Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

A Smart IoT-VR Framework for Designing Urban Flood Warning Systems

Ramtin Tavoosi Rad[1] | Mohammad Ansari Ghojghar[2*]

1. Master Candidate, Department of Reclamation of arid and mountainous regions Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ramtintavosirad@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Reclamation of arid and mountainous regions Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ansari.ghojghar@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 13 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 11 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Internet of Things (IoT),
Warning System,
Integrated Management,
Virtual Reality (VR).

ABSTRACT

Urban floods are among the most significant environmental, social, and economic natural hazards in urban watersheds. This research aims to explore the feasibility of utilizing cutting-edge Internet of Things (IoT) and Virtual Reality (VR) technologies for designing smart urban flood warning systems. Using a descriptive-analytical approach based on previous studies and library resources, this research analyzes the concept of urban flooding, flood warning systems, and the impact of IoT and VR on flood control. Flood warning systems play a crucial role in predicting and managing urban floods. IoT is employed for collecting, processing, and analysing large-scale environmental data and sharing the obtained information with other systems in a cloud-based shared environment. VR can be used to materialize scenarios and simulate them to find optimal solutions. The results of this research indicate that the use of these technologies leads to increased prediction accuracy, reduced response time during crises and lower costsduring urban floods.

Cite this article: Tavoosi Rad, R. & Ansari Ghojghar, M. (2025). A Smart IoT-VR Framework for Designing Urban Flood Warning Systems. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 231-245. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033

© Ramtin Tavoosi Rad, Mohammad Ansari Ghojghar
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033

Introduction

Floods are consistently among the most dangerous and serious natural threats to humans, causing significant economic, social, and infrastructural. The ability to predict and control floods is now of paramount importance. Urban flooding occurs when the capacity of both natural and drainage systems is insufficient to handle rainfall and runoff volume in an urban area. The advancements in technology and artificial intelligence now allow for accurate predictions at various levels of natural disaster control, including floods, leveraging the rapid learning and analytical capabilities of these technologies. Using smart technologies for disaster prevention and early warnings is a recent trend, rapidly advancing due to increased information availability and the combination of artificial intelligence, big data, and the Internet of Things. Flood detection and warning systems are vital for predicting flood-prone areas.

The metaverse is a digital world allowing for the realistic depiction of physical-world phenomena in a virtual environment. Virtual Reality (VR), a promising tool in various research areas, is increasingly utilized. However, the integration of IoT and metaverse VR in flood warning systems has been limited. This research goal is to provide a smart, integrated framework using modern technologies like IoT and the metaverse's VR to design and build flood warning systems.

Methodology

Because IoT systems exchange significantly more data than traditional user-device interactions, they generate a large volume of data. Sharing this IoT data in a cloud environment enables extensive data analysis to support future decision-making. The large volume and diversity of shared data improve the accuracy of predictions in similar situations. IoT-based flood warning systems comprise multiple layers for data acquisition and transmission. A sensor layer uses highly sensitive sensors to collect environmental data. This massive data volume is then transmitted to a cloud environment using wireless networks and IoT. Once in the cloud, advanced AI algorithms analyze the data, identifying and extracting theoretical characteristics of water flow energy. Emerging technologies like Virtual Reality (VR) therefore greatly facilitate the design of warning systems.VR create a realistic experience, a virtual environment closely mirroring the real-world. By placing individuals in simulated high-risk situations, their reactions are evaluated. Repeating this process improves decision-making skills, allowing the lessons learned to be used to train others and further enhance the virtual environment.

Conclusion

This research clearly demonstrates that combining IoT and VR technologies creates an innovative and efficient model for designing urban flood warning systems. This not only reduces response times and improves flood prediction but also enhances public awareness and preparedness. IoT can be used to collect, evaluate, and analyze large-scale data from specialized environmental sensors. VR's ability to create realistic simulations is beneficial for training citizens and emergency personnel, improving their ability to remain calm and effectively manage situations. This prepares decision-makers for various scenarios, preventing unforeseen events and mitigating the element of surprise. With prior preparation and appropriate measures, damage from destructive climate events is reduced, citizens' lives return to normal life and significant savings are achieved in terms of lost capital and expenses. Therefore, using VR and IoT in flood warning systems offers significant social and economic advantages. In general, employing intelligent systems for managing natural phenomena is crucial, transforming recorded observations into modern technologies applicable to disaster-prone areas.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https://judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۲-۶۵۶۴

ارائۀ چارچوب هوشمند IoT-VR به منظور طراحیِ سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب شهری

رامتین طاوسی راد[۱] | محمد انصاری قوجقار[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدۀ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ramtintavosirad@ut.ac.ir
۲. نویسندۀ مسئول، استادیار، گروه مهندسی احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدۀ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ansari.ghojghar@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:
اینترنت اشیا،
سیستم هشدار،
مدیریت یکپارچه،
واقعیت مجازی.

چکیده

سیلاب‌های شهری، از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در آبخیزهای شهری هستند. برای پیشگیری و مدیریت یکپارچۀ بلایای طبیعی باید از راهکارهای هوشمندانه و به‌روز استفاده کرد. این پژوهش، با هدف امکان به‌کارگیریِ فناوری‌های نوین اینترنت اشیا و واقعیت مجازی، به منظور طراحیِ سامانه‌هایِ هشدارِ هوشمند سیلاب شهری انجام شد. در پژوهش حاضر، با استفاده از مطالعات پیشین انجام‌شده و منابع کتابخانه‌ای به روش توصیفی ـ تحلیلی، مفهوم سیلابِ شهری، سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب، تأثیر اینترنت اشیا و واقعیت مجازی بر کنترل پدیدۀ سیلاب مورد تحلیل قرار گرفته است. سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب برای پیش‌بینی و مدیریت سیلاب شهری نقش مهمی را ایفا می‌کنند. از اینترنت اشیا به منظور جمع‌آوری، پردازش، تحلیل داده‌های کلان محیطی و اشتراک‌گذاری اطلاعات به‌دست‌آمده در محیط اشتراکی ابری با سایر سامانه‌ها بهره برد و از واقعیت مجازی می‌توان به منظور عینیت‌بخشی به سناریوها و شبیه‌سازی آن‌ها برای یافتن راهکارهای بهینه برای هر سناریوی ممکن و آمادگی کامل در برابر سناریوها استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از این فناوری‌ها به افزایش دقت پیش‌بینی‌ها، کاهش زمان مورد نیاز برای کنترل بحران و کاهش هزینه‌ها هنگام وقوع سیلاب شهری می‌انجامد. این پژوهش می‌تواند یک گام مهم در جهت مدیریت هوشمند فضای شهری هنگام وقوع بلایای طبیعی و همچنین کاهش خطرات پدیده‌های حدی نظیر سیلاب منجر شود.

استناد طاوسی راد، رامتین و انصاری قوجقار، محمد (۱۴۰۴). ارائۀ چارچوب هوشمند IoT-VR به منظور طراحیِ سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب شهری. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۲۳۱–۲۴۵.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033

© رامتین طاوسی راد، محمد انصاری قوجقار
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033

مقدمه

با افزایش سریع دما، شدت جابه‌جایی مولکول‌های هوا افزایش می‌یابد که یکی از پیامدهای اصلی و نگران‌کنندهٔ آن، وقوع سیلاب است. به نحوی که پیش‌بینی می‌شود در سراسر جهان بیش از یک میلیارد نفر در خطر وقوع این پدیده ناشی از تغییرات آب‌وهوایی هستند [۱]. سیلاب‌ها همواره جزء خطرناک‌ترین و جدی‌ترین تهدیدهای طبیعی برای انسان‌ها بوده و طی سالیان گذشته از بعد اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی، خسارت‌های قابل توجهی به جوامع انسانی وارد می‌کنند [۲]. همچنین، سیلاب رتبهٔ اول را در بین بلایای طبیعی از نظر فراوانی دارد [۳]. طبق گزارش‌های آماری، خسارت‌های ناشی از سیلاب، سالانه به میلیاردها دلار می‌رسد [۴]. امروزه توانایی پیش‌بینی و کنترل سیلاب‌ها اهمیت زیادی دارد. گرمایش جهانی و تغییر اقلیم که از بزرگ‌ترین چالش‌های دهه‌های اخیر هستند، باعث تغییر الگوها و پدیده‌های جوی در سراسر دنیا شده است [۵]. همچنین، بر اثر تغییرات جوی و کاربری اراضی، وقوع سیلاب در نقاط مختلف در حال افزایش است که این امر موجب تحمیل خسارت‌های زیادی به نواحی شهری و غیر شهری می‌شود [۶]. سیلاب شهری زمانی اتفاق می‌افتد که ظرفیت هر دو سیستم طبیعی و زهکشی نتواند پاسخ‌گویِ حجم بارش و رواناب در یک منطقهٔ شهری باشد. رواناب سطحی بالا ناشی از بارندگی شدید به دلیل سطوح نفوذناپذیر و تراکم ساختمانی بالا، باعث تشدید سیلاب شهری می‌شود [۷]. به همین‌دلیل، باید با در نظر گرفتن تغییرات، از به وجود آمدن خسارت‌های آتی جلوگیری شود. تغییرات محیطی اهمیت ویژه‌ای دارد و به نظر می‌رسد که پیش‌بینی سیل در کشورهای درحال‌توسعه، در حال پیشرفت است [۸]. روابط بارش و رواناب و ایجاد سیل در یک منطقه، به منظور پیش‌بینی سیل‌خیزی، لزوماً از روابط خطی پیروی نمی‌کند، بلکه این پدیده باید به صورت یک رابطهٔ غیرخطی و پوشیده بررسی شود [۹]. یکی از موضوعات مهم در زمینهٔ آمادگی در برابر پدیدهٔ سیلاب، پیش‌بینی و آمادگی افراد برای مقابله با سیلاب است [۲]. متأسفانه اکثر راه‌حل‌هایی که در حال حاضر در مدیریت سیلاب استفاده می‌شوند، با مشکلات بسیاری مواجه هستند که می‌توان به مواردی همچون تأخیر و دقت سطح پایین پیش‌بینی‌های مدل‌سازی‌شده اشاره کرد. به‌علاوه، راه حل‌های معمول، تمام نقاط ناحیهٔ شهری را دارای سطح یکسانی از آسیب‌پذیری در نظر می‌گیرند، در حالی که هر منطقه در ناحیهٔ شهری، ممکن است از لحاظ شرایط توپوگرافی و ... متفاوت باشد [۱۰]. در دهه‌های اخیر، محدودیت‌های مقابله با سیلاب به وسیلهٔ روش‌های سنتی و فقط با استفاده از شیوه‌های ساختاری (ساخت سد و ...) ثابت شده است [۱۱]. پیش‌بینی‌های دقیق به منظور ارتقای اعتماد جامعه انجام می‌گیرد، به طوری که هنگام دریافت هشدار، شهروندان پاسخ لازم را نشان دهند. امروزه، با توجه به ظهور و پیشرفت روزافزون فناوری‌ها و هوش مصنوعی، این امکان به عمل آمده تا با استفاده از قدرت یادگیری و تجزیه‌وتحلیل بسیار سریع فناوری‌ها، به پیش‌بینی‌های دقیق در سطوح مختلفِ کنترلِ بلایای طبیعی از جمله سیلاب دست یابیم [۱۲]. استفاده از فناوری‌های هوشمند برای پیش‌گیری از بلایا و هشدارهای اولیه یک روند جدید در سال‌های اخیر است [۱۳]. پیشرفت این فناوری‌ها در سالیان اخیر اوج بسیار زیادی گرفته و با فوران دریافت اطلاعات و همچنین ترکیبی از هوش مصنوعی[1]، داده کلان و اینترنت اشیا[2]، این پتانسیل را دارد پدیده‌های غیرخطی را با دقت بیشتری پیش‌بینی کرده و همچنین همگرایی تکنیک‌های پیشرفته برای تحلیل سیل را تسریع می‌کند [۱۴]. سیستم‌های شناسایی و هشدارِ سیلاب نقش حیاتی در پیش‌بینی مناطق مستعد سیلاب و ارسال پیام‌های هشدار از طریق پیامک به واحدهای پاسخ‌دهی اضطراری و ساکنان آن مناطق ایفا می‌کنند [۱۵]. دنیای متاورس[3] یک دنیای دیجیتالی است که به ما توانایی ساختن و نشان دادن پدیده‌های دنیای فیزیکی را به صورت کاملاً واقع‌گرایانه در یک محیط مجازی می‌دهد. متاورس یک یا چند محیط مجازی، فیزیکی و دیجیتالی است که با همگرایی بین اینترنت و فناوری‌های وب تجهیز می‌شود. فضای متاورس، دنیای مجازی و فیزیکی را بنا به نیازهای مختلف به درجات مختلف ادغام کرده است. به عنوان مثال، واقعیت افزوده[4]، واقعیت ترکیبی و واقعیت مجازی[5]، در این طیف تعریف می‌شود [۱۶]. واقعیت مجازی به عنوان ابزاری مفید و امیدوارکننده در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی، روزبه‌روز کاربرد بیشتری پیدا می‌کند. چندین حوزه

1. Artificial Intelligence
2. Internet Of Things
3. Metaverse
4. Augmented Reality
5. Virtual Reality

به طور فزاینده‌ای از پتانسیل آن بهره می‌برند [۱۷]. پیشرفت‌های جدید در فناوری‌ها، فرصتی برای جمع‌آوری و ترکیب داده‌های اجتماعی با مشاهدات و تصاویر میدانی به وجود می‌آورد که می‌توان این اطلاعات را به یک برنامهٔ تحت وب تبدیل کرد تا خطرات سیلاب را نظارت و ارزیابی کند و این اطلاعات را به صورت به‌روز با شهروندان ارتباط دهد [۱۸].

در مطالعات انجام‌گرفته، ادغام فناوری‌های اینترنت اشیا و فضای متاورسی واقعیت مجازی در سامانه‌های هشدارِ سیلاب کمرنگ بود. از آنجا که کشور ایران درگیر پدیده‌های حدی اقلیمی است، برای کاهش خسارت‌های ناشی از آن، طراحیِ سامانه‌های هشدار، از ملزومات مهم برای مدیریت یکپارچه این‌گونه پدیده‌ها است. در مطالعهٔ حاضر، سعی شده است برای اولین‌بار با تلفیق فناوری اینترنت اشیا و فضای متاورسی به هوشمندسازی مدیریت یکپارچهٔ پدیده‌های هیدرولوژیکی، کمک شایانی کرده باشد. هدف از این پژوهش، ارائهٔ چارچوبی هوشمند و تلفیقی از فناوری‌های نوین همچون اینترنت اشیا و واقعیت مجازیِ صنعتِ متاورس به منظور طراحی و ساخت سیستمهای هشدارِ سیلاب است.

مفهوم سیلاب و اهمیت پیش‌بینی آن در نواحی شهری و غیرشهری

سیلاب‌ها از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در زمین هستند که هرساله خسارت‌های بسیار زیادی به زیرساخت‌ها، جوامع طبیعی و انسانی وارد می‌کنند. افزایش فعالیت‌های انسانی و شهرنشینی، تغییر در اکولوژی طبیعی محیط، تغییرات اقلیمی و استفادهٔ نادرست از منابع طبیعی، باعث افزایش شدت و فراوانی وقوع سیلاب در نواحی شهری شده است [۴]. زمانی که باران‌های سنگین و مداوم به داخل زمین نفوذ می‌کند، به اشباع زمین منجر می‌شود. در این وضعیت، سطح آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد که باعث ایجاد سیلاب در سطح زمین می‌شود [۱۹]. هنگام سیلاب، آب به طور عمده مناطقی را که معمولاً توسط آب پوشیده نمی‌شوند، می‌پوشاند و در نتیجه، موجب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌های حیاتی می‌شود. سیلاب شهری به جابه‌جایی جمعیت‌های انسانی، اختلال در فعالیت‌های اقتصادی و در بدترین موارد، شیوع بیماری‌ها و مرگ‌ومیر منجر می‌شود [۸]. به وجود آمدن سیلاب در فضای شهری علاوه بر آسیب‌های معمول، باعث به وجود آمدن اختلالات گستردهٔ اجتماعی، مرگ‌و میر و به هم خوردن نظم اجتماعی کشور می‌شود. همین موضوع اهمیت پیش‌بینی زمان و مکان سیلاب در فضای شهری را دوچندان می‌کند. یکی از ویژگی‌های مهم مدیریت حوضه‌های آبخیز، مدیریت سیل است. شدت زیان‌های اقتصادی مرتبط با سیل، نقش مدیریت سیلاب را برجسته می‌کند. تأثیرگذاری عوامل مختلف و وجود روابط غیرخطی بین آن‌ها، پیش‌بینی این پدیده را دشوار می‌کند [۹]. در گذشته، از روش‌های سنتی و مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی سیلاب استفاده می‌شد. مدل‌سازی هیدرولوژیکی معمولاً در پیش‌بینی سیلاب‌ها کمتر مؤثر است، این امر در کشورهای مختلف درگیر با سیلاب که مدل‌های سنتی هیدرولوژیکی را پیاده‌سازی کرده‌اند، ثابت شده است. به منظور مقابله با ناکارآمدی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مدیریت ریسک سیلاب، نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینهٔ چگونگی استفاده از فناوری‌های جدید، نظیر یادگیری ماشین و اینترنت اشیا وجود دارد. فناوری‌های نوین می‌توانند در مدیریت بحران و کاهش تأثیرات برخی از انواع بلایای طبیعی، از جمله سیلاب، نقش مفیدی ایفا کنند [۱۰].

سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب

مهم‌ترین دلیل اهمیت سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب، آگاهی به‌موقع افراد از احتمال وقوع سیلاب در مکان‌هایی است که در معرض خطر وقوع این بلای طبیعی هستند. این اطلاعات می‌تواند برای پیش‌بینی احتمال وقوع، زمان وقوع و شدت سیلاب، استفاده شود. سازمان‌ها و افراد به وسیلهٔ سیستم‌های هشدار، از وقوع خطر مطلع می‌شوند تا خسارت‌های واردشدهٔ احتمالی به حداقل برسد. سیستم‌هایِ هشدارِ سیلاب اجزای اصلی دارند تا به نحو احسن وظیفهٔ خود را انجام دهند. سیستم‌هایِ هشدارِ سیلاب شامل تجهیزات، افراد و رویه‌هایی برای شناسایی سیلاب‌های در حال وقوع و انتشار هشدار به عوامل مربوطه است. پس از انتشار هشدار، یک برنامهٔ یکپارچه باید قبل و هنگام وقوع سیلاب اجرا شود تا خطرات احتمالی دفع شود [۲۰].

سیستم سامانه‌های هشدارِ سیلاب از زیرسیستم‌هایی تشکیل شدند تا عملکرد مؤثری از خود نشان دهند. زیرسیستم شناسایی و پیش‌بینی وقوع سیل وظیفهٔ بررسی ابعاد، زمان وقوع، حجم سیل، دبی حداکثر، نحوهٔ مدیریت مخازن، تعیین مناطق سیل‌گیر و ناحیه‌بندی از نظر نوع خطر سیلاب را انجام می‌دهد. زیرسیستم هشدار، انتشار پیام‌ها را در هر منطقه عهده‌دار است. زیرسیستم

واکنش اضطراری، تخلیهٔ موقت مناطق سیل‌گیر قبل از وقوع سیل، پایش و بهره‌برداری از سازه‌های کنترل سیل و سازماندهی مراکز کمک‌رسانی را عملی می‌کند. زیرسیستم بازیافت پس از اتمام سیلاب، وظیفهٔ جست‌وجو و نجات سیل‌زدگان، بازگرداندن مناطق تخلیه‌شده، برگرداندن سرویس‌ها و ارزیابی خسارت‌ها را به عهده دارد. زیرسیستم مدیریت، پیوسته باعث ارائهٔ برنامه‌های آموزشی برای بالا بردن سطح آگاهی مردم، نگهداری و تعویض تجهیزات، برگزاری تمرین‌ها و مانورها برای شبیه‌سازی بحران می‌شود [۲۱].

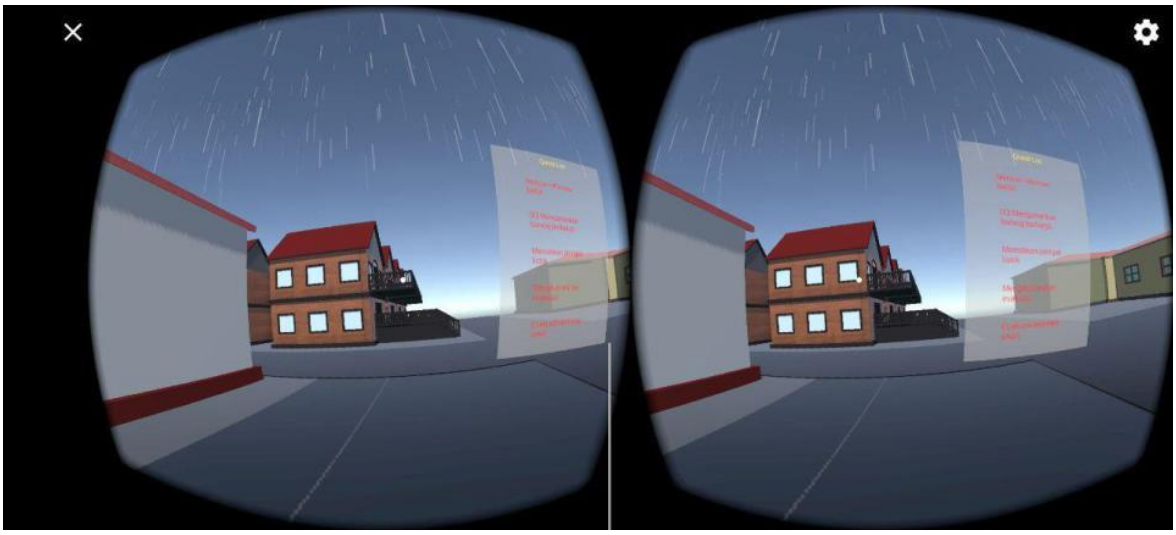
متاورس و نقش آن در مدیریت سیلاب

نتایج بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد اغلب ساکنان مناطق سیل‌خیز از قدرت تخریبی سیلاب مطلع نیستند و به نوعی آن را دست‌کم می‌گیرند؛ به همین علت اغلب توجهی به عواقب آن ندارند [۱۹]. متاورس در حال انقلاب در دنیای اینترنت است. این جهان مجازی جدید قادر است فراتر از شکل سه‌بعدی، دنیای فیزیکی و دیجیتال را ترکیب کند. متاورس، که تا مدت‌ها یک مفهوم انتزاعی بود، اکنون اهمیت زیادی پیدا کرده و توجه مصرف‌کنندگان، سرمایه‌گذاران، برندها و بازیگران بزرگ جهانی را به خود جلب کرده است [۲۲]. متاورس تصور تمام افراد را در مورد چیزهایی که طی سالیان می‌شناسیم را عوض خواهد کرد؛ از چگونگی ارتباط برقرار کردن تا کسب درآمد تا سرگرمی و ... اما شایان یادآوری است که متاورس یک ابزار نیست و فقط مکانی برای متصل کردن ابزارهای مختلف به یکدیگر برای انجام کارهای مختلف است. به عنوان یک تعریف جامع، متاورس تجربیات سه‌بعدی را بر اساس فناوری واقعیت مجازی و واقعیت افزوده ارائه می‌دهد. به نظر می‌رسد که این فضا یک فضای سه‌بعدی مجازی در رسانه‌ها است [۲۳].

واقعیت مجازی (VR)

فناوری واقعیت مجازی، یک محیط کاملاً دیجیتال است که دنیای مجازی ساخته‌شده در موازاتِ دنیای فیزیکی را به وسیلهٔ ابزارهای خاص به کاربران نشان می‌دهد تا آن‌ها را به طور کامل غرق در فضا شده و از اشیای مجازی موجود در این فضا استفاده کنند. این امر به وسیلهٔ رعایت یکسری از الزامات محیط‌های مجازی مانند داشتن حس مشترک از فضا، حس مشترک حضور هم‌زمان، استفاده از ابزارهای مختلف مجازی برای برقراری ارتباط و همچنین، تغییر در اشیای مجازی اطراف صورت می‌گیرد [۱۶]. واقعیت مجازی، فناوری نوین و به‌روزی است که به عنوان ابزاری مهم در تحقق اهدافی همچون طراحی، مهندسی، بازبینی طرح، بازرسی، آموزش افراد و ... شناخته شده است. علاوه بر این، مدل‌سازی در واقعیت مجازی آسان‌تر، طبیعی‌تر و شهودی‌تر از نرم‌افزارهای طراحی دستی و سنتی است [۲۴]. از واقعیت مجازی در عینیت‌بخشی به پدیده‌های مختلف استفاده می‌شود. عینیت‌بخشی پدیده‌های طبیعی به افراد حاضر در این مناطق کمک می‌کند تا آمادگی خود را هنگام مواجهه با بلایای طبیعی بالا ببرند و غافلگیر نشوند [۲]. کاربرد واقعیت مجازی در صنایع مختلف در حال پیشرفت روزافزون است. برای مثال، میرس و همکاران از واقعیت مجازی برای نمایش وضعیت آب‌وهوا در پیش‌بینی‌های ماهواره‌ای آب‌وهوایی استفاده کردند. اوربس و همکاران از این فناوری برای نمایش نتایج مهندسی خود بهره گرفتند. در این پژوهش، کاربرد فناوری واقعیت مجازی در نشان دادن عینیِ نتایج در مهندسی مکانیک انجام شد، به طوری که در دو مطالعهٔ موازی برای مقایسهٔ نتایج، یک گروه به صورت دستی و در نرم‌افزار CAD[1] مدل‌سازی خود را انجام داده و گروه دوم با استفاده از واقعیت مجازی مدل‌سازی را انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده، سرعت بیشتر و سهولت کار فناوریِ واقعیت مجازی را به‌وضوح نشان داد اگرچه معایبی هم داشت. برای مثال، کمبود دقت آن به نسبت مدل دستی دسکتاپ و یا عدم توانایی برای بازگشت در مراحل مدل‌سازی، اصلاح خطاهای اندازه‌گیری و ...، این مشکلات هم به دلیل نو بودن این فناوری قابل حل و تصحیح است. نتیجهٔ مهم این مطالعه، توانایی تبدیل مدل‌ها به اجسام سه‌بعدی و جامد بود که موفقیت‌آمیز انجام شد [۲۴]. در مواجهه با بلاهای طبیعی، اوی و همکاران یک سیستم با استفاده از واقعیت مجازی در جهت تمرین در برابر آتش‌سوزی طراحی کردند که به‌خوبی محیط مجازی را طراحی و افراد را در یک تجربهٔ واقع‌گرایانه قرار می‌داد [۲۷]. همچنین، سرمت و دمیر یک بازی چهارنفره طراحی کردند تا افراد را از خطرات سیلاب و مواجهه با این بلای طبیعی آگاه سازد [۲۸].

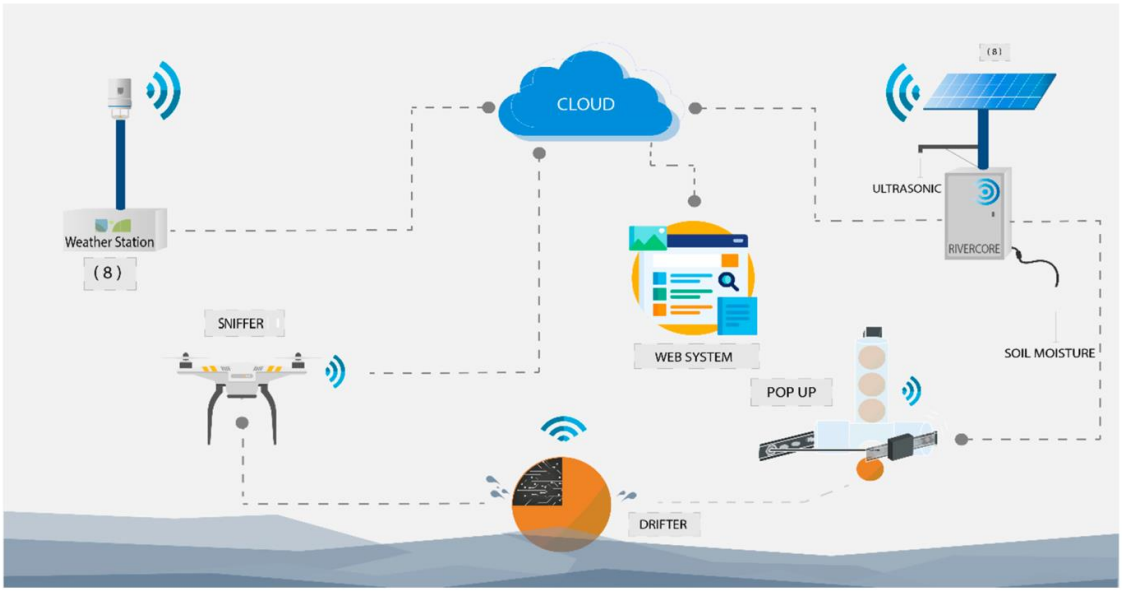
1. Computer-aided design



شکل ۱. تصویر ساخته‌شده درمحیط واقعیت مجازی [۲]

اینترنت اشیا (Internet Of Things)

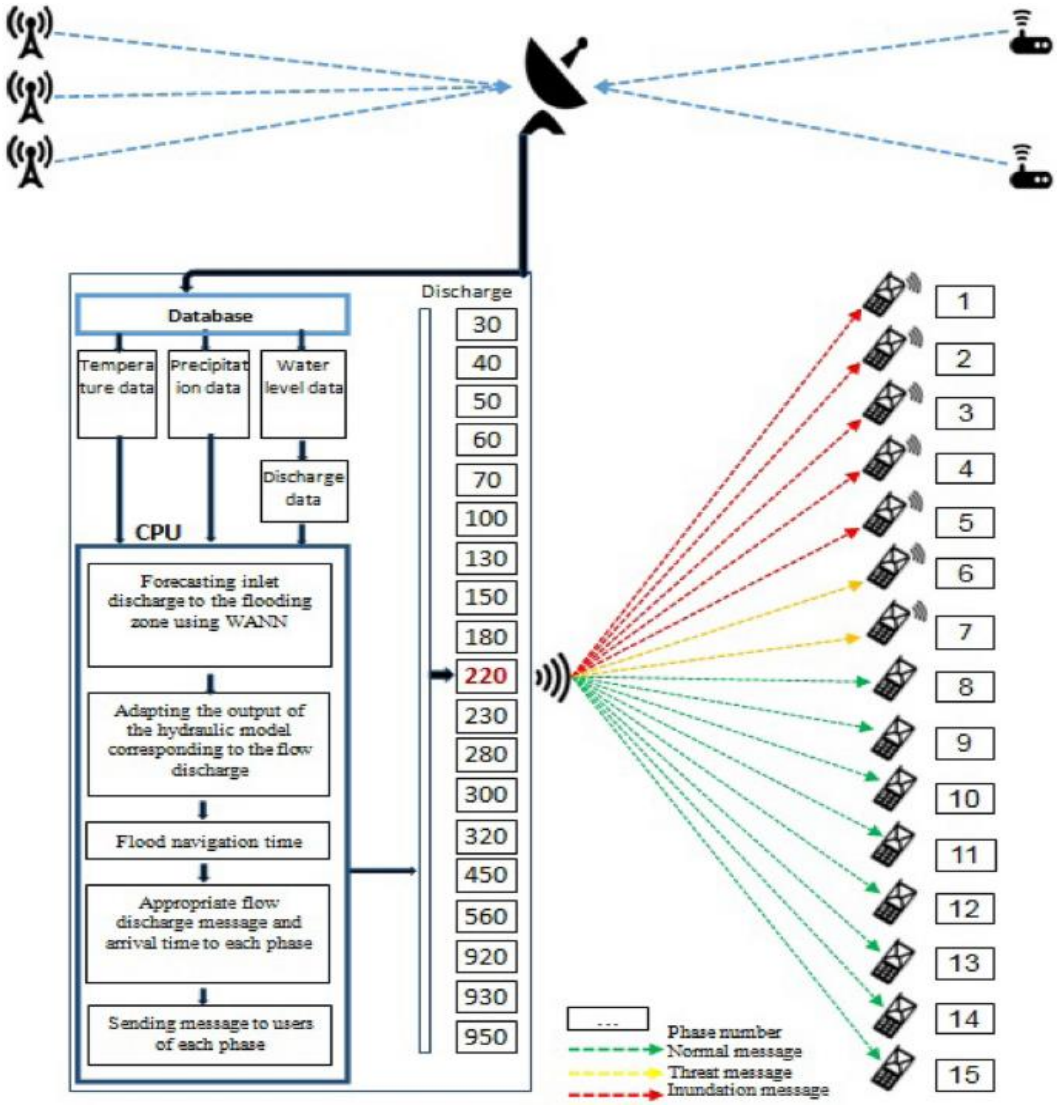
از آنجا که سیستم‌های اینترنت اشیا تبادل داده‌های بیشتری نسبت به تبادلات بین کاربران و دستگاه‌ها دارند، حجم بالایی از داده‌ها تولید می‌شود. با اشتراک‌گذاری داده‌های اینترنت اشیا در محیط ابری[1]، تحلیل زیاد داده به حمایت از تصمیمات آینده کمک می‌کند. حجم زیاد داده‌ها و اشتراک‌گذاری داده‌های مختلف باعث افزایش دقت پیش‌بینی‌ها در شرایط مشابه می‌شود. در عین حال، حجم زیاد داده، مدیریت داده‌ها و ارائهٔ خدمات را به یک نگرانی تبدیل می‌کند، زیرا هر سیستم اینترنت اشیا، ساختار داده‌ای، نرخ داده و الزامات عملکرد خاص خود را دارد که ناشی از منابع دادهٔ متنوع است. به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها نیز به دلیل استانداردها و تنظیمات مختلف نگرانی‌هایی را به همراه دارد و این امر اشتراک‌گذاری با سایر دستگاه‌ها و سازمان‌ها را دشوار می‌سازد. مقیاس‌پذیری و دقت نیز از دیگر نگرانی‌ها در مورد دستگاه‌های وابسته به اینترنت اشیا هستند، زیرا اتصال به فضای اشتراکی می‌تواند هزینه‌های زیادی برای پردازش داده‌ها به همراه داشته باشد [۲۹].



شکل ۲. داده‌های انتقال‌یافته به فضای ابریِ بستر اینترنت اشیا [۳۰]

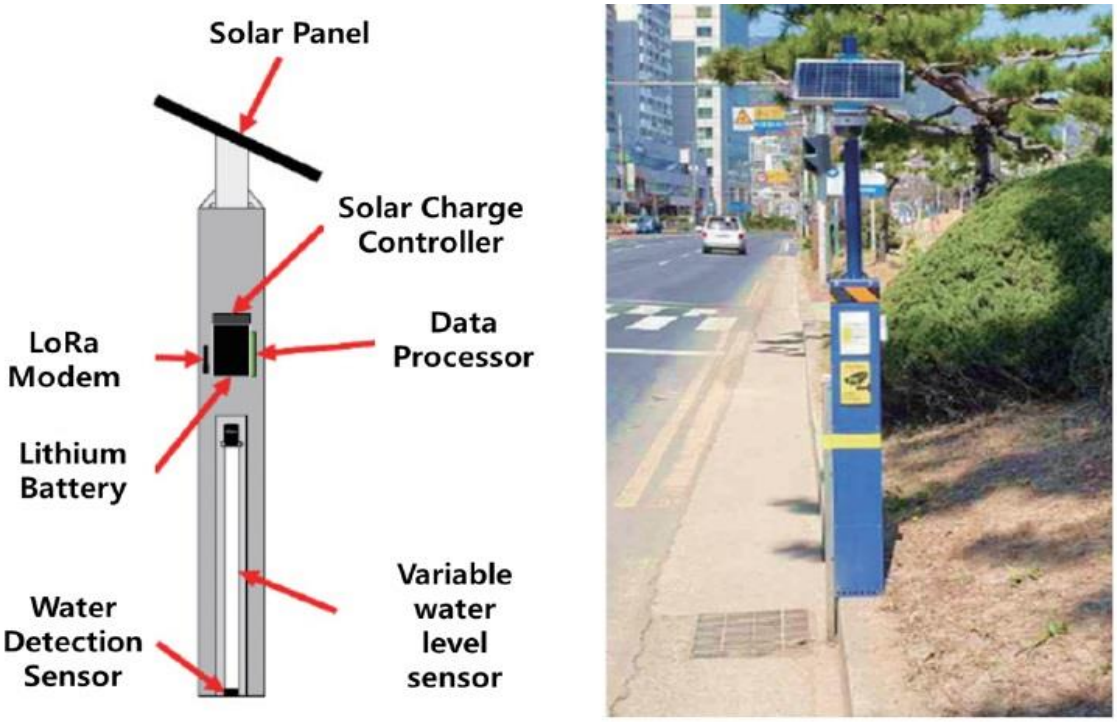
1. Cloud

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص شده است، دستگاه‌ها و فناوری‌های متصل به اینترنت اشیا می‌توانند داده‌های کلان را در زمان واقعی نظارت و اندازه‌گیری کنند و اطلاعات مربوط به داده‌ها و ارزیابی‌ها را به یک محیط ابری مشترک بین دستگاه‌های دیگر که با استفاده از اینترنت اشیا به هم متصل‌اند، منتقل شود. این داده‌ها بینش‌های ارزشمندی را برای شبیه‌سازی رخدادهای سیلابی در سیستم‌های زهکشی بزرگ ارائه می‌دهند. حدود ۸۰ درصد از داده‌های کلان، داده‌های مبتنی بر تصویر هستند [۱۸] که می‌توانند از طریق حسگرهای اینترنت اشیا و دستگاه‌های تجاری مانند دوربین‌های رودخانه‌ای، دستگاه‌های نظارت ترافیک حمل‌ونقل و سیستم‌های ردیابی آب‌وهوا جمع‌آوری شوند. سپس، این داده‌ها می‌توانند منتقل، ذخیره و در هر زمان بازیابی شوند. حجم بالای داده‌هایی که حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیا تولید می‌کنند باید قبل از اینکه اطلاعات در مطالعات مرتبط با سیلاب مورد استفاده قرار گیرد، پردازش شود. با این‌حال، از آنجا که این داده‌ها اغلب به فرمت‌های مختلف وارد می‌شوند، کاربران باید قبل از پردازش یا به‌کارگیری هر نوع تحلیلی روی داده‌ها، چندین مرحله را طی کنند. داده‌ها باید استانداردسازی یا به یک فرمت یکنواخت تبدیل شوند؛ به طوری که این فرمت با مدل‌های پیش‌بینی سیلاب سازگار باشد. سپس فرمت جدید تبدیل‌شده ذخیره شود. هر گونه دادهٔ تکراری، قدیمی یا نامطلوب فیلتر شود تا دقت پیش‌بینی افزایش پیدا کند. داده‌های اضافی از منابع دیگر ادغام شود تا مجموعه داده‌های مرتبط با سیلاب غنی‌تر شود [۱۴].



شکل ۳. نحوهٔ عملکرد سامانه‌های هشدارِ سیلاب در بستر اینترنت اشیا [۳۱]

وقوع سیلاب شهری در مقایسه با سیلاب طبیعی تفاوت‌های زیادی دارد و اغلب حاصل از بارش‌های بسیار سنگین و ناگهانی است. از این نظر، مدل‌سازی‌های معمول در بسیاری از اوقات با مشکل مواجه می‌شود. از یک طرف، سرعت تغییر اوضاع و تبدیل بارش در حوضه‌های آبخیز شهری بسیار بیشتر از حوضه‌های طبیعی است و از طرفی، به دلیل کمبود داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی و پیش‌بینی‌ها، توصیه می‌شود که برای جلوگیری از وقوع سیلاب‌های شهری از سیستم‌های هشدارِ مستقیم سیلاب استفاده شود. با توجه به شکل ۳، سیستم‌های هشداردهنده به وسیلهٔ حسگرهای تماسی و غیرتماسی، داده‌های محیطی مانند دما، بارندگی، ارتفاع آب و ... را از زیر زمین یا در فضای آزاد دریافت کرده و به فضای ابری منتقل می‌کنند. داده‌هایی که از سنسورهای مختلف در فضای ابری جمع‌آوری شدند، به قسمت تجزیه‌وتحلیل منتقل می‌شوند و به وسیلهٔ پردازش‌های انجام‌شده، میزان تخلیهٔ آب در حوزه، زمان رسیدن جریان و مقدار مجاز تخلیهٔ جریان را پیش‌بینی می‌کند و تشخیص سیلاب انجام می‌گیرد؛ سپس اطلاعات جمع‌آوری‌شده به مناطق مورد مطالعه فرستاده می‌شود تا با توجه به محاسبات انجام‌شده و میزان خطر، اقدامات لازم را برای کنترل سیلاب انجام دهند. در پژوهش جانگ، از طراحی یک سامانهٔ نظارتی و هشداردهندهٔ بسیار دقیق در بستر فناوری اینترنت اشیا و توسعهٔ آن رونمایی شد. فناوری پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده است که تنها انرژی جریان خالص را شناسایی کند و عوامل منطقهٔ مورد بررسی را نظیر انسان‌ها، خودروها، حیوانات و گیاهان را به طور مؤثری فیلتر کرده تا دقت محاسبه افزایش پیدا کند؛ این مسئله در جریان‌های بومی شهری، نواحی پایین‌دست، زیرگذرها و تأسیسات زیرزمینی با محیط‌های پیچیده اهمیت بسیاری دارد. این فناوری به عنوان یک پلتفرم اینترنت اشیا توسعه یافته است تا نصب و بهره‌برداری از آن را تسهیل کند. در پژوهش یادشده، برای نمایش نتایج به‌دست‌آمده از سامانهٔ نظارتی و هشداردهنده، از مدل مجازی دوقلوی دیجیتال[1] بهره برده شده است تا وظیفهٔ عینیت‌بخشی را انجام دهد [۳۲].



شکل ٤. اجزای تشکیل‌دهندهٔ سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب [۳۲]

سیستم‌هایِ هشداردهندهٔ سیل مبتنی بر اینترنت اشیا، از چندین لایه به منظور دریافت و انتقال اطلاعات ساخته می‌شود. لایهٔ حسگری، با استفاده از حسگرهای بسیار حساس، داده‌های محیطی را دریافت می‌کند. سپس، با استفاده از شبکه‌های بی‌سیم و اینترنت اشیا، حجم عظیمی از داده‌ها به محیط ابری منتقل می‌شود. پس از ورود اطلاعات به محیط ابری، با استفاده از

1. Digital Twin

الگوریتم‌های پیشرفتهٔ هوش مصنوعی، اطلاعات واردشده تجزیه‌وتحلیل شده و ویژگی‌های نظری انرژی جریان آب شناسایی و استخراج می‌شود [۳۲].

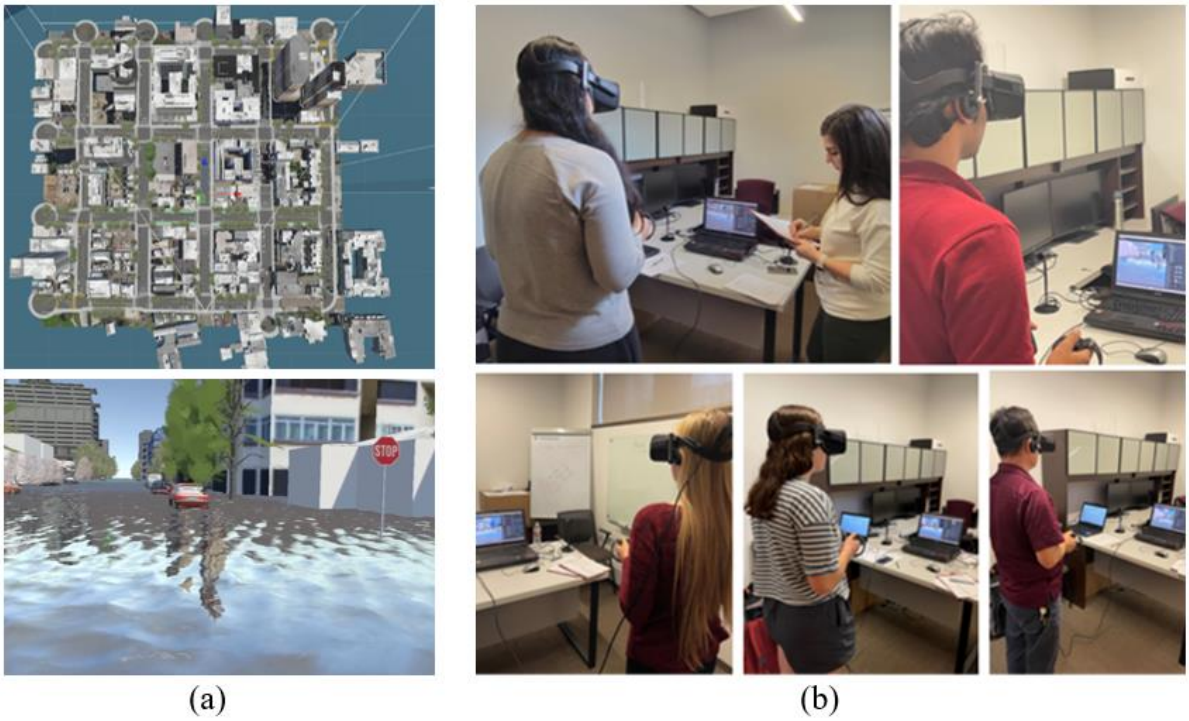
سیستم‌هایِ هشدارِ سیلاب با استفاده از اینترنت اشیا، توانایی انتقال حجم عظیمی از اطلاعات را در زمان کوتاهی بین سیستم‌های مختلف دارند و با تجزیه‌وتحلیل سریع توسط الگوریم‌های فراکاوشی هوش مصنوعی، عملیات پردازش را انجام می‌دهند. در صورت امکان وقوع سیلاب به دست‌ندرکاران هشدار لازم را می‌دهند. از سامانه‌هایِ واقعیت مجازی می‌توان برای نشان دادن نتایج مدل‌سازی به کاربران و افراد استفاده کرد. تهیهٔ جریان‌هایی که به‌راحتی انتقال پیدا کرده و رابط اینترنت اشیا و واقعیت مجازی هستند، برای انتقال صحیح داده‌ها و تدقیق مدل‌سازی‌ها، امری ضروری است [۱۶].

ورود واقعیت مجازی در سامانه‌های هشدار

برای سنجش کارایی هشدار، یکی از عوامل مهم، تطابق رفتاری است؛ به این معنا که افراد متوجه شوند که آیا دستورات موجود در پیام هشدار دنبال می‌شود یا خیر. تحلیل رفتاری یکی از موضوعات سخت در سامانه‌هایِ هشدار است، زیرا نمی‌توان افراد را به طور واقعی در آن موقعیت‌های پرخطر قرار داد. همچنین، با توزیع پرسشنامه و توصیف فضای پرخطر، نمی‌توان درک درستی به افراد منتقل کرد تا پاسخ مناسب را هنگام خطر برگزینند. در نتیجه، فناوری‌های نوظهور مانند واقعیت مجازی باعث سهولت در طراحی سامانه‌های هشدار می‌شوند [۳۳]. واقعیت مجازی در پژوهش‌های مربوط به حوادث طبیعی، کاربردهای بسیار زیادی دارد. در پژوهش اسچیاوینی و همکاران به چگونگی کاربرد واقعیت مجازی در سیستم‌هایِ هشدار اشاره شده است. برای ورود به فضای واقعیت مجازی از ابزارهای مخصوص واقعیت مجازی نظیر کنترلرهای مخصوص، هدست و حسگرهای حسی استفاده می‌شود. برای عینیت بخشی و القای احساس واقعی به افراد شرکت‌کننده، یک محیط مجازی بسیار شبیه به محیط اصلی طراحی شده و با قرار دادن افراد در وضعیت هشدار و پرخطر، واکنش‌های آن‌ها را ارزیابی کرده؛ با تکرار آزمایش، قدرت تصمیم‌گیری افراد تقویت شده، از تجربیات به‌دست‌آمده برای آموزش افراد دیگر استفاده می‌کند و همچنین باعث ارتقای محیط مجازی می‌شود [۱۷]. در پژوهش گامبرینی و همکاران، اثرات روان‌شناختی حاصل از پدیده‌های مخرب طبیعی را روی افرادی که به طور مستقیم با این پدیده‌ها مواجه هستند، بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ساختن محیط مصنوعی در فضای واقعیت مجازی، قادر به تولید سناریوهای مجازی مناسب پدیده‌های طبیعی است. همچنین، این پژوهش توانست نیازهای طراحی مرتبط را برجسته و طبقه‌بندی کرده و استراتژی‌هایی را پیدا کند که می‌توانند کیفیت زندگی و رفاه روانی «شهروندان در معرض خطر» را بهبود بخشند [۳۴].

واقعیت مجازی در مواجهه با سیلاب

در مواجهه با سیلاب، استفادهٔ مؤثری از واقعیت مجازی به عمل آمده است. در پژوهش علیزاده و همکاران تأثیرات آمادگی ذهنی افراد به منظور مواجهه با سیلاب شهری و توانایی افراد در تخمین عمق آب جهت تصمیم‌گیری درست در شرایط بحرانی، مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش نشان داد اکثر افراد به‌اشتباه ماشین‌ها را به عنوان مرجع تخمین عمق آب قرار می‌دهند که شاخص مطمئنی نیست، زیرا ماشین‌ها به‌راحتی به صورت معلق روی آب درمی‌آیند. در نتیجه محققان در صدد یافتن مرجعی مناسب برای حل این مشکل درآمده تا راه حل بهتری برای تخمین عمق آب انتخاب کنند [۳۵]. همچنین، پانگابین در قالب بازی کامپیوتری، فضایی را در مواجهه با سیلاب طراحی کرد تا به کمک فضای مجازی، افراد تجربه‌ای نزدیک به تجربهٔ واقعی را در مواجهه با سیلاب داشته باشند [۲].



شکل ۵. تجربهٔ مواجهه با سیلاب در فضای شبیه‌سازی‌شده واقعیت مجازی [۳۵]

نتایج و بحث

ارائهٔ چارچوب تلفیقی اینترنت اشیا و واقعیت مجازی

از فناوری‌های نوظهور و پیشرفتهٔ اینترنت اشیا و واقعیت مجازی در بسیاری از صنایع مختلف در عرصه‌های گوناگون استفاده شده است. از اینترنت اشیا و فضای متاورسیِ واقعیت مجازی، می‌توان برای عینیت‌بخشی به پروژه‌های علوم طبیعی مانند علوم آب و تشخیص پدیده‌های طبیعی مختلف بهره برد و باعث ارتقای بیشتر سطح مدل‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های مخصوص این‌گونه پدیده‌ها شد.

در این پژوهش، ترکیب فناوری‌های نوظهور اینترنت اشیا و واقعیت مجازی در طراحی و ساخت سامانه‌هایِ هشدارِ سیلابِ شهری بررسی شد. تحقیق یادشده برای نیاز فوری کشور به راهکارهای پیشرفته و دقیق‌تر در مدیریت بحران سیلاب در مناطق شهری انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد استفادهٔ تلفیقی از فناوری اینترنت اشیا و واقعیت مجازی، نه تنها باعث بهبود دقت پیش‌بینی و کاهش زمان واکنش در برابر سیلاب می‌شود، بلکه به بهبود عملکرد سامانه‌هایِ هشداردهندهٔ سیلاب از طریق یکپارچه‌سازی داده‌ها و شبیه‌سازی‌های مجازی کمک می‌کند. برای راهبرد تلفیقی بین اینترنت اشیا و واقعیت مجازی برای ساخت سیستم‌هایِ هشداردهندهٔ سیلاب، نیاز به ابزارهای تخصصی مختلفی است. سیستم‌هایِ پیش‌بینی‌کننده و هشداردهندهٔ سیلاب از چندین بخش تشکیل شده است. ابتدا اینترنت اشیا با ساختن بستری برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌روزرسانی داده‌ها در زمان واقعی، امکان مدیریت بهتر بحران را فراهم می‌کند که این بستر، فضای ابری نامیده می‌شود. سپس سنسورهای حساس روی سطح زمین اطلاعات محیطی نظیر رطوبت هوا، مقدار بارش، انرژی خورشید و... را از فضای آزاد دریافت می‌کنند و سنسورهایی که در زیر زمین وجود دارند، داده‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی و تغییر سطوح و انرژی آب در سفره‌ها را دریافت کرده و به فضای ابری منتقل می‌کنند. پس از جمع‌آوری داده‌های کلان در فضای ابری، این داده‌ها جهت پردازش به قسمت تجزیه‌وتحلیل انتقال داده می‌شوند. در این بخش سیستم‌های فراکاوشی هوش مصنوعی برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و داده‌ها، با توجه به شرایط محل مورد مطالعه به کار گرفته می‌شوند تا با دقت بسیار زیاد احتمال وقوع سیلاب را تشخیص دهند و با هشدار به‌موقع، امکان وقوع حادثه را به حداقل برسانند. تجزیه‌وتحلیل داده‌های کلان به وسیلهٔ الگوریتم‌های پیشرفته هوش

مصنوعی، علاوه بر اینکه توانایی پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل‌های سنتی را دارند، بلکه می‌توانند زمان هشدار و اقدامات پیشگیرانه را به حداقل برسانند که این امر به‌ویژه در زمینهٔ مدیریت و کنترل وضعیت‌های بحرانی ناشی از بلایای طبیعی، امری ضروری است. پس از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و انجام مدل‌سازی‌ها به منظور اطلاع از وقوع سیلاب، نتایج به‌دست‌آمده، مطالعه و با توجه به ضرورت مشخص شده، اقدامات لازم به منظور کنترل و کاهش خسارت‌های ناشی از پدیده‌های حدیِ اقلیمی، انجام می‌گیرد. یکی از دستاوردهای کلیدی این تحقیق، امکان ایجاد سامانه‌هایِ هشدارِ سیلابِ یکپارچه است که از ترکیب فناوری‌های اینترنت اشیا و واقعیت مجازی بهره می‌برد. با استفاده از فضای متاورسیِ واقعیت مجازی، می‌توان نتایج مدل‌سازی‌شده را با استفاده از ابزار مخصوص به تصویر کشید تا به صورت عینی برای افراد قابل لمس باشد. نتایج به‌دست‌آمده از محیط مورد مطالعه را می‌توان در محیط ابری به اشتراک گذاشت تا در سراسر جهان، محققان توانایی تحقیق روی مناطق مختلف را پیدا کرده و از تجارب یکدیگر استفاده کنند. این امر محدودیت زمانی و مکانی را از بین می‌برد و به کشورهایی که قادر به ساخت و استفاده از سامانه‌های هوشمندِ سیلاب نیستند، کمک می‌کند تا در یک فضای عینیِ قابل لمس از تحقیقات سایرین مطلع شوند و در صورت امکان روی مناطق تحت خطر، از این مطالعات بهره ببرند. از تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا و واقعیت مجازی، به دو شکل می‌توان باعث ارتقای سطح سامانه‌هایِ هشداردهندهٔ سیلاب هنگام مواجهه با بلایای طبیعی شد. واقعیت مجازی به عنوان یک ابزار تعاملی و آموزشی با نمایش دادن عینی شرایط سیلاب، باعث درک بهتر افراد از وضعیت بحرانی و در نتیجه افزایش آمادگی آن‌ها در مواجهه با سیلاب می‌شود و در جهت آموزش نیروهای امدادی بسیار کاربردی است. همچنین، می‌توان در یک محیط مجازی و به صورت نامحدود اقدام به سناریوسازی کرد و تغییرات داده‌های محیطی در شرایط مختلف را برای سیلاب ترسیم کرد و برای هر سناریو، توسط دست‌اندرکاران و محققان راهکارهای مخصوص از قبل مشخص کرد. این امر کمک می‌کند تا هنگام وقوع سیلاب، برای هر سناریوی احتمالی آماده باشند. با پیش‌بینی صحیح و به‌موقع، خسارت‌های حاصل از سیلاب به حداقل می‌رسد و همچنین، از به هم خوردن نظم عمومی ناحیهٔ شهری و حتی کل کشور و زندگی شهروندان جلوگیری می‌شود. برای استفاده از واقعیت مجازی در سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب، ابتدا باید سامانهٔ هشدار سیلاب مختص به آن منطقه طراحی و نصب شود تا با استفاده از بستر اینترنت اشیا، داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شوند و سپس، با طراحی یک محیط مجازی شبیه به محیطی که امکان سیل در آن منطقه وجود دارد، اقدام به ساخت سناریوهای مختلف با استفاده از داده‌های دریافتی کرد.

همان‌طور که در این تحقیق به ابعاد مثبت فناوری‌های نوین به منظور مدیریت سیلاب اشاره شد و به رغم پیشرفت‌های قابل توجه در حوزهٔ هوشمندسازیِ سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب، چالش‌های مهمی نظیر هزینه‌های بالای نصب و نگهداری سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا، نیاز به استانداردسازی داده‌ها و برطرف شدن محدودیت‌های فناوریِ واقعیت مجازی وجود دارد. این عوامل نشان‌دهندهٔ چندوجهی بودن مدیریت و کنترل در بحث مسائل و بلایای طبیعی است. مشکلات یادشده، اصلی‌ترین دلایل عدم پیاده‌سازی گستردهٔ این سیستم‌ها در مناطق شهری هستند. درنتیجه، لازم است که در کنار طراحی و توسعهٔ فناوری‌های هوشمند، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران به آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی و همچنین، تأمین منابع کافی برای نگهداری و به‌روزرسانی سیستم‌های هوشمند توجه ویژه‌ای داشته باشند. برای رسیدن به موفقیت کامل در زمینهٔ مدیریت و کنترل بلایای طبیعی، نیاز است که محققان، سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیرندگان و متخصصان فناوری اطلاعات، مدیریت مشارکتی را مد نظر قرار دهند و برای بهبود وضعیت کشور، با یکدیگر همکاری کنند. برای محقق شدن این امر، ایجاد زیرساخت‌های لازم، توسعهٔ استانداردهای جهانی و آموزش مستمر برای بهره‌برداری مفید از فناوری‌های هوشمند، ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفادهٔ تلفیقی از اینترنت اشیا و واقعیت مجازی در طراحی سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب، گامی مؤثر به منظور کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب در مناطق شهری است. این سامانه‌ها می‌توانند با ارائهٔ هشدارهای به‌موقع و دقیق، آمادگی و پاسخ‌گویی جوامع را در برابر سیلاب تقویت کنند و از این طریق، علاوه بر کاهش خسارت‌های جانی و مالی، به بهبود کیفیت زندگی شهری و توسعهٔ پایدار کمک کنند.

نتیجه‌گیری

نتیجهٔ پژوهش به‌وضوح نشان داد تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا و واقعیت مجازی می‌تواند یک مدل نوآورانه و کارآمد برای

طراحی سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب شهری ایجاد کند و علاوه بر اینکه باعث کاهش زمان پاسخ‌گویی و پیش‌بینی سیلاب می‌شود، بلکه به ارتقای آگاهی عمومی و آمادگی برای مقابله با سیلاب نیز کمک می‌کند. از اینترنت اشیا می‌توان به منظور دریافت، ارزیابی و تحلیل داده‌های کلان دریافتی از حسگرهای مخصوص محیطی بهره برد. موضوع عینیت‌بخشی توسط فناوری واقعیت مجازی، برای آموزش شهروندان و افراد مختلف مانند نیروهای امدادی برای حفظ آرامش و توانایی کنترل وضعیت موجود از این فضا، مفید است، لذا باعث آمادگی تصمیم‌گیران برای سناریوهای مختلف و جلوگیری از وقوع اتفاقات ناگوار و غیر مترقبه می‌شود و از غافلگیری جلوگیری می‌کند. با آمادگی قبلی تصمیم‌گیران و اتخاذ تمهیدات لازم، خسارت‌های ناشی از پدیده‌های مخرب اقلیمی کاهش می‌یابد و زندگی شهروندان به حالت عادی برمی‌گردد و همچنین، در میزان سرمایهٔ ازدست‌رفته و هزینه‌ها صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای به عمل می‌آید. از این‌رو، استفاده از واقعیت مجازی و اینترنت اشیا در طراحی سامانه‌هایِ هشدارِ سیلاب از بُعد مسائل اجتماعی و هم از منظر اقتصادی مزایای بسیار زیادی دارد. به طور کلی، استفاده از سیستم‌هایِ هوشمند برای مدیریت پدیده‌های طبیعی، امری ضروری است که باعث تبدیل مشاهدات ثبتی به فناوری‌های مدرن در مناطق حادثه‌خیز خواهد شد.

منابع

1. Ahamed, J, Mou ,S , Chowdhury, T , Mannan, A , Mim, S , Tarannum, L and Noman ,T. AI-Driven Water Segmentation with deep learning models for Enhanced Flood Monitoring**.** 2024.
2. Panggabean , F. Enhancing Flood Disaster Preparedness Through Virtual Reality: A VR-based Flood Simulator Game. Jurnal EMACS. 2023.Vol5.No2.69-72. DOI: 10.21512/emacsjournal.v5i2.9988.
3. Aalami, M , Ardestani,M, Malekmohamadi,B. Flood Potential Modeling in Zarineh Rood Watershed Using Artificial Intelligence Models. Watershed Management Research. 2023. ISSN: 2981-2038. (Persian).
4. Merz ,H , Kreibich, H , Schwarze,R and Thieken. A. Assesssment of economic flood damage. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. 1697-1724. doi:10.5194/nhess-10-697-2010.
5. Ansari Ghojghar, M, Pourmohammad, P. Assessment the impacts of Metaverse industry on flood modeling visualization. Journal of the Nivar. 2024.Vol. 48, No. 126-127**.** (Persian).
6. Buttinger-Kreuzhuber ,A , Konev, A , Horvath, Z , Cornel ,D , Schwerdorf , i , Bloschl ,G and Waser, J. An integrated GPU-accelerated modeling framework for high-resolution simulations of rural and urban flash floods. Environmental.elsevier, Modelling and Software. 2022.105480. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105480 .
7. Wan Mohtar,M , Wan Hanna, M , Jazuri, A , Khairul ,N , Abdul Maulud and Nur Shazwani ,M. Urban flash flood index based on historical rainfall events. Elsevier, Sustainable Cities and Society. 2020.Volume 56. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102088.
8. Nkwunonwo, U.C , Whitworth,M and Baily, B. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. elsevier, Scientific African. 2020. 2468-2276. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00269.
9. Ebrahimi heravi,B , Rangzan, K and Kabolizadeh, M. Comparing Methods of Artificial Neural Network and Fuzzy System in Determining Pre-flooding Warning (Case Study: Zard River Sub-basin- Khuzestan Province). Geography and Environmental Planning. 2016. 28-65-1. (Persian).
10. Aljohani, F , Abi Sen, A , Ramazan ,M , Alzahrani, B and Bahbouh, N. A Smart Framework for Managing Natural Disasters Based on the IoT and ML. Applied Science. 2023.13,3888 https://doi.org/10.3390/app13063888.
11. Amirebrahimi, S , Rajabifard, A , Mendis, P and Ngo, T. A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIM–GIS integration. International Journal of Digital Earth. 2016. ISSN: 1753-8947 1753-8955**.** https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1034201
12. Chang, Li , Chang, F , Yang, S , Kao, I , Ku, Y , Kuo, C and Mat Amin Ir, M. Building an Intelligent Hydroinformatics Integration Platform for Regional Flood Inundation Warning Systems. Water journal. 2019. 11,9. doi:10.3390/w11010009.
13. Hsieh, Sh , Chang, D , Yang, S , Wang, H and Yeh, K. Artificial Intelligence Methodologies Applied toPrompt Pluvial Flood Estimation and Prediction.Water journal. 2020.12, 3552. doi:10.3390/w12123552.
14. Samadi, S. The convergence of AI, IoT, and big data for advancing flood analytics research.Forntiers. 2022. DOI 10.3389/frwa.2022.786040.
15. Okeke Remigius ,O and Ehikhamenle, M. Design Analysis of an IoT based Early Flood Detection and Alerting System. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). 2024. Vol-11, Issue-2. Article DOI: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.112.7.
16. Mirzababaei, M and Pouresmaiil, H. Metaverse, Challenges and requirements for development and deployment. Islamic Consultative Assembly Research Center. 2024. 310.19380 (Persian)
17. Schiavini ,R and Meurer ,H. USING VIRTUAL REALITY TO THE SAFETY WARNINGS DESIGN: THE EFFICIENCY THROUGH PRESENCE. Revista Conhecimento Online. 2021. a:13, Vol23:2,21-45.DOI: https://doi.org/10.25112/rco.v2i0.2535.
18. Donratanapat, N , Samadi, S , Vidal, M. J and Sadeghi Tabas,S. A national-scale big data prototype for real-time flood emergency response and management. Environ. Model. Softw. 2020. 133, 104828. doi: 10.1016/j.envsoft.2020.104828.

19. Binti Yahaya ,N and Binti Mat Zain,N. SIMULATING FLOOD DISASTER USING AUGMENTED REALITY APPLICATION. Progress In computing and Mathematics journal(PCMJ). 2024. Vol1.
20. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Oceanic and Atmospheric Administration National Weather Service. Flood Warning Systems Manual. NOAA's National Weather Service. 2012.
21. Javaheri, N. Performance evaluation of the basin flood warning system in flood. National Committee of Large Dams of Iran. (Specialized committees for the operation, maintenance and rehabilitation of dams and dams for hydroelectric power plants). 2014. (Persian)
22. Petrillo, A , De Felice , F , De Luca, C and Di Chiara , S. Physical and digital worlds: implications and opportunities of the metaverse.Elsevier, Procedia Computer Science. 2023.217. 1744-1754.
23. Rafiei, M. Identification and Prioritization of Metaverse Infrastructure with a Fuzzy Approach. Metaverse & Virtual Transformation. The International Journal of Metaverse & Virtual Transformation (IJMVT). 2024. 1(1): 1-9.
24. Urbas, m , Cok ,V and Vlah ,D .VR as a 3D Modelling Tool in Engineering Design Applications. Applied Sciences. 2021. 11,7570**.** https://doi.org/10.3390/app11167570
25. Lim,D , Meyers,P , Quick,M , Rudlosky,S , Lee,E , Schwelling,E and Varshn,A. Weather Forecasting in Virtual Reality. NOAA/NESDIS/STAR . 2019.
26. Li ,M , Banerjee ,N and Banerjee, S. Using Motion Forecasting for Behavior-Based Virtual Reality (VR) Authentication. 2024. arXiv:2401.16649v1.
27. Ooi, S , Tanimoto, T and Sano, M. Virtual reality fire disaster training system for improving disaster awareness. In Proceedings of the 8th International Conference on Educational and Information Technology. 2019. pp. 301-307. https://doi.org/10.1145/3318396.3318431
28. Sermet, Y and Demir, I. Flood action VR: a virtual reality framework for disaster awareness and emergency response training. 2019. In ACM SIGGRAPH 2019 Posters, 27, pp. 1-2. https://doi.org/10.1145/3306214.3338550
29. Liang,H , Burgess,L ,Liao, W ,Blasch,E and Yu, W. Deep Learning Assist to IoT Eearch Engine for Disaster Damage Assesment. Cyber-Phisical Systems. 2022.
30. Ibarreche,J , Aquino,R , Edwards,R.M , Rangel,V Perez,I and Martinez,M. Flash Flood Early Warning System in Colima Mexico. Sensors. 2020. 20(18), 5231.
31. Ghanbari,A , Tahmasebipour,N , Zeinivand,H , AliHeidari,M and Bdollahi,S. Flood Warning System Using Internet of Things, Artificial Intelligence and Hydraulic Modeling (Case study: Behesht-Abad Watershed, Iran). Springer, Acta Geophizika. 2023. Vol72, 2815-2829.
32. Jang, B and Jung ,I. Developent of Hig-Precision Urban Flood-Monitoring Technology for Sustainable Smart Cities. Seonsors. 2023. https://doi.org/ 10.3390/ s23229167.
33. Duarte, E , Rebelo ,F and Wogalter ,M. Virtual Reality and Its Potential for Evaluating Warning Compliance. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. 2010. 20 (6) 526–537.
34. Gamberini,L , Batelli,A , Benvegnu,G , Orso, V , Spagnolli, A and Ferri, M. Designing"Safer Water." A Virtual Reality Tool for the Safety and the Psychological Well-Being of Citizens Exposed to the Risk of Natural Disasters. Human-Media Interaction. 2021.Vol12. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.674171
35. Alizadeh , B and sakib, M. Immersive Virtual Reality to Measure Flood Risk Perception in Urban Environments. Confrence Paper. 2023.