Journal of the Nivar

Homepage: https://nivar.irimo.ir

No. 00-00, ?? 2026, P. 00-00

(Research Article)

Application of AR and VR Algorithms and Metaverse Technology to Address Structural Gaps in Integrated Water Resources Management in Iran

Ansari Ghojghar, M.[1]✉

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous regions Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Corresponding Author E-mail: Ansari.ghojghar@ut.ac.ir

(Received: 15 Jan 2025, Revise: 17 Agu 2025, Accepted: 04 Nov 2025, Published online: 04 Nov 2025)

Abstract

The water governance system in Iran, as well as in many developing and semi-developed countries, has faced significant challenges in achieving its objectives. Increased productivity and economic development, alongside the lack of cooperation and coordination among various stakeholders within shared watersheds and aquifer basins, have hindered optimal environmental and managerial decision-making. Currently, many countries are not solely confronted with the physical scarcity of water resources; rather, governance weaknesses and mismanagement have led to complex conflicts and reduced efficiency in the utilization of these vital resources. Therefore, the development of new paradigms and innovative approaches to water governance has become essential. In this context, emerging information and communication technologies, particularly Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR), have been recognized as key tools for improving water governance systems. These technologies enable the creation of interactive and simulated environments that, beyond enhancing education and capacity building of human resources, assist managers and policymakers in making more accurate, timely, and data-driven decisions. Furthermore, Metaverse technology, with its capability to establish extensive and participatory virtual spaces, can enhance governance systems by facilitating greater social interaction and citizen participation across all managerial levels. This study analyzes the applications of AR and VR technologies in water governance and examines their roles in increasing transparency, enhancing monitoring, and promoting sustainable management of water resources. Successful examples of the utilization of these technologies in specialized training, field monitoring, and decision-making processes are introduced, and their benefits, including cost reduction, increased precision, and expedited operations, are evaluated. The results indicate that integrating these advanced technologies into water governance systems can increase productivity, reduce risks, mitigate conflicts arising from traditional hierarchical governance approaches, and foster sustainable development in the water sector. Consequently, this study proposes a framework for the targeted application of VR and AR in water resource management, which can improve overall governance performance and enhance social participation in this critical domain.

Keywords*:* Social participation, artificial intelligence, simulation, water resource management, visualization.

Cite this article: Ansari Ghojghar,M. (2025). Application of AR and VR Algorithms and Metaverse Technology to Address Structural Gaps in Integrated Water Resources Management in Iran. (e233538). Nivar, (), e233538 doi: 10.30467/nivar.2025.500190.1318

E-mail: (1) Ansari.ghojghar@ut.ac.ir

Publisher: Iran Meteorological Organization
DOI: https://doi.org/10.30467/nivar.2025.500190.1318

Print ISSN: 1735-0565
Online ISSN: 2645-3347

نیوار
نشانی اینترنتی مجله: https://nivar.irimo.ir
شماره ۰۰– ۰۰، ؟؟، صفحه ۰۰ – ۰۰
(مقاله پژوهشی)

کاربست الگوریتم‌های AR و VR فناوری متاورس به منظور اصلاح شکاف ساختاری در مدیریت یکپارچه منابع آب ایران

محمد انصاری قوجقار [۱] ✉

۱. استادیار، گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

رایانامه نویسنده مسئول: Ansari.ghojghar@ut.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸۲/۱۳، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳

چکیده

نظام حکمرانی منابع آب در ایران و بسیاری از کشورهای در حال توسعه و نیمه‌توسعه‌یافته تاکنون در رسیدن به اهداف خود با چالش‌های جدی مواجه بوده است. افزایش بهره‌وری و توسعه اقتصادی، در کنار نبود همکاری و هماهنگی لازم میان بهره‌برداران مختلف در حوزه‌های آبخیز و آبخوان‌های مشترک، موجب شده تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی و مدیریتی به صورت بهینه صورت نگیرد. بسیاری از کشورها دیگر تنها با کمبود فیزیکی منابع آبی روبه‌رو نیستند، بلکه ضعف در حکمرانی و مدیریت نادرست منابع، سبب شکل‌گیری منازعات پیچیده و کاهش کارایی در استفاده از این منابع حیاتی شده است. از این رو، توسعه پارادایم‌ها و رویکردهای نوین حکمرانی آب به یک ضرورت اساسی تبدیل شده است. در این مسیر، فناوری‌های نوین اطلاعات و ارتباطات به‌ویژه واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) به عنوان ابزارهای کلیدی در بهبود نظام‌های حکمرانی آب شناخته شده‌اند. این فناوری‌ها امکان ایجاد محیط‌های تعاملی و شبیه‌سازی شده را فراهم می‌کنند که علاوه بر ارتقای آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی، به مدیران و سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا تصمیم‌های دقیق‌تر، سریع‌تر و مبتنی بر داده‌های واقعی اتخاذ کنند. به‌علاوه، فناوری متاورس با قابلیت ایجاد فضاهای مجازی گسترده و مشارکتی، می‌تواند نظام‌های حکمرانی را هوشمندسازی کرده و امکان تعامل و مشارکت اجتماعی بیشتر شهروندان در تمام سطوح مدیریتی را فراهم آورد. این پژوهش به تحلیل کاربردهای فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در حکمرانی منابع آب می‌پردازد و نقش آن‌ها را در افزایش شفافیت، بهبود پایش و مدیریت پایدار منابع آبی بررسی می‌کند. نمونه‌های موفق استفاده از این فناوری‌ها در آموزش‌های تخصصی، پایش میدانی و فرآیندهای تصمیم‌گیری معرفی شده و مزایای آن‌ها از جمله کاهش هزینه‌ها، افزایش دقت و سرعت انجام فعالیت‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که ادغام فناوری‌های نوین در نظام حکمرانی آب، ضمن افزایش بهره‌وری و کاهش مخاطرات، می‌تواند به کاهش منازعات ناشی از رویکردهای سنتی و سلسله‌مراتبی کمک کند و زمینه‌ساز توسعه پایدار در بخش منابع آب شود. بنابراین، این مطالعه چارچوبی برای بهره‌گیری هدفمند از VR و AR در مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد که می‌تواند به بهبود عملکرد کلی نظام حکمرانی و ارتقای مشارکت اجتماعی در این حوزه حیاتی منجر گردد.

کلید واژه ها: شبیه‌سازی، عینیت بخشی، مشارکت اجتماعی، مدیریت منابع آب، هوش مصنوعی.

۱- مقدمه

بحران کمبود منابع آب شیرین در سطح جهان به عنوان یکی از پیچیده‌ترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم مطرح است که سلامت اکوسیستم‌ها و زندگی انسانی را تهدید می‌کند. گزارش‌های سازمان ملل نشان می‌دهد که بیش از ۲/۳ میلیارد نفر در مناطقی با تنش آبی زندگی می‌کنند و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۵۰ به طور چشمگیری افزایش یابد (گروه بین‌دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۲۲؛ سازمان آب و آب‌های ملل متحد، ۲۰۲۱). فشار فزاینده بر منابع آب ناشی از عواملی همچون افزایش جمعیت، بهبود سطح رفاه، تغییرات اقلیمی، توسعه کشاورزی و گسترش شهرنشینی است که منجر به افزایش فاصله میان عرضه و تقاضای آب شده است (لیانگ و همکاران.، ۲۰۲۰؛ ژو و همکاران.، ۲۰۲۲). در ایران نیز کاهش مستمر منابع آب شیرین به همراه افت کیفیت آب و افزایش منازعات محلی و منطقه‌ای پیامدهای گسترده‌ای بر امنیت غذایی، معیشت مردم و ثبات اجتماعی و اقتصادی کشور داشته است.

با توجه به اهمیت حفاظت از منابع طبیعی و چالش‌های موجود در مدیریت منابع آب، بهبود ساختارهای حکمرانی و مدیریت پایدار این منابع بیش از پیش ضروری می‌نماید. عدم وجود مدیریت مناسب در سیاست‌های مصرف منابع و انرژی به‌ویژه آب، عدم آگاهی عموم جامعه از وضعیت محیط‌زیست و فقدان درک مناسب از توسعه از جمله عوامل مهم و اساسی تخریب محیط‌زیست و تشدیدکننده وضع حاضر در ایران است (شکری، ۱۴۰۰). امروزه هدف‌گذاری جوامع بر دستیابی همزمان به توسعه و اهداف اقتصادی و همچنین جلوگیری از نابودی منابع‌طبیعی متمرکز شده‌است. بدین ترتیب مدیریت دولتی موفق در پی یافتن ترکیبی به‌منظور رواج شیوه مدیریتی تعقل‌گرا و همچنین تحقق منفعت عمومی جوامع است (سلیمانی و همکاران.، ۱۴۰۱). با این وجود، تصمیم‌های محیط‌زیستی مدیران و سیاست‌گذاران دائما با چالش‌هایی روبرو بوده است. بدین ترتیب درمی‌یابیم که تصمیمات آن‌ها همیشه نتایجی مثبتی در جهت حکمرانی محیط‌زیستی خوب نداشته است (انصاری قوجقار، ۱۴۰۲). بنابراین، لزوم تغییر نگرش بشر نسبت به محیط‌زیست بیش از پیش احساس می‌شود و اصلاح سبک زندگی و شیوه مدیریتی جوامع برای جلوگیری از بحران‌های پیش‌رو الزامی است (سیمبر و همکاران.، ۱۳۹۸). در این زمینه، ویژگی‌های یک حاکمیت یا دولت کارآمد برای ارتقای محیط‌زیست و منابع طبیعی، در کنار هدف‌های توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی، توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. علاوه بر مردم به‌عنوان حافظان محیط‌زیست، نهاد دولت یا حاکمیت کشور نقش اساسی در حفظ این سرمایه ارزشمند دارد. بنابراین، موضوع حکمرانی شایسته و حکمرانی خوب مطرح و پایه‌ریزی می‌شود. از منظر برنامه توسعه سازمان ملل متحد (۱۹۹۷)، حکمرانی خوب به معنای حاکمیتی است که ویژگی‌هایی مانند اثربخشی، مشارکت‌جویی، شفافیت، رعایت برابری، پاسخ‌گویی، ارتقاء حاکمیت قانون و تعیین اولویت‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی برمبنای اجماع گسترده را داراست، به‌گونه‌ای که ضعیف‌ترین افراد جامعه نیز در تصمیم‌گیری‌ها و استفاده از منابع مورد توجه قرار گیرند. در قالب حکمرانی شایسته، فرآیند تصمیم‌گیری توسط حکمران‌های کارآمد صورت گرفته و اجرای آن‌ها منجر به دستیابی جامعه و افراد به رفاه و کامیابی دنیوی و اخروی می‌شود (واردی و همکاران.، ۱۴۰۲).

مسئله آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی، دارای ماهیتی پیچیده و چندوجهی است که شامل ابعاد اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و محیط‌زیستی می‌شود. امروزه بسیاری از منازعات میان کشورها نه صرفاً به دلیل کمبود فیزیکی منابع آب، بلکه ناشی از ضعف مدیریت مناسب، حکمرانی ناکارآمد و افزایش فشار توسعه‌طلبانه بدون جایگزین‌های پایدار برای منابع آبی است. آب منبعی طبیعی است که بین چندین ذی‌مدخل محلی، منطقه‌ای و بین‌المللی مشترک است. نحوه و مقدار مصرف یک

ذی‌مدخل بر سایرین نیز اثرگذار است. با توجه به ارتباط مستقیم جنبه‌های گوناگون اجتماعی، اقتصادی، امنیتی، سیاسی، محیط‌زیستی و صنعتی با مدیریت منابع آبی، فقدان ساختارهای حکمرانی قوی و مدیریت کارآمد، منابع آبی مشترک را به موضوعی حساس و پرتنش سیاسی و امنیتی تبدیل می‌کند. در نتیجه، رقابت‌ها و منازعات سیاسی برای بهره‌برداری بیشتر از این منابع مشترک رو به افزایش است (قریشی و همکاران.، ۱۳۹۸). حکمرانی آب، به‌عنوان یک خط‌مشی اجتماعی، اقتصادی و سیاسی، وظیفه نظارت بر چگونگی مدیریت و بهره‌برداری از منابع آبی را بر عهده دارد و به‌صورت غیرمستقیم بر روش‌های تصمیم‌گیری و اجرای برنامه‌ها تاثیرگذار است (فدائی تهرانی و میرزائی، ۱۴۰۲). با پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات، مفاهیم حکمرانی نیز دستخوش تغییرات اساسی شده‌اند و به‌جای تعریف‌های کلاسیک به تمرکز بر مشارکت فعال و مشورت آحاد جامعه گرایش یافته‌اند (سلطانی‌نژاد و گودرزی، ۱۳۹۶). بدین ترتیب، در الگوهای نوین حکمرانی، فناوری‌ها و ابزارهای ارتباط جمعی که نقش بنیادینی در توسعه اقتصادی و مداخلات سیاسی دارند، جایگاه مهمی یافته‌اند.

انصاری قوجقار (۱۴۰۲) در پژوهش خود چارچوب تحلیلی جدیدی با عنوان حکمرانی متاورسی ارائه داده است که هدف آن بهبود مدیریت مشارکتی در حوزه ژئوپلیتیک محیط‌زیستی است. یافته‌های او نشان می‌دهد که نوعی حکمرانی هوشمند و بروز شده که مشارکت اجتماعی را در تمام سطوح افزایش دهد، بویژه در حوزه محیط‌زیست، ضروری است. استفاده از متاورس در ساختارهای آموزشی و تعاملی، امکان گذار از حکمرانی سلسله‌مراتبی به حکمرانی جامعه‌محور-نتیجه‌محور را فراهم می‌کند و می‌تواند وضعیت نظام حکمرانی محیط‌زیستی کشور را بهبود بخشد. مطالعاتی دیگر نیز به بررسی وضعیت حکمرانی منابع آب در ایران پرداخته‌اند و بر حکمرانی توسعه‌طلب از بالا به پایین تأکید دارند که مانع مشارکت مؤثر مردم شده است. اسکوهی و اسماعیلی (۱۴۰۰) بر نقش حیاتی سرمایه اجتماعی و همبستگی مردم در موفقیت حکمرانی خوب منابع آب تأکید کردند و ضعف در این زمینه را بزرگ‌ترین چالش دانستند. آن‌ها همچنین اشاره کردند که بیشتر پژوهش‌ها به تحلیل مفهومی حکمرانی پرداخته‌اند و کمتر به ارائه الگویی عملی و نوین در این حوزه توجه شده است.

از سوی دیگر، تحقیقات محدودی به شبیه‌سازی و تحلیل بصری کیفیت آب در چارچوب حکمرانی خوب پرداخته‌اند. برخی مطالعات به مزایای برنامه‌های وب برای مدیریت کیفیت آب اشاره کرده‌اند. برای مثال، ژو و همکاران (۲۰۲۲) فناوری‌های مبتنی بر وب و واقعیت افزوده را به عنوان ابزارهای کلیدی در آموزش و شبیه‌سازی کیفیت آب معرفی کرده‌اند. گری و همکاران (۲۰۲۱) نیز ابزاری به نام CWDAT[1]را معرفی کردند؛ یک برنامه تحت وب متن‌باز که برای شبیه‌سازی کیفیت آب طراحی شده است. هدف از این ابزار فراهم آوردن دسترسی به مدیریت مؤثر کیفیت آب برای جوامعی که منابع لازم برای ایجاد سیستم‌های شبیه‌سازی ندارند و همچنین کاهش شکاف در درک کیفیت آب میان دانشمندان و جوامع محلی است. اگرچه آن‌ها اشاره کردند که حجم نمونه کوچک است و نمی‌توان به‌طور قطعی گفت که CWDAT به اهداف خود دست یافته است اما بازخوردهای دریافتی نشان‌دهنده مفید بودن این سیستم بود. شم و همکاران (۲۰۲۰) برنامه‌ای تحت وب توسعه دادند که داده‌های مربوط به منابع آب را با تعامل‌پذیری بالا و نمایش در نقشه جغرافیایی شبیه‌سازی می‌کند. هورسبرگ و همکاران (۲۰۱۵) بر این نکته تأکید کردند که با توجه به حجم فزاینده داده‌های موجود، چالش‌هایی در مدیریت و نظارت بر این داده‌ها وجود دارد، در حالی که باید کیفیت آن‌ها حفظ شود. آن‌ها ابزاری خودکار برای کدنویسی تغییرات کیفیت آب ارائه دادند که به کاربران بدون دانش برنامه‌نویسی این امکان را می‌دهد تا داده‌ها را به‌راحتی تجزیه و تحلیل و ویرایش و در قالب نمودارهای بصری مشاهده کنند. با توجه به این موارد، نیاز به حکمرانی انعطاف‌پذیر، پویا، جامعه‌محور و متناسب با

[1] Community Water Data Analysis Tool

ویژگی‌های فرهنگی، مذهبی، سیاسی و قومی هر کشور بیش از پیش احساس می‌شود که قابلیت اتصال به فناوری‌های نوین ارتباطی و افزایش مشارکت جوامع مدنی را داشته باشد (انصاری قوجقار، ۱۴۰۲).

در این تحقیق، با استفاده از روش تحلیلی و مرور نظام‌مند ادبیات موجود در حوزه‌های حکمرانی محیط‌زیست، مدیریت منابع آب و فناوری‌های نوین متاورس، به بررسی نقش و کاربرد فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در بهبود و ارتقاء کارآمدی حکمرانی منابع آبی پرداخته می‌شود. ابتدا مفاهیم کلیدی حکمرانی منابع آب و متاورس به‌صورت دقیق تبیین می‌گردد و سپس چارچوب مفهومی و عملیاتی پیشنهادی برای به‌کارگیری فناوری‌های متاورس در فرآیندهای مدیریت و تصمیم‌گیری منابع آبی ارائه خواهد شد تا بتواند به‌عنوان ابزاری نوین، مشارکت اجتماعی، شفافیت و اثربخشی در حکمرانی آب را افزایش دهد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- حکمرانی

از نظر لغوی، حکمرانی به معنای هدایت و یا اداره کردن است که در فرهنگ آکسفورد معادل واژه حکومت به‌کار برده شده است (لاگلین، ۱۳۸۳). اما درواقع، حکمرانی و حکومت را نمی‌توان مترادف در نظر گرفت. حکمرانی مفهومی میان‌رشته‌ای است که از رشته‌های جامعه‌شناسی، حقوق، سیاست، اقتصاد و مدیریت حاصل شده است. در این مفهوم، حکمرانی محدود کردن قدرت سنتی سلسله مراتبی و تشویق به تمرکز زدایی از دولت و لزوم اتکای هر چه بیش‌تر به مشورت و مشارکت شهروندان در جامعه است. بدین ترتیب تأثیرگذاری نهادهای همسوی دولت در اعمال و اتخاذ تصمیمات و سیاست‌ها، افزایش می‌یابد (سلطانی‌نژاد و گودرزی، ۱۳۹۶). براساس تعریف سازمان ملل، حکمرانی در واقع گروهی از اقدامات فردی، نهادی، خصوصی و عمومی به‌منظور برنامه‌ریزی امور و فرآیندی مستمر جهت ایجاد تفاهم بین منفعت‌های متضاد افراد در قالب اقدامات مشارکتی در جوامع مختلف، که شامل نهادهای رسمی، غیررسمی و سرمایه اجتماعی شهروندان در جامعه است، می‌باشد (سازمان ملل، ۲۰۰۰). در تعریف حکمرانی عموماً سه گروه دولت، بخش خصوصی و جامعه مدنی تاثیرگذار هستند. در واقع اساس مفهوم حکمرانی، ایجاد توافق و همیستگی میان سلایق و اولویت‌های متضاد است (برنامه اسکان بشر سازمان ملل متحد، ۲۰۱۵). حکمرانی دارای فرآیند، ساز وکار و نهادهایی است که در آن شهروندان و سایر گروه‌های موجود با بیان درخواست‌هایشان، توانایی استفاده از حقوق قانونی خود را داشته و اختلافات و تعارضات موجود را حل می‌کنند (برنامه توسعه سازمان ملل متحد، ۱۹۹۷).

۲-۲- حکمرانی آب

مبحث حکمرانی با توجه به میان‌رشته‌ای بودن، قابل تعمیم به موضوعات مختلف از جمله آب و محیط‌زیست است. سیستم‌های اجتماعی و فرآیندهای تأثیرگذار بر چرخه آب، فراتر از چارچوب مدیریت آب بوده و نیازمند بررسی بحران آب در قالب سیستم‌ها و نهادهای اجتماعی است که حکمرانی آب نام دارد (برنامه آب سازمان ملل متحد، ۲۰۰۷). حکمرانی آب به طیف وسیعی از سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی، اداری و سیاسی مرتبط می‌شود که منابع آبی و سیستم‌های انتقال آب را در سطح‌های مختلف جامعه مدیریت و توسعه می‌دهد (یادگاری و همکاران.، ۱۳۹۷). حکمرانی آب نحوه شکل‌گیری سیاست‌های منابع آب و روش‌های درست مدیریت در این حوزه را مورد بررسی قرار می‌دهد. این گونه از حکمرانی نیازمند ساز وکارهایی برای مشارکت فعالانه شهروندان در فعالیت‌های طراحی، برنامه‌ریزی، مدیریت و درنهایت اجرای روش‌های مدیریت آب است که جوامع را برای ایجاد تغییر توانمند می‌سازد (کری و همکاران.، ۲۰۰۶). مفهوم حکمرانی آب جایگزین مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب شده است که اساسی‌ترین چارچوب و مرجع در سال‌های

۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ بوده است (بیسواس و تورتاجادا، ۲۰۱۹). علی‌رغم وجود ارتباط مهم و مسائل مرتبط میان حکمرانی آب و مدیریت منابع آب، این دو مفهوم مترادف نیستند. حکمرانی موثر، چارچوبی به منظور فعال‌سازی ابزارهای مدیریت عملی است (بیسواس و تورتاجادا، ۲۰۱۹). مشکلات موجود در منابع آب ناشی از کمبود و نبودن سلسله مراتب و ترتیبات حکمرانی در جوامع است. این حکمرانی مجموعه‌ای از سیستم‌های اداری شامل نهادهای رسمی (سیاست‌ها و قوانین) و نهادهای غیررسمی (روابط موجود میان قدرت و روش‌ها) و ساختارهای سازمانی است (غفوری فرد و همکاران.، ۱۳۹۵). در حال حاضر، منازعات و بحران‌های آب در اثر بحران‌های حکمرانی گریبان‌گر بیش‌تر جوامع علی‌الخصوص جوامع نیمه‌توسعه‌یافته و توسعه‌نیافته شده است. افزایش کارآمدی حکمرانی آب با استفاده از اصلاح روش‌ها و افزایش هماهنگی در لایه‌های مختلف و سازگاری مدیریت منابع آب با چالش‌های جدید حاکمیتی، اجتماعی و اقتصادی پیش‌رو انجام خواهد شد. (اسکوهی و اسماعیلی، ۱۴۰۰).

۲-۳- متاورس

متاورس[۲] ترکیبی از دو کلمه متا[۳] (پسوند یونانی به‌معنای فراتر و بالاتر) و ورس (به معنی جهان[۴]) تشکیل شده است. بدین ترتیب متاورس جهانی فراتر از واقعیت، چندکاربره، دائمی و پایدار است که واقعیت فیزیکی را با جهان دیجیتال ترکیب می‌کند. متاورس یک جهان فرامادی و چندکاربره است که به‌طور پیوسته واقعیت فیزیکی و فضای دیجیتال را ادغام می‌کند. این فضا بر پایه ترکیب فناوری‌های پیشرفته‌ای همچون واقعیت مجازی[۵] و واقعیت افزوده[۶] شکل گرفته که امکان تعاملات چندحسی با محیط‌های دیجیتال، اشیای مجازی و افراد را فراهم می‌آورد. متاورس در واقع شبکه‌ای گسترده و پیوسته از محیط‌های اجتماعی فراگیر است که بر پلتفرم‌های پایدار چندکاربره اجراء می‌شود و ارتباطات زنده و تعاملات پویا را به‌صورت بلادرنگ میان کاربران امکان‌پذیر می‌سازد. نسخه اولیه متاورس به‌عنوان مجموعه‌ای از جهان‌های مجازی بود که کاربران می‌توانستند با استفاده از آواتارها در میان آن‌ها جابه‌جا شوند. اما نسخه امروزی متاورس شامل پلتفرم‌های واقعیت مجازی اجتماعی است که به‌طور یکپارچه با بازی‌های آنلاین چندنفره، محیط‌های تعاملی واقعیت افزوده ادغام و سازگار شده‌اند (میستاکیدیس، ۲۰۲۲). محاسبات ابری[۷] نیز زیرساختی ضروری برای پردازش و ذخیره‌سازی حجم عظیم داده‌های متاورس ارائه می‌دهد و امکان دسترسی پایدار و مقیاس‌پذیر را تضمین می‌کند. علاوه بر آن، محاسبات مه[۸] با پردازش داده‌ها در نزدیکی کاربر، تأخیر را کاهش داده و تجربه‌های بلادرنگ را تقویت می‌کند. هوش مصنوعی[۹] (AI) در متاورس نقشی کلیدی ایفاء می‌کند. این فناوری با تحلیل داده‌ها، طراحی محیط‌های هوشمند و شبیه‌سازی رفتارهای طبیعی، تجربه کاربری را بهینه می‌کند و تعاملات را به سطحی جدید از واقع‌گرایی می‌رساند. همچنین، بلاک‌چین[۱۰] زیرساختی امن و شفاف برای تراکنش‌ها و مدیریت دارایی‌های دیجیتال فراهم می‌کند. این فناوری امکان مالکیت پایدار و غیرمتمرکز دارایی‌هایی نظیر توکن‌های غیرقابل معاوضه[۱۱] (NFT) را ایجاد کرده و اقتصاد دیجیتال متاورس را شکل می‌دهد. ترکیب این فناوری‌ها متاورس را به بستری قدرتمند برای تحول در زمینه‌های مختلفی مانند آموزش، سلامت، تجارت و سرگرمی تبدیل کرده و آن را به یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های عصر دیجیتال بدل ساخته است. اگرچه هنوز زیرساخت‌های لازم برای ایجاد چنین فضای دیجیتال در مقیاس بزرگ فراهم نشده است، ساخت و ایجاد جهان‌هایی که آواتارهای انسانی فراتر از پلت‌فرم‌های نرم‌افزاری پیش روند دور از دسترس نیست

[2] Metaverse
[3] Meta
[4] Universe
[5] Virtual Reality
[6] Augmented Reality
[7] Cloud Computing
[8] Fog Computing
[9] Artificial Intelligence
[10] Blockchain
[11] Non-Fungible Token

(اسپارکز، ۲۰۲۱). با توجه به درگیری‌ها و بحران‌های جهانی، دنیای متاورس امروزه یک انتخاب نیست بلکه مسئله ضروری حاکمیتی است. در واقع متاورس فراتر از وب‌سایت‌ها، صفحات و فضای اینترنت است و آن را می‌توان دنیایی واقعی در ظاهر دنیای مجازی دانست (داراب‌پور، ۱۴۰۲). در متاورس دو نوع محیط وجود دارد؛ یکی شبیه‌سازی دنیای واقعی که محدودیت‌های آن را نمایش داده و منعکس کرده و در محیط دوم فارغ از محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی، کاربران آزادی عمل بیش‌تری دارند. در تقسیم‌بندی کلان، متاورس به چهار قسمت محیط، رابط کاربری، ارزش‌های اجتماعی و تعاملات تقسیم‌بندی می‌شوند (دویدی و همکاران.، ۲۰۲۲).

با توجه به اهمیت فناوری متاورس در حوزه حکمرانی منابع آب و به منظور ارائه چارچوبی نظری و عملیاتی دقیق، این پژوهش از روش تحقیق تحلیلی و مرور نظام‌مند ادبیات بهره می‌برد. در گام نخست، منابع علمی مرتبط با موضوعات حکمرانی، حکمرانی آب و متاورس به‌صورت جامع و سیستماتیک از پایگاه‌های داده داخلی و بین‌المللی گردآوری شد. سپس با بهره‌گیری از روش مرور نظام‌مند، داده‌ها و یافته‌های موجود تحلیل شده و در قالب چارچوب‌های مفهومی مرتبط با موضوع، دسته‌بندی گردیدند. این فرآیند امکان شناسایی مباحث کلیدی، روندهای پژوهشی و خلأهای موجود در دانش را فراهم کرده و زمینه‌ساز تدوین چارچوب نظری و عملیاتی پژوهش حاضر شده است. بدین ترتیب، رویکرد تحلیلی و مرور ادبیات، مبنایی قوی برای تبیین مفاهیم و ارائه راهکارهای مرتبط با حکمرانی و فناوری متاورس فراهم آورده است.

۳- بحث

۳-۱- بحران آب در ایران

بحران آب در ایران یکی از جدی‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که ناشی از تعارضات سیاسی، اجتماعی، افت سطح آب‌های زیرزمینی و شوری آب‌ها می‌باشد. از مجموع ۴۱۳ میلیارد متر مکعب حجم آب ورودی ناشی از بارندگی به ایران، ۶۸ میلیارد متر مکعب جزو منابع آب تجدیدناپذیر محسوب می‌شود. از این مقدار، حدودا ۱۳۵ میلیارد متر مکعب آب قابل تجدید است که با تقسیم با جمعیت کشور، حجم آب قابل تجدید به ازای نفر در سال در ایران حدوداً ۱۲۰۰ مترمکعب می‌باشد. با عنایت به حساسیت توسعه و مدیریت منابع آب، شاخص‌های مختلفی به‌منظور سنجش وضعیت منابع آب در جوامع مختلف ارائه شده است که هریک، نقاط قوت و ضعف خاص خود را دارند. تا به امروز بیش‌تر از ۵۰ شاخص سنجنده توسعه پایدار استفاده شده است که از این بین، شاخص فالکن مارک [۱۲] و شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل، از شاخص‌های مهم به‌منظور ارزیابی وضعیت منابع آبی می‌باشند (لارنس و همکاران.، ۲۰۱۳). فالکن مارک و ویدستراند (۱۹۹۲) در مطالعات خود، بحران آب را بر اساس حجم آب قابل تجدید سالیانه هر کشور تعیین کرده‌اند (جدول ۱) که بر این اساس، میزان سرانه آب معادل ۱۷۰۰ و ۱۳۰۰ مترمکعب در سال به‌ترتیب نمایانگر شاخص‌های تنش آبی و بحران آب هستند (شاهدی و طالبی حسین آباد، ۱۳۹۲). براساس این شاخص، ایران در وضعیت بحران و تنش قرار دارد.

[12] Falkenmark Index

جدول ۱. مقادیر استاندارد سرانه آب تجدیدپذیر براساس شاخص فالکن مارک (شاهدی و طالبی حسین آباد، ۱۳۹۲)

وضعیت	سرانه آب تجدیدپذیر (مترمکعب/نفر/سال)
مناسب	۱۷۰۰<
تنش	۱۳۰۰ -۱۷۰۰
بحران	۵۰۰ -۱۳۰۰
بحران شدید	۵۰۰<

قسمتی از پیامدهای ذکر شده، در اثر عوامل طبیعی مانند تغییر اقلیم، پدیده‌های حدی و موارد مرتبط با این موضوع و بخش دیگر تحت تاثیر سیاست‌های نادرست حکمرانی آب در این جوامع به‌وقوع می‌پیوندد. مؤلفه‌های حکمرانی خوب در هر جامعه با توجه به شرایط حاکم متفاوت است. بدین ترتیب، هرگونه قضاوت، داوری و ارزیابی درباره آن‌ها نیز مبتنی بر شاخص‌های بخصوص و معین می‌باشد. حکمرانی خوب درواقع بومی‌سازی این شاخص‌ها در هر جامعه به‌منظور دستیابی سریع‌تر به پایداری است (قوچانیان و فشائی، ۱۴۰۱). اگرچه یکی از شروط لازم برای حکمرانی خوب، دولت خوب است، ولی حکمرانی خوب معادل دولت خوب نیست. حکمرانی خوب در نتیجه تعامل سازنده و کارکرد درست همه قوای یک کشور حاصل می‌شود (رضایی و همکاران.، ۱۳۹۰). بدین ترتیب، منابع آب در کشور، یکی از بخش‌های نیازمند به حکمرانی مناسب است که با اتخاذ سیاست‌های درست و تصمیم‌گیری مشارکتی، موجب تحکیم و اصلاح وضعیت نابسامان فعلی می‌شود. حکمرانی آب به‌عنوان مفهومی کلیدی، برای تحلیل پیچیدگی‌های فرآیندهای مرتبط با ارائه خدمات آبی به کار می‌رود و چارچوبی جامع برای مدیریت مؤثر منابع آب فراهم می‌کند. این مفهوم نمایانگر تحول در روابط دولت و جامعه است، به‌ویژه در کشورهایی که به شکلی بنیادین مسئولیت‌ها و فعالیت‌های مربوط به مدیریت منابع آب و ارائه خدمات مرتبط با آن را توسعه داده‌اند. حکمرانی آب شامل تمامی نظام‌ها و فعالیت‌هایی است که در فرآیند سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری برای توسعه و مدیریت پایدار منابع آب نقش ایفاء می‌کنند. علاوه بر این، حکمرانی آب به ساختارهای سیاسی، اجتماعی و مدیریتی اشاره دارد که بر نحوه استفاده و بهره‌برداری از منابع آبی تأثیرگذار هستند و در عین حال، اصول عدالت و کارایی را در تخصیص و توزیع منابع و خدمات آبی تضمین می‌کنند (قاسمی و همکاران.، ۱۴۰۱).

عدم موفقیت سیاست‌های گذشته در زمینه مدیریت منابع آبی، تحت فشار توسعه اقتصادی، سبب آغاز روشی اصلاحی و جایگزین به‌منظور بازنگری در سیاست‌های مصرفی و رفتارهای گذشته و همچنین یافتن روش‌های افزایش بهره‌وری مدیریت آب در جوامع شده است. زیرا بحران کنونی موجود در زمینه آب، نتیجه عدم وجود حکمرانی مناسب است (دحیماوی و همکاران.، ۱۳۹۷). ارتباط مستقیم میان امنیت آبی، امنیت انسانی و امنیت ملی دولت‌ها از یک طرف و وجود حوزه‌های‌آبخیز و آبخوان‌های بین‌المللی مشترک متعدد در دنیا از طرفی دیگر، سبب تبدیل سامانه‌های آبی به مقوله سیاسی و امنیتی شده و پیوند درهم‌تنیده آب و سیاست با تمرکز بر قدرت شکل گرفته است (قریشی و همکاران.، ۱۳۹۸). با توجه به موارد بیان‌شده و با عنایت به این‌که سیستم‌های درهم‌تنیده و پویای منابع آب با انسان سروکار دارند، حکمرانی در این سیستم‌ها بدون همکاری

اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها، با شکست مواجه خواهد شد. به‌منظور موفقیت سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها درزمینه آب، سیاست‌گذاران در زمینه‌ی حکمرانی آب باید به‌طور همزمان دارای ویژگی‌های همکاری، مشارکت و سازگاری باشند. (صادقی‌زاده بافنده و میان‌آبادی.، ۱۳۹۸). استفاده از فناوری‌های ارتباط جمعی مانند صنعت متاورس سبب افزایش همکاری و مشارکت بخش خصوصی و جامعه مدنی و در نهایت سبب تغییر در سیاست‌های حاکمیت به سمت گونه حکمرانی نتیجه محور– جامعه محور می‌شود (انصاری قوجقار، ۱۴۰۲). به‌منظور به‌کارگیری فناوری متاورس در حکمرانی آب، از دو گروه فناوری واقعیت افزوده و واقعیت مجازی استفاده می‌شود.

۳-۲- کاربست فناوری‌های صنعت متاورس در حکمرانی آب

واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، به‌عنوان اجزای کلیدی صنعت نوظهور متاورس با کاربردهای گسترده در حوزه‌های مختلف شناسایی شده‌اند. این فناوری‌ها در زمینه‌هایی نظیر بازی‌های ویدیویی، سرگرمی، گردشگری، پزشکی، مطالعات باستان‌شناسی، شاخه‌های مختلف مهندسی و فناوری، تجارت، معماری، آموزش، علوم زیستی و دیگر عرصه‌ها به‌کار می‌روند. واقعیت افزوده از ترکیب فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای تقویت تجربه دنیای واقعی استفاده می‌کند، به‌گونه‌ای که اطلاعات دیجیتال (شامل ویژگی‌های بصری، صوتی یا دیگر حواس) به‌طور هم‌زمان روی اشیاء واقعی قرار می‌گیرند. واقعیت مجازی نیز یک شبیه‌سازی کامپیوتری است که درک کاربر از واقعیت را دگرگون می‌کند و به او این امکان را می‌دهد که با یک محیط سه‌بعدی کاملاً مصنوعی تعامل داشته باشد و به‌طور کامل کاربر را در دنیای شبیه‌سازی‌شده‌ای غوطه‌ور می‌سازد (مانند بازی‌های ویدیویی، فیلم‌ها یا شبیه‌سازی‌های پروازی) یا تجربه‌ای مشابه حضور در دنیای واقعی را برای او ایجاد می‌کند. در سال‌های اخیر، فناوری‌های واقعیت مجازی و شبیه‌سازی به‌عنوان ابزارهایی پیشرفته برای ارتقای آمادگی و بهبود اثربخشی واکنش‌ها در مدیریت بلایا به‌کار گرفته شده‌اند (علیزاده و همکاران.، ۲۰۲۳).

واقعیت افزوده دنیای فیزیکی را با اشیاء مجازی که به‌صورت دیجیتالی ایجاد شده‌اند، ترکیب می‌کند (آزوما، ۱۹۹۷). کاربران می‌توانند با استفاده از روش‌های مختلفی نظیر حرکات دست، فرمان‌های صوتی یا حتی حرکات چشم، با اجزای دیجیتال تعامل کنند. دو نوع دستگاه اصلی برای تجربه واقعیت افزوده وجود دارد: تلفن‌های هوشمند و هدست‌های نمایشگر (HMD) که هرکدام مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند. تلفن‌های هوشمند به‌طور گسترده در دسترس‌اند و با برخورداری از دوربین‌های با وضوح بالا و پردازنده‌های پیشرفته، تجربه واقعیت افزوده را برای طیف وسیعی از کاربران فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، هدست‌ها که به‌طور نسبی کمتر در دسترس‌اند، به‌دلیل کاهش هزینه‌ها و پیشرفت‌های تکنولوژیکی، به سرعت در حال گسترش و افزایش محبوبیت هستند. این دستگاه‌ها معمولاً به دوربین‌ها و حسگرهایی مجهز هستند که امکان تجزیه و تحلیل دقیق محیط و پشتیبانی از نمایش افزونه‌های دیجیتال را فراهم می‌آورند. هدست‌ها همچنین از واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی [۱۳] پشتیبانی می‌کنند، جایی که واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی بر هم منطبق می‌شوند (میلگرام و کیشینو، ۱۹۹۴).

[13] Mixed Reality

شکل ۱. استفاده از واقعیت مجازی برای شبیه‌سازی سیلاب شهری (علیزاده و همکاران.، ۲۰۲۳)

استفاده مناسب از ابزار شبیه‌سازی در مدیریت ریسک سیلاب به ماهیت مشکل ایجاد شده بستگی دارد (هنز و همکاران.، ۲۰۱۸). واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در کنار مشارکت عمومی شهروندان، فرصت‌های جدیدی برای ارزیابی شیوه‌های نوین شبیه‌سازی و تعامل فراهم کرده‌اند که می‌تواند مشارکت داوطلبانه شهروندان در کنار متخصصین برای ارزیابی رسیک سیلاب را تسهیل کند. این موضوع به‌دلیل نیاز روزافزون به اطلاع‌رسانی موثر و دقیق درباره ریسک سیلاب، به‌عنوان پیشگیری، اهمیت زیادی دارد.

مدل‌سازی در محل، چالشی پیچیده است که در کاربردهای محیط‌زیستی، برنامه‌ریزی و طراحی اهمیت زیادی دارد. یکی از چالش‌های عمده در واقعیت افزوده، هم‌راستا کردن دقیق نقاط دنیای واقعی با نقاط روی صفحه نمایش دستگاه و نمایش تصاویر به‌صورت سه بعدی و صحیح است (چاتزوپولوس و همکاران.، ۲۰۱۷). یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی توسط دمیر (۲۰۱۴) در سیستم‌های آزمایشگاهی واقعیت افزوده، استفاده از نشانگرهای مرجع است که به تقویت مدل‌های سه‌بعدی سناریوهای از پیش تعریف‌شده پرداخته و به کاربران این امکان را می‌دهد تا با تنظیم پارامترهای محیطی، فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند سیلاب و آسیب‌های ناشی از آن را مطالعه کنند. همچنین، استفاده از هدست‌های واقعیت مجازی، نظیر Oculus Rift، به کاربران این امکان را می‌دهد که تجربه‌ای سه بعدی و کاملاً غوطه‌ور در مدل‌های شبیه‌سازی‌شده داشته باشند. همچنین استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی مبتنی بر واقعیت مجازی امکان آموزش استانداردهای دقیق اندازه‌گیری دبی آب در جریان‌های باز را به صورت تعاملی و بدون نیاز به حضور میدانی فراهم می‌کند. میراودا و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که به‌کارگیری این فناوری‌ها توانایی نیروهای میدانی را در حرکت سریع‌تر در محیط‌های طبیعی و استفاده صحیح از تجهیزات اندازه‌گیری به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد، که در نهایت منجر به کاهش هزینه‌ها و زمان انجام عملیات پایش می‌شود. بنابراین، ادغام واقعیت مجازی در فرآیند آموزش و مدیریت منابع آبی، به‌عنوان بخشی از توسعه فناوری‌های متاورس، می‌تواند به ارتقای حکمرانی آب و مدیریت پایدار این منابع کمک شایانی کند.

شکل ۲. شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از واقعیت افزوده (هاینز و همکاران.، ۲۰۱۸)

با توجه به هزینه‌های بالا و خطرات مرتبط با جمع‌آوری داده‌های میدانی و انسانی پس از بلایای بزرگ مانند سیلاب، شبیه‌سازی یک منطقه سیل‌زده در محیط آزمایشی کنترل‌شده، در محیط واقعیت مجازی، می‌تواند به پیش‌بینی خطرات و ارزیابی پیامدهای ناشی از آن‌ها کمک کند. بدین ترتیب، فناوری واقعیت مجازی فضایی امن و کنترل شده است که با ایجاد فضایی شبیه‌سازی شده که در آن افراد تجربه عینی و ملموسی از حضور در یک منطقه سیل زده را تجربه می‌کنند، درک بهتری از چالش‌ها و خطرات مرتبط با این پدیده به‌دست می‌آورند. علاوه بر این، شبیه‌سازی سیلاب می‌تواند شدت وقوع آن را بهتر نمایش داده و به شهروندان، مدیران و کاربران انتقال دهد. با توجه به تمامی موارد بیان شده، می‌توان نتیجه گرفت که ارزیابی ریسک که در واقع شامل اندازه‌گیری خطرات احتمالی و واقعی توسط کارشناسان است، فرآیندی حیاتی است. تکنیک‌های شبیه‌سازی به کاربران کمک می‌کنند تا کیفیت منابع آبی را که در داده‌های جمع‌آوری‌شده از حسگرها منعکس شده، بهتر درک کنند. نمایش دقیق و مختصر داده‌های کیفیت آب در قالب‌های متنوع، امکان ایجاد سیستمی را فراهم می‌کند که در آن هوش مصنوعی بتواند نحوه ارائه داده‌ها را متناسب با سطح دانش گروه‌های مختلف تنظیم کند. به‌عنوان مثال، پژوهشگران می‌توانند داده‌ها را به‌صورت خام مشاهده کنند، در حالی که برای سیاست‌گذاران یا عموم مردم، این داده‌ها می‌تواند در قالبی تعاملی، خلاصه و تحلیلی ارائه شود تا درک آن‌ها آسان‌تر باشد. این نمایش‌ها باید کاربرپسند بوده و به‌راحتی از طریق دستگاه‌های در دسترس مانند رایانه‌ها و تلفن‌های هوشمند قابل مشاهده باشند. با این‌حال، مشاهده میدانی و درک واقعی مقیاس و ابعاد منابع آبی به‌ویژه هنگام طراحی راهکارهای کاهش آلودگی یا تدوین روش‌های تصفیه آب برای بهبود وضعیت اکولوژیکی این منابع بسیار اهمیت دارد. در چنین شرایطی، به‌دلیل شرایط جوی یا محدودیت‌های فنی (مانند عمر باتری محدود یا کیفیت نمایش تلفن‌های هوشمند)، استفاده از دستگاه‌های حجیم مانند لپ‌تاپ می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. به‌عنوان نمونه، ارائه اطلاعات مکانی آنی به کاربران درباره موقعیت منابع آبی، عمق، جهت جریان‌های زیرزمینی، حرکت آب در رودخانه‌ها و تغییرات کیفیت آب در طول زمان، با دستگاه‌های فعلی مانند تلفن‌های هوشمند یا لپ‌تاپ‌ها به‌طور کامل ممکن نیست. برای دستیابی به درک جامع و منسجم از کیفیت آب از طریق بصری‌سازی، می‌توان از

فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند واقعیت افزوده استفاده کرد (کائو و همکاران.، ۲۰۲۴).

فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی به‌عنوان اجزای کلیدی صنعت متاورس، علاوه بر حکمرانی منابع آب، در ایجاد شهرهای هوشمند نیز نقشی اساسی ایفاء می‌کنند و این دو حوزه می‌توانند به‌طور هم‌افزا موجب ارتقای پایداری و بهبود کیفیت زندگی شوند. شهرهای هوشمند، شهرهایی هستند که با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات[14] و اینترنت اشیاء[15] به مدیریت بهینه منابع و خدمات شهری می‌پردازند. هدف اصلی شهرهای هوشمند، بهبود یافتن کارایی خدمات عمومی در شهرها، افزایش کیفیت زندگی شهروندان و در عین حال، کاهش تأثیرهای منفی محیط‌زیستی در شهرها است. عناصر اصلی در مدیریت و تصمیم‌گیری در این شهرها، داده‌ها و اطلاعات هستند. فناوری‌های مانند حسگرهای هوشمند، شبکه‌های ارتباطی پیشرفته و سیستم‌های تحلیل داده به‌منظور نظارت و مدیریت بهتر بر فعالیت‌های شهری استفاده می‌شوند و به مدیران این امکان را می‌دهند که تا به سرعت به تغییرات محیطی و نیازهای شهروندان واکنش دهند. مدیران شهری با استفاده از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء و سیستم‌های فیزیکی- سایبری، از داده‌های جمع‌آوری شده برای افزایش عملکرد و بهبود تصمیمات خود استفاده می‌کنند. بدین منظور می‌توان مزایا و امکانات ناشی از ترکیب متاورس و شهرهای هوشمند را در سه بخش شبیه‌سازی محیطی، بهبود خدمات عمومی و مدیریت بحران بیان کرد. با این وجود، این ترکیب با چالش‌هایی نیز همراه است. قوانین دنیای واقعی ممکن‌است به آسانی در فضای دیجیتال قابل اجراء و پیاده‌سازی نباشند. علاوه بر این، تأمین امنیت داده‌ها و در عین حال حفظ حریم خصوصی کاربران و شهروندان در این فضا اهمیت زیادی دارد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، فناوری‌های متنوعی مانند واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، محاسبات ابری، محاسبات مه، هوش مصنوعی، بلاک‌چین و ... در گسترش و پیاده‌سازی متاورس نقش دارند. یکی از کاربردهای مهم متاورس در شهرهای هوشمند، امکان واکنش سریع و کارآمد در مواقع بحرانی و شرایط حساس مانند سیلاب، زلزله، آتش‌سوزی و سایر رویدادهای طبیعی و غیرطبیعی است. گروه‌های واکنش سریع و آنی می‌توانند قبل از وقوع بحران‌ها، سناریوهای مختلف را در محیط متاورس شبیه‌سازی و تمرین کرده تا در زمان وقوع بحران، واکنش‌های سریع‌تری داشته باشند.

[14] Information and communication technology

[15] Internet of Things

شکل ۳. بصری‌سازی کیفیت آب با استفاده از واقعیت افزوده (کائو و همکاران.، ۲۰۲۴)

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، بررسی کاربست فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی صنعت متاورس در حکمرانی منابع آب می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، پژوهش حاضر با مرور مطالعات صورت گرفته در رابطه با حکمرانی آب و متاورس و با استفاده از روش‌های توصیفی و استناد به منابع کتابخانه‌ای، روابط میان حکمرانی خوب و متاورس و مباحث حکمرانی آب و متاورس را مورد بررسی قرار داده است. در اولین گام، به تبیین و توضیح مفهوم‌های حکمرانی، متاورس، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده پرداخته شده است. در قدم بعدی و با ادغام مفاهیم فوق، به تجزیه و تحلیل مفهوم جدیدی تحت عنوان حکمرانی آب و حکمرانی متاورسی آب پرداخته شد. در گام آخر، کاربست فناوری های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در حکمرانی متاورسی آب با استفاده از نمونه‌های عینی برای کیفیت آب و مدلسازی سیلاب شهری مورد بررسی قرار گرفت.

کشور ایران با قرارگیری در کمربند بیابانی دنیا، جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. متوسط بارندگی سالانه ایران حدود ۲۴۵ میلی‌متر در سال، معادل یک سوم بارندگی کل جهان است. با توجه به بررسی حجم آب قابل تجدید در ایران که معادل ۱۳۵ میلیارد مترمکعب در سال است، وضعیت منابع آبی ایران طبق شاخص فالکن مارک، در شرایط میانی بحران و تنش قرار دارد. همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، بخش عظیمی از منازعات و کمبود آب در داخل و خارج از مرزهای جوامع، در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی در نتیجه عدم وجود حکمرانی مناسب است. در این راستا، ثبت رسمی حقابه‌ها در حوزه‌های آبخیز و آبخوان‌های مشترک موجود میان جوامع و کشورهای مختلف و قضاوت و مشارکت بی‌طرفانه دستگاه‌های قضائی مورد نیاز است.

راه‌کارهای موجود و لازم برای حل بحران آب، ناشناخته نیستند. در واقع چالش‌های اساسی به‌منظور حل بحران‌ها، شامل غلبه بر مانع‌های موجود، اجرایی سازی راه‌حل‌ها، گرد هم آوری مدیران و بهره‌برداران مختلف در سطوح مختلف جوامع به‌منظور تقسیم وظیفه و قبول رسیک برای حل چالش‌ها و مشکلات است. با پیشرفت روزافزون فناوری اطلاعات و ارتباط، لزوم تغییر نظام حکمرانی در جوامع از رویکرد سنتی سلسله مراتبی به رویکرد شبکه‌ای، بیش از پیش احساس می‌شود. نظام حکمرانی متاورسی، در صدد جانمایی گونه‌ای از حکمرانی جامعه‌محور و نتیجه‌محور است که علاوه بر افزایش تعامل و مشارکت اجتماعی شهروندان در بخش‌های مختلف جامعه، ارزش‌های سنتی، باورها، هنجارها و فرهنگ آن جوامع نیز حفظ شود. در حکمرانی متاورسی به‌وسیله فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، اقدام به مدل‌سازی و پیش‌بینی مشکلات موجود در جوامع با توجه به شرایط پیش‌رو می‌شود. فناوری واقعیت مجازی می‌تواند با کاربرد در ساختارهای آموزشی برای مردم و مسئولین، از طریق عینی‌سازی و واقعیت بخشی معضلات احتمالی، از آثار زیانبار پدیده‌هایی مانند رواناب و سیلاب شهری بکاهند. بدین ترتیب، سیاست‌های

حاکمیت و سیاست‌گذاران باید به گونه‌ای تغییر یابد تا پلتفرم‌های متاورس جایگاه ویژه و ثابتی در امر آموزش، مدیریت بحران و آگاهی‌سازی ارکان مختلف جامعه داشته باشد. به عنوان مثال معضل خشک شدن دریاچه ارومیه نمونه‌ای بارز و قابل تأمل در خصوص لزوم تغییر سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب در کشور و حرکت به سمت حکمرانی متاورسی می‌باشد. ذکر این نکته نیز ضروری است که صنعت متاورس نیز با توجه به نوظهور بودن خود، ویژگی‌های پیچیده و ناشناخته‌ای دارد که نیازمند مطالعات و ارزیابی‌های بیش‌تر به منظور بروزرسانی و کاربرد گسترده تر در تمامی علوم است. در این میان، بهره‌گیری هوشمندانه از فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در قالب متاورس، علاوه بر توانمندسازی مدیران و کارشناسان در طراحی و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریتی، می‌تواند زمینه‌ساز افزایش مشارکت فعال و آگاهانه ذی‌نفعان و شهروندان شود. این تعامل گسترده موجب تقویت شفافیت و پاسخگویی در فرآیند حکمرانی آب و همچنین ارتقای عدالت در توزیع منابع می‌گردد. علاوه بر این، تلفیق فناوری‌های پیشرفته مانند داده‌های بزرگ، اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی با واقعیت مجازی و افزوده، امکان رصد بلادرنگ و مدیریت بهینه منابع آب را فراهم ساخته و می‌تواند به کاهش هدررفت و افزایش بهره‌وری منجر شود. از این رو، تدوین چارچوب‌های قانونی و اخلاقی مربوط به امنیت داده‌ها و حریم خصوصی در کنار توسعه زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و آموزش نیروی انسانی متخصص، ضرورت بالایی دارد. توسعه نظام حکمرانی متاورسی، به عنوان رویکردی نوین و پویا، می‌تواند نقشی کلیدی در تضمین امنیت آبی و توسعه پایدار کشور ایفاء کند و باید در اولویت برنامه‌های کلان ملی و منطقه‌ای قرار گیرد.

منابع

1. Ansari ghojghar, M. (2023). Presenting an analytical framework of the concept of metaverse governance in order to apply participatory management in the field of environmental geopolitics. Iranian Journal of Soil and Water Research, 54(2), 369-388. https://doi: 10.22059/ijswr.2023.355659.669455 (In Persian)
2. Alibakhshi, E., Vardi, S.Sh. and Diri, A. (2024). Investigating the role of good governance in improving environmental quality using the structural equation method. National Defense Strategic Management Studies, 8(30), 207-232. https://journals.sndu.ac.ir/article_3167.html?lang=en (In Persian)
3. Alizadeh, B., Sakib, M. N. and Behzadan, A. H. (2023). Immersive Virtual Reality to Measure Flood Risk Perception in Urban Environments. 30th International Conference on Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), England.
4. Azuma, R.T. (1997). A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments/MIT press, 6, 355-385. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355
5. Biswas, A.K. and Tortajada, C. (2019). Water quality management: a globally neglected issue. International Journal of Water Resources Development, 35(6), 913-916. https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1670506
6. Cao, J., Liu, X., Su, X., Hædahl, J.E., Fjellestad, T.B., Haziri, D., ... and Hui, P. (2024). Head-mounted display-based augmented reality for water quality visualisation. Water Science and Engineering, 17(3), 236-248. https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.12.002
7. Cham, H., Malek, S., Milow, P. and Ramli, M.R. (2020). Web-based system for visualisation of water quality index. All Life, 13(1), 426-432. https://doi.org/10.1080/26895293.2020.1788998
8. Chatzopoulos, D., Bermejo, C., Huang, Z. and Hui, P. (2017). Mobile augmented reality survey: From where we are to where we

15. Falkenmark, M. and Widstrand C. (1992). Population and water resources: a delicate balance. Population Bulletin, 47(3), 1-36.
16. Ghafouri fard, S., Bagheri, A., Amiri, M. and Babaeian, F. (2015). Water governance system as a platform for implementing integrated management of water resources systems. Hamoon International Wetland Restoration Solutions and Approaches Conference. https://civilica.com/doc/657529 (In Persian)
17. Ghasemi, A., Alavian, M. and Hosseini, M. (2022). Analysis of State-society Interactions in Iranian Water Governance: Strategic Implications. Political Strategic Studies, 11(42), 181-220. https://doi/ 10.22054/qpss.2022.68358.3058 (In Persian)
18. Ghochanian, M. and Fashaee, M. (2022). Water Resources Management Indicators Focusing on Governance. Journal of Water and Sustainable Development, 9(1), 1-10. https://doi/10.22067/jwsd.v9i1.2110.1086 (In Persian)
19. Ghoreishy, S.Z., Mianabadi, H. and Mousavi Shafaee,S. M. (2019). The Role of Power in Water Diplomacy. Iran-Water Resources Research, 15(2), 242-264. http://iwrr.sinaweb.net/article_85778.html (In Persian)
20. Gray, A., Robertson, C. and Feick, R. (2021). CWDAT—an open-source tool for the visualization and analysis of community-generated water quality data. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(4), 207. https://doi.org/10.3390/ijgi10040207
21. Haynes, P., Hehl-Lange, S. and Lange, E. (2018). Mobile augmented reality for flood visualisation. Environmental modelling & software, 109, 380-389. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.012
22. Horsburgh, J. S., Reeder, S. L., Jones, A. S. and Meline, J. (2015). Open-source software for visualization and quality control of continuous hydrologic and water quality sensor data. Environmental Modelling & Software, 70, 32-44. https://doi/10.1016/j.envsoft.2015.04.002
23. continuous hydrologic and water quality sensor data. Environmental Modelling & go. Ieee Access, 5, 6917-6950. https://doi/10.1109/ACCESS.2017.2698164
9. Currie-Alder, B., Thompson, L. and Bustamante, R. (2006). Insights on water governance: research in the Middle East/North Africa and Latin America. In IDRC CRDI. Presented at Survival of the Commons: Mounting challenges and new realities. Eleventh conference of the International Association for the Study of Common Property. Bali, Indonesia.
10. Dahimavi, A., Akhundali, A.M., Shirvanian, A. and Boroomand Nasab, S. (2018). Extraction and Weighing of Indicators Representing the Principles of Agricultural Water Governance in Irrigation and Drainage Networks of Khuzestan. Iran-Water Resources Research, 14(4), 226-238. https://www.iwrr.ir/article_63712_en.html (In Persian)
11. Darabpour, M.R. (2023). Metaverse; Nature and Legal Challenges (Governance, Persons and Property). ModernTechnologies Law, 4(7), 65-81. https://doi/ 10.22133/mtlj.2023.366623.1130 (In Persian)
12. Demir, I. (2014). Interactive web-based hydrological simulation systems as an education platform using augmented and immersive reality. ASEE North Midwest Section Conference (Vol. 2014, No. 1), University of Iowa. https://doi.org/10.17077/aseenmw2014.1008
13. Dwivedi, Y.K., Hughes, L., Baabdullah, A.M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M.M., ... and Wamba, S.F. (2022). Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. International journal of information management, 66, 102542. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542
14. Fadaei Tehrani, M. and Mirzaei, A. (2023). Analysis and evaluation of water governance in Iran based on the suggested principles of OECD. Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant, 10(35), 107-117. http://journal.hydropower.org.ir/article-1-539-en.html (In Persian)

Studies. https://civilica.com/doc/1103579 (In Persian)
34. Sadeghizade Bafandeh, Sh. and Mian abadi, H. (2022). Review and comparison of the concepts of integrated water resources management and water governance. First National Conference on Islamic Governance. (In Persian)
35. Shahedi, M. and Talebi Hossein Abad, F. (2014). Introducing few indices to evaluate the balance of Water Resources and sustainable development (Case Study: Qareh-Qum Basin in Iran). Journal of Water and Sustainable Development, 1(1), 73-79. https://doi/10.22067/jwsd.v1i1.34603 (In Persian)
36. Shokri, M. (2022). Environmental governance system in Iran and its challenges. The first international conference on governance and statecraft in Iran. https://civilica.com/doc/1545626 (In Persian)
37. Soltani Nejad, A. and Goodarzi, S. (2017). The Impact Of Information Technology On The Evolotion Of The Concept Of Good Governance. Political Quarterly, 47(1), 79-97. https://doi/10.22059/jpq.2017.60775
38. Simbar, R. and Maleki, A. (2020). National and International Environmental Governance: Approaches, Conflicts, and Strategies. International Relations Researches, 9(4), 7-46. https://doi/10.22034/irr.2020.107000 (In Persian)
39. Sparkes, M. (2021). What is a metaverse. NewScientist, 251(3348), 18. https://doi.org/10.1016/S0262-4079(21)01450-0
40. UNDP. (1997). Human Development Report 1997: Human Development to Eradicate Poverty. United Nations Development Programme. https://hdr.undp.org/content/human-development-report-1997
41. UNDP. (2000). Human Development Report 2000: Human Rights and Human Development. United Nations Development Programme. https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2000
42. UN-HABITAT. (2015). Global campaign on urban Governance: concept paper. 2nd

Software, 70, 32-44. https://doi/10.1016/j.envsoft.2015.04.002
24. IPCC. (2022) Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.
25. Lawrence, J., Reisinger, A., Mullan, B. and Jackson, B. (2013). Exploring climate change uncertainties to support adaptive management of changing flood-risk. Environmental science & policy, 33, 133-142. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.05.008
26. Loughlin, M. (2012). Foundations of Public Law. Oxford University Press.
27. Liang, J., Liu, Q., Zhang, H., Li, X., Qian, Z., Lei, M., Li, X., Peng, Y., Li, S. and Zeng, G. (2020). Interactive effects of climate variability and human activities on blue and green water scarcity in rapidly developing watershed. J. Clean. Prod. 265, 121834. https://doi/10.1016/j.jclepro.2020.121834
28. Milgram, P. and Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 77(12), 1321-1329.
29. Mirauda, D., Capece, N. and Erra, U. (2020). Sustainable water management: Virtual reality training for open-channel flow monitoring. Sustainability, 12(3), 757. https://doi.org/10.3390/su12030757
30. Mirauda, D., Erra, U., Agatiello, R. and Cerverizzo, M. (2017). Applications of mobile augmented reality to water resources management. Water, 9(9), 699. https://doi.org/10.3390/w9090699
31. Mystakidis, S. (2022). Metaverse. Encyclopedia, 2(1), 486-497. https://doi/10.3390/encyclopedia2010031
32. Oskouhi, M. and Esmaili,K. (2021). Analysis of Governance Theories and Water Resources Management in Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 8(1), 1-10. https://doi/10.22067/jwsd.v8i1.88216 (In Persian)
33. Rezaei, H., Dehghani, R.A. and Kianpour, M. (2012). Designing and explaining the basic components and indicators of Islamic governance. Presidential Center for Strategic

Edition, Nairobi. https://unhabitat.org/global-campaign-on-urban-governance-the

43. UN-Water, G. W. P. (2007). Road mapping for advancing Integrated Water Resources Management (IWRM) Processes. UN-Water and Global Water Partnership, Copenhagen, Denmark. https://www.unwater.org/publications/un-water-and-global-water-partnership-roadmapping-advancing-integrated-water-resource
44. UN-Water. (2021). Summary Progress Update 2021–SDG 6 - Water and Sanitation for All. UN-Water, Genève, Switzerland. https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-all
45. Xu, H., Berres, A., Liu, Y., Allen-Dumas, M.R. and Sanyal, J. (2022). An overview of visualization and visual analytics applications in water resources management. Environmental Modelling & Software, 153, 105396. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105396
46. Yadegari, A., Yousefi, A. and Amini, A. (2018). Institutional Analysis of Water Governance Structure in Iran: A Case of Zayande-Rood Basin. Iran-Water Resources Research, 14(1), 184-197. https://www.iwrr.ir/article_50143_en.html (In Persian)
47. Zhu,Z. , Wang,K. , Lei,M. , Li,X. , Li,X. , Jiang, L., Gao, X., Li, S. and Liang, J. (2022). Identification of priority areas for water ecosystem services by a techno-economic, social and climate change modeling framework. Water Res. 221, 118766. https://doi/10.1016/j.watres.2022.118766