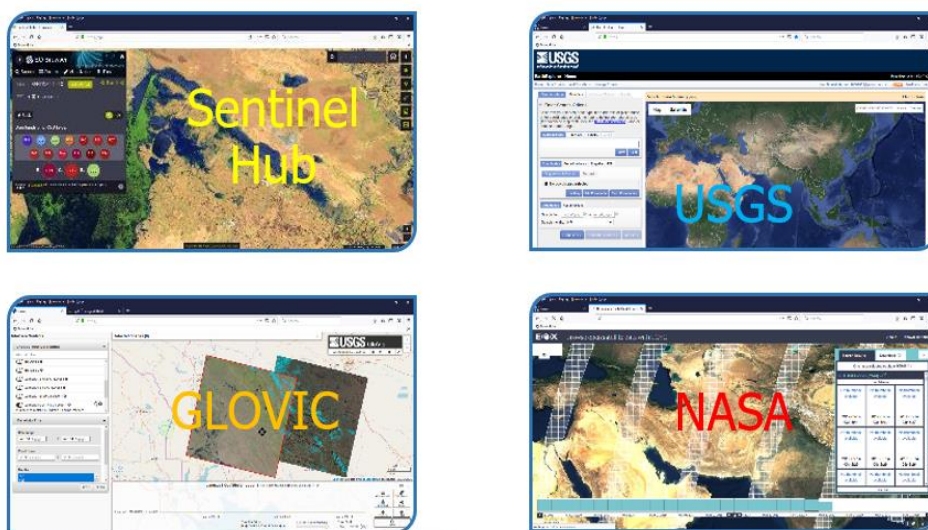
۳-۳. مدیریت سیلاب در پایین دست سدها و در محدوده کلان شهر اهواز، قبل، حین و بعد از سیلاب

بر اساس خروجی مدل‌ها، مقادیر بارش واقعی، دبی، تراز آب و پهنه‌های سیلابی، زیر آب رفتن بخش زیادی از شهر اهواز قابل تصور بود. لذا از دی‌ماه در بازه‌های زمانی قبل، حین و بعد از سیلاب، ضمن اعلان هشدار مطابق جدول ۳، فعالیت‌ها و اقداماتی در قالب میزهای تخصصی، به شرح ذیل انجام گرفت.

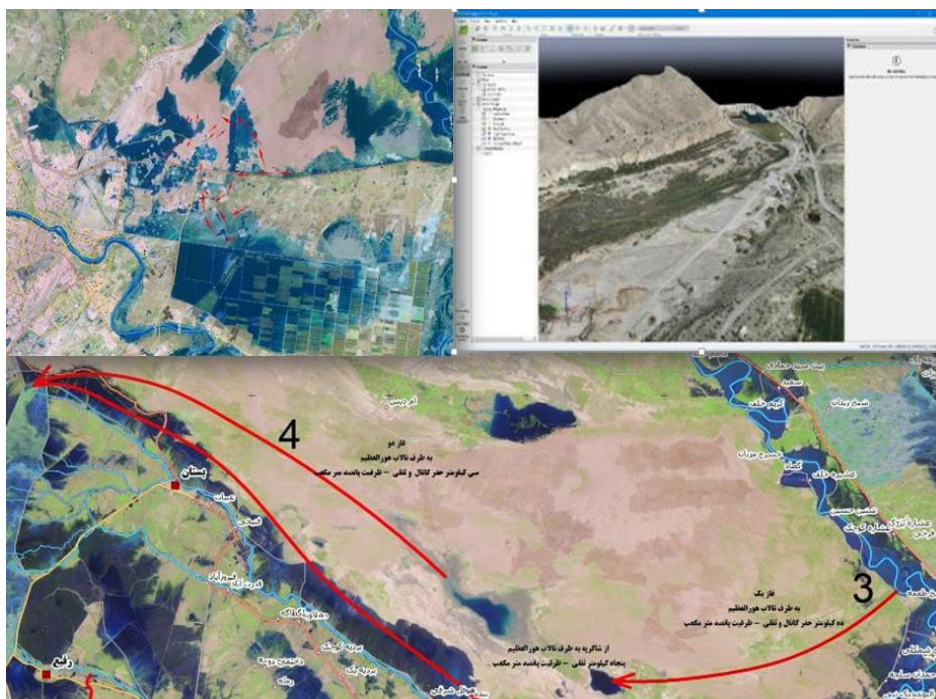
- مدل‌سازی پهنه‌بندی سیلاب در محدوده‌های مد نظر با سناریوهای خروجی محتمل از مخازن سدها
- تولید نقشه خطرپذیری سیل، با استفاده از خروجی مدل‌های ریاضی، تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر اپتیک، داده‌های رادار
- استفاده از سایت‌های تخصصی (شکل ۹) جهت رصد و پایش آخرین وضعیت پخش و گسترش سیلاب
- یافتن مسیرهای تازه و بی‌خطر برای هدایت و تخلیه ایمن سیلاب با استفاده از اطلاعات میدانی، مدل‌سازی ریاضی، تصاویر هوایی پهپادی و عکس‌های ماهواره‌ای (شکل ۱۰)

جدول ۳. بخشی از اقدامات انجام‌شده در قالب میزهای تخصصی در زمان سیلاب

| ردیف | نوع اقدام | تعداد |
|------|--|----------------------------|
| ۱ | صدور هشدارهای درون ساختاری در سیلاب‌های سال آبی ۱۳۹۷ - ۱۳۹۸ | ۱۰۰ |
| ۲ | صدور هشدارها و نامه‌های پیش‌بینی شرایط هیدرولوژیکی و اقدامات مورد نیاز سایر سازمان‌ها و تصمیم‌گیران ارشد استان با محوریت حوضه‌های آبریز کارون، کرخه و دز | ۱۰ |
| ۳ | برگزاری جلسات شورای مشورتی مدیریت سیلاب به ریاست معاون وزیر نیرو | ۲۴ جلسه و روزانه |
| ۴ | به‌کارگیری مدل‌های عددی پیش‌بینی هواشناسی در سطح حوضه‌های آبریز | روزانه ۴ نوبت |
| ۵ | اجرا و به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی جریان ورودی و منابع آبی | روزانه |
| ۶ | حضور مستمر اعضای شورای مشورتی در رصدخانه آب و انرژی و مدیریت تطبیقی شرایط بر اساس آخرین اطلاعات دریافتی | به طور مستمر و ۲۴ ساعته |
| ۷ | هماهنگی کامل با تمام واحدهای سازمانی و مراکز تصمیم‌گیری استانی نظیر استانداری، فرمانداری، شهرداری، نیروهای نظامی و امنیتی، مدیریت بحران | به طور مستمر در زمان سیلاب |



شکل ۹. پایش پهنه سیلاب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و راداری



شکل ۱۰. نمونه مسیرهای انحراف سیلاب، برای کاهش ورود سیلاب به مناطق جمعیتی

- تعیین نقاط بحرانی و نواحی جمعیتی در معرض خطر آب‌گرفتگی با سناریوهای مختلف رهاسازی آب از سدها از طریق انجام توپوگرافی دقیق، مدل‌سازی دوبعدی، کالیبره کردن مدل رقومی زمین (شکل ۱۱)
- تدقیق زمان پیمایش^۱ سیلاب با دبی‌های مختلف با استفاده از مدل‌های تخصصی و تجارب سیلاب‌های رخ داده
- لایروبی اطراف پایه‌های پل‌ها و رفع گلوگاه‌هایی که احتمال ورود سیل به داخل شهر را افزایش می‌دهد (شکل ۱۲)
- تدقیق تراز حفاظت سیلاب برای سیل‌بندهای خارج از محدوده یا داخل شهر



شکل ۱۱. بازه‌های بحرانی برای دبی ۳۵۰۰ متر مکعب در ثانیه در بخشی از بازه شهر اهواز

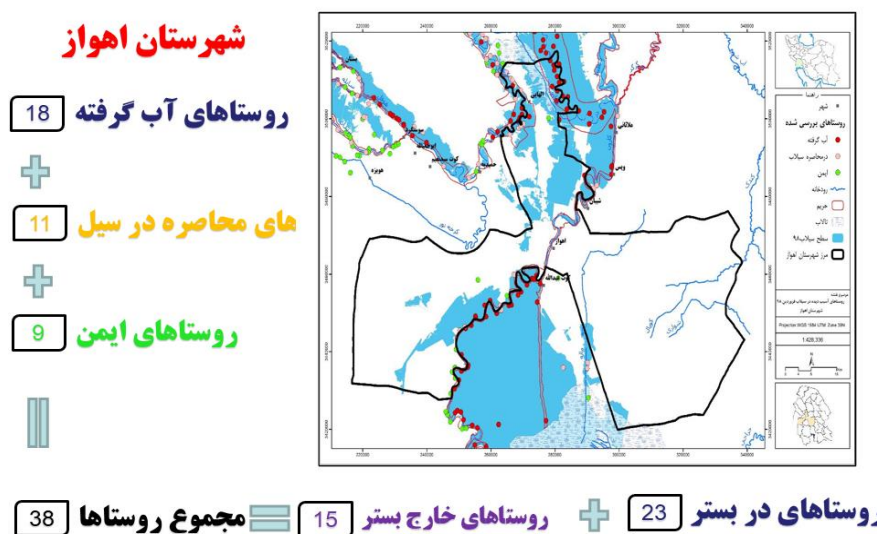


شکل ۱۲. پل‌ها به عنوان گلوگاه‌های گذردهی سیلاب رودخانه از میان شهر اهواز

به منظور انجام موارد یادشده جلسات مداومی در سطوح کارشناسی و مدیریتی، با حضور عالی‌ترین مقامات تشکیل می‌شد. بر اساس اطلاعات و پایش‌های میدانی و نظرات تخصصی کارشناسان، اقدامات لازم برای افزایش تراز سیل‌بندهای حفاظتی یا تقویت آن‌ها انجام می‌گرفت. خروجی مدل‌ها نشان می‌داد چنانچه مدیریت درستی صورت نپذیرد، احتمال عبور دبی بالای ۵ هزار

مترمکعب بر ثانیه در مقطع شهر اهواز وجود دارد، ولی استفاده مؤثر از داده، اطلاعات و خروجی مدل‌ها در کنار تحلیل صحیح سناریوهای مختلف باعث شد حداکثر دبی عبوری در مقطع شهر اهواز از ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه تجاوز نکند (شکل ۱۳). اگر دبی از ۳۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه عبور می‌کرد سیلاب وارد مناطق مسکونی شهر می‌شد. این در حالی بود که بر اساس مدل‌های ریاضی و شواهد میدانی در صورت عدم اجرای اقدامات پیش‌گفته، دبی عبوری در مقطع اهواز از ۵ هزار مترمکعب بر ثانیه عبور می‌کرد و خسارت‌های فراوان مالی و انسانی به بار می‌آورد.

پس از پایان سیلاب و آب‌گرفتگی که تا حدود یک ماه ادامه داشت، اقداماتی نظیر لایروبی، افزایش تراز خاکریزهای حفاظتی، افزایش ظرفیت سیلاب‌برها در دستور کار قرار گرفت. در این شرایط اجتناب از طولانی شدن تخلیه سیلاب از سیلاب‌دشت‌ها تأثیر روانی مناسبی بر روحیه مردم و ساکنان مناطق آب‌گرفتگی ایجاد می‌کرد.



شکل ۱۳. مناطق سیل‌گرفته با دبی ۳۲۰۰ متر مکعب در ثانیه در بازه شهرستان اهواز

۴. نتیجه‌گیری

استفاده مؤثر از داده‌ها و اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آب و هواشناسی، عکس‌ها و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، پایش لحظه‌ای سیلاب از محل خروجی سدها تا زمان رسیدن به مراکز جمعیتی، استفاده از مدل‌ها و سامانه‌های پیش‌بینی بارش و مدل‌سازی جریان، استفاده بهینه از نظرات کارشناسی و تجارب افراد خبره طی یک فرایند مشخص و تعریف شده، نقش مهمی در مدیریت سیلاب فروردین ۱۳۹۸ داشته است. شایان یادآوری است علی‌رغم بزرگی و شدت سیلاب فروردین ۱۳۹۸، مدیریت سیلاب در استان خوزستان بدون تلفات انسانی انجام شد، در حالی که در سیلاب‌های هم‌زمان که با شدت بسیار کمتر در آق‌قلا (استان گلستان)، خرم‌آباد و پلدختر (استان لرستان) رخ داد، متأسفانه تلفات انسانی به همراه داشت.

تجربه سیل فروردین ۱۳۹۸ نشان داد علی‌رغم وجود چند سد مخزنی در بالادست، خطر وقوع سیلاب در محدوده کلان‌شهر اهواز همچنان وجود دارد. همچنین، علی‌رغم انجام اقدامات سازه‌ای، ممکن است پذیرش بخشی از ریسک آب‌گرفتگی منطقی باشد تا بتوان نقاط غیرمسکونی را به عنوان مناطق تسکین سیل در نظر گرفت.

انجام کارهای بعد از سیل نظیر ترفیع جاده‌های ساحل رودخانه در بخشی از شهر که تراز آن پایین بود و در نظر گرفتن آن به عنوان خاکریز حفاظتی، ترفیع سواحل رودخانه در محدوده پل‌ها برای جلوگیری از آب‌گرفتگی جاده‌های ساحلی در زمان تردد ماشین‌آلات، صدور مجوزهای مربوط به ساخت‌وساز مشروط به رعایت ترازهای ارتفاعی مطابق سیلاب با دوره بازگشت ۲۰۰ساله معادل جریان با دبی ۵ هزار متر مکعب بر ثانیه یا ایجاد تمهیداتی برای کنترل سیل، از جمله اقدامات ضروری پس از پایان سیل هستند.

مشارکت مردم به عنوان ذی‌نفع اصلی در مقابل وقوع سیل، بزرگ‌ترین عامل موفقیت یا شکست در شرایط وقوع سیل است که جلب مشارکت آن‌ها از طریق تدوین دستورالعمل‌های خاص امکان‌پذیر است.

به دلیل ضعف عملیاتی در زمینه بیمه سیل و پادسیل سازی که هم هزینه های دولت و هم ریسک دخل و تصرف در سیلاب دشت را کاهش می دهد، پیشنهاد می شود مسئله بیمه سیل و سازوکار اعمال آن در دستور کار جدی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می شود شرح وظایف اورگان های دولتی مشخص و تفکیک شود تا امکان استفاده از ظرفیت دستگاه های معین برای تمام نقاط در معرض خطر استان به خصوص شهرها فراهم شود.

سایر پیشنهادها به شرح ذیل هستند:

- به روزرسانی نظام نامه سیلاب با هماهنگی و تعامل بین کلیه دستگاه های اجرایی
- تهیه ماتریس شرح وظایف و تقسیم کار بین عوامل اجرایی، به منظور پیشگیری از تداخل کارها و اطمینان از انجام به موقع و صحیح امور محول شده
- هوشیاری مدیریت بحران و برگزاری مانور سیلاب در بازه های زمانی مشخص، به منظور ایجاد آمادگی های لازم
- اطمینان از بانک ماشین آلات مورد نیاز
- به روزرسانی و تجهیز سیستم های پیش بینی و هشدار نظیر تقویت سامانه های پیش بینی بارش، تجهیز و تقویت شبکه سنجش آب و هواشناسی، به روزرسانی مدل ها و سامانه های تخصصی و تقویت بدنه کارشناسی
- به روزرسانی سیستم های بیمه، فرهنگ سازی و الزام ذی نفعان برای استفاده از صنعت بیمه، الزام بانک ها به برآورد و پرداخت به موقع خسارت ها
- به روزرسانی قوانین مرتبط با ساخت و سازها توسط سازمان نظام مهندسی و الزام ذی نفعان به پیش بینی و ایمن سازی ساختمان هایی که در معرض سیل قرار دارند.
- استفاده از نتایج اجرای مدل پخش سیلاب با دبی های ایمن به منظور شناسایی نقاط آب گرفته شده
- ایمن سازی روستاها (ترمیم و ترفیع دایک ها، احداث رینگ حفاظتی، ترفیع رقوم کف منازل)
- مدیریت سیلاب دشت ها، شناسایی نقاط امن و خطرپذیر بر اساس مطالعات پهنه بندی سیلاب
- تهیه و دیوی مصالح در نقاط خطرپذیر برای شرایط اضطرار
- ایجاد سازوکار لازم برای ترمیم و بازسازی سازه های مهندسی رودخانه (تثبيت سواحل، سیل بند و میان بر) در شرکت های آب منطقه ای
- اطلاع رسانی به موقع به عموم در زمینه خروجی سدها و وضعیت پخش سیل و میزان خطرپذیری آن و مدیریت فضای مجازی
- الزام مسئولان شهری و روستایی برای اجرای طرح های پادسیل سازی به منظور دبی های سیلابی بالاتر از دوره بازگشت های طراحی
- مستندسازی سیل (ایجاد و آموزش یک اکپ جهت تهیه مستند در زمان سیلاب)
- شناسایی مداوم نقاط خطرپذیر، موانع، انسدادها و اطمینان از هدایت مطمئن جریان به سمت پایین دست و مسیر انحراف سیل
- استفاده از رویکرد جدید هوش مصنوعی، یادگیری عمیق^۱، اینترنت اشیا، شبکه های عصبی^۲، دوقلوهای دیجیتال^۳ و غیره در پیش بینی، پایش و مدیریت سیلاب شهری

تشکر و قدردانی

به این وسیله از مؤسسه آموزش عالی علمی - کاربردی شهرداری تهران و مدیریت نوآوری، توسعه فناوری و پژوهش های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان به دلیل حمایت از چاپ مقاله در فصلنامه سیاست گذاری پیشرفت شهری تشکر و قدردانی می شود.

منابع

1. Sardashti M. and Soltani S. The role of flood management in sustainable urban development. National Conference on Urban Flood Management; 2010 Aug; Tehran. [Persian]
2. Arab D. Report on the trend of growth in flood damage amounts in recent decades. Tehran; 2016. [Persian]
3. Ministry of Energy. Flood Management Regulations. Tehran: Rahbord Danesh Pooya Engineering Research Institute; 2021. [Persian]
4. Khuzestan Water and Power Authority. Request for Proposal (RFP) for the study and implementation of water and energy observatory infrastructure. Ahvaz: The Authority; 2020. [Persian]
5. Ghaffari A. and Soltani N. Planning for flood response in urban areas. Crisis management. 2016;8(3), 56-67. [Persian]
6. Shirzadi, et al. Urban flood susceptibility mapping using deep and machine learning algorithms as a management tool: A case study of Sanandaj City, Iran. Ecological Indicators. 2025;178, 113886
7. Wang, et al. Understanding the Use of Heterogenous Data in Tackling Urban Flooding: An Integrative Literature Review. Water. 2022;14(14), 2160.
8. Stevens, et al. Predicting the impact of urban flooding using open data. Royal Society Open Science. 2016;3(5), 160013.
9. Escarameia, et al. Quantifying the flood resilience properties of walls in typical UK dwellings. Building Services Engineering Research and Technology. 2007;28(3), 249-263.
10. Golz, et al. Assessing the effects of flood resilience technologies on building scale. Urban Water Journal, 2015;12(1), 30-43.
11. Jha, et al. Urban flood management: a comprehensive review. World Bank Report; 2012.
12. Zhou, et al. Urban flood modeling using deep learning: a review. Water. 2019;11(12), 2550.
13. Dong, et al. A comprehensive review of urban flood resilience assessment. Journal of Hydrology. 2020;590, 125225.
14. Baitullah Al Amin M, Sujono J and Triatmadja R. Urban Flood Mitigation by Implementing LIDs (Case Study: Bendung Watershed in Palembang City). Journal of Water Management Modeling. 2024; DOI: <https://doi.org/10.14796/JWMM.C526>.
15. García-Pérez et al. Advanced Modeling of Flash Floods in Mediterranean Urban Areas Using High-Resolution Data. Water Resources Research. 2022; DOI:10.1029/2022WR030845.
16. Walaa SE and Nada A. Practical Steps for Urban Flood Risk Mitigation Using Nature-Based Solutions, A Case Study in New Cairo, Egypt. Land 2025;14(3), 586.
17. García-Pérez et al. Advanced Modeling of Flash Floods in Mediterranean Urban Areas Using High-Resolution Data. Environmental Science & Policy. 2022; DOI:10.1029/2022WR030845.
18. Rani, et al. Urban Flood Risk Management Based on Asset Life Cycle Method for Drainage System: Case Study Gedebage Area, Bandung, Indonesia. Journal of Environmental & Earth Sciences. 2025;7(6), 91-110.
19. Nasiri A, et al. Urban Flood Zoning Using an Integrated Hydrological-Hydraulic Watershed Modeling Approach, Case Study: Districts 21 and 22 of Tehran. Disaster Prevention and Management Knowledge. 2025;14(4), 392-405.
20. Rossi et al. Integration of IoT Sensors and AI for Real-Time Flood Monitoring in Smart Cities. Sensors. 2022; DOI:10.3390/s22072685.
21. Karimi GH. Technical report on the Dez, Karun, and Karkheh rivers flood (March 2019) in Khuzestan: Perspectives on floodplain inundation management. Ahvaz: Khuzestan Water and Power Authority, Water and Environment Models Office; 2019. [Persian]
22. Climate Research Institute, Meteorological Organization. Seasonal forecast report of the country. Tehran: The Institute; 2018 Aug 25. [Persian]
23. Khuzestan Water and Power Authority (KWPA). Flowchart of Incident Management System (IMS) and Incident Command System (ICS). Ahvaz: The Authority; 2024. [Persian]