۲۶
فراخوان هفدهمین کنگره پیشگامان پیشرفت
فناوری‌های نوظهور و آینده پیشرفت ایران
(چالش ها، فرصت ها، راهکارها)
مهلت دریافت آثار و ایده‌های نوآورانه:
۱۵ بهمن ۱۴۰۴ و زمان برگزاری: بهار ۱۴۰۵

اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی به عنوان راهکارهای پایداری منابع طبیعی

بابک وفائی*
عزت اله قنواتی
امیر صفاری
سعید خضری
*نویسنده مسئول، دانشجو دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی
استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی
استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی
دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

چکیده

رشد جمعیت، توسعه صنعتی و تغییرات اقلیمی فشار بی‌سابقه‌ای بر منابع طبیعی وارد کرده است. در چنین شرایطی، فناوری‌های نوین به‌ویژه اینترنت اشیاء (IoT) و هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان ابزارهای تحول‌آفرین در مدیریت هوشمند منابع آب، انرژی و محیط زیست مطرح شده‌اند. این مقاله به بررسی نقش اینترنت اشیاء (IoT) و هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان راهکارهای نوین برای دستیابی به پایداری منابع طبیعی می‌پردازد. با تمرکز بر رویکرد سیستمی و جریان انرژی، نشان داده می‌شود که IoT با پایش بلادرنگ پارامترهای محیطی (آب، خاک، جنگل، انرژی) داده‌های لازم را فراهم می‌کند و AI با تحلیل این داده‌های حجیم، امکان پیش‌بینی مخاطرات، بهینه‌سازی مدیریت و تصمیم‌گیری هوشمند را ایجاد می‌نماید. کاربرد تلفیقی این دو فناوری، چرخه کامل پایش-تحلیل-تصمیم را شکل داده و مدیریت منابع طبیعی را از حالت واکنشی به پیشگیرانه و تطبیقی تبدیل می‌کند. در نهایت، این فناوری‌ها به‌عنوان ابزارهای کلیدی برای مدیریت هوشمند، یکپارچه و پایدار منابع طبیعی در چارچوب پیوند آب-انرژی-غذا (WEF Nexus) معرفی می‌شوند.

مقدمه

بحران منابع طبیعی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن ۲۱ تبدیل شده است. کمبود آب، کاهش کیفیت خاک، تخریب جنگل‌ها، آلودگی هوا، و افزایش مصرف انرژی نه تنها سلامت اکوسیستم بلکه امنیت غذایی، رفاه اقتصادی و پایداری اجتماعی کشورها را تهدید کرده است .کاهش کمی و کیفی منابع آب، تخریب خاک، نابودی جنگل‌ها، کاهش تنوع زیستی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، از جمله پیامدهای مدیریت ناپایدار منابع طبیعی به شمار می‌روند. این روندها نشان می‌دهند که رویکردهای سنتی مدیریت منابع، که اغلب مبتنی بر داده‌های محدود، تصمیم‌گیری‌های واکنشی و نبود پایش پیوسته بوده‌اند، دیگر پاسخگوی پیچیدگی و پویایی سیستم‌های طبیعی نیستند (UNEP, 2021). مفهوم پایداری منابع طبیعی بر استفاده بهینه و مسئولانه از منابع به‌گونه‌ای تأکید دارد که نیازهای نسل حاضر را بدون به خطر انداختن توان نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود برآورده سازد (WCED, 1987).اینترنت اشیاء (Internet of Things – IoT) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دستاوردهای عصر دیجیتال، به شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی مجهز به حسگرها، نرم‌افزارها و قابلیت‌های ارتباطی اطلاق می‌شود که امکان جمع‌آوری، ارسال و تبادل داده‌ها را به‌صورت بلادرنگ فراهم می‌سازند (Atzori et al, 2010). در حوزه منابع طبیعی، حسگرهای IoT می‌توانند پارامترهایی نظیر رطوبت خاک، دبی و کیفیت آب، دما، پوشش گیاهی، میزان آلاینده‌ها و مصرف انرژی را با دقت بالا و به‌طور مستمر پایش کنند. این ویژگی، زمینه‌ساز گذار از مدیریت ایستا و مقطعی به مدیریت پویا و مبتنی بر داده‌های واقعی است (Gubbi et al, 2013). با این حال، حجم عظیم داده‌های تولیدشده توسط سامانه‌های IoT، به‌تنهایی تضمین‌کننده بهبود مدیریت منابع نیست. داده‌ها زمانی ارزشمند خواهند بود که به دانش قابل استفاده و تصمیم‌های مؤثر تبدیل شوند. در این نقطه، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence – AI) به‌عنوان مکملی کلیدی برای اینترنت اشیاء مطرح می‌شود. هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌هایی نظیر یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی، توانایی تحلیل داده‌های پیچیده، شناسایی الگوهای پنهان، پیش‌بینی روندهای آینده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری هوشمند را داراست (Norvig, 2021 & Russell).

روش تحقیق

ترکیب IoT و AI منجر به شکل‌گیری سیستم‌های هوشمند و خودسازگار می‌شود که می‌توانند به‌صورت پیشگیرانه به تغییرات محیطی واکنش نشان دهند. برای مثال، در مدیریت منابع آب، داده‌های حسگرهای IoT در خصوص سطح آب، کیفیت و الگوی مصرف، با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی تحلیل شده و امکان پیش‌بینی کم‌آبی، نشت شبکه‌ها و بهینه‌سازی تخصیص منابع را فراهم می‌کنند (Li et al., 2020). در کشاورزی و مدیریت خاک نیز، این فناوری‌ها نقش مهمی در کاهش مصرف آب و کود، افزایش بهره‌وری و جلوگیری از تخریب اراضی ایفا می‌کنند (Wolfert et al., 2017).

از منظر سیستمی، منابع طبیعی را می‌توان به‌عنوان سیستم‌هایی باز، پویا و غیرخطی در نظر گرفت که تحت تأثیر جریان‌های مداوم انرژی، ماده و اطلاعات قرار دارند. فناوری‌های IoT و AI با فراهم‌سازی جریان مستمر اطلاعات دقیق، امکان درک بهتر رفتار این سیستم‌ها و مدیریت تطبیقی آن‌ها را فراهم می‌سازند. این رویکرد با اصول توسعه پایدار و مدیریت یکپارچه منابع طبیعی هم‌راستا بوده و می‌تواند تاب‌آوری اکوسیستم‌ها را در برابر شوک‌های محیطی و انسانی افزایش دهد (Folke et al., 2016). با وجود ظرفیت‌های گسترده، به‌کارگیری اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی در مدیریت منابع طبیعی با چالش‌هایی نیز همراه است؛ از جمله هزینه‌های زیرساختی، امنیت و حریم خصوصی داده‌ها، شکاف دیجیتال، نیاز به نیروی انسانی متخصص و مسائل نهادی و حقوقی. ازاین‌رو، بررسی هم‌زمان فرصت‌ها و محدودیت‌های این فناوری‌ها برای ارائه راهکارهای واقع‌بینانه و قابل اجرا ضروری است.

بر این اساس، هدف اصلی این مقاله بررسی نقش و کارکرد اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی به‌عنوان راهکارهایی نوین در جهت دستیابی به پایداری منابع طبیعی است. در این راستا، ابتدا مبانی مفهومی IoT، AI و پایداری منابع طبیعی تبیین می‌شود، سپس کاربردهای این فناوری‌ها در حوزه‌های مختلف منابع طبیعی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت، مزایا، چالش‌ها و چشم‌اندازهای آینده آن‌ها تحلیل می‌گردد. امید است نتایج این پژوهش بتواند به‌عنوان چارچوبی مفهومی برای پژوهشگران و تصمیم‌گیران حوزه محیط‌زیست و منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج و بحث

بررسی انجام‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که ترکیب هوش مصنوعی (AI) و اینترنت اشیا (IoT) می‌تواند نقشی کلیدی در پایش، تحلیل و مدیریت پایدار منابع طبیعی ایفا کند. نتایج حاصل از مرور مطالعات پیشین حاکی از آن است که سامانه‌های مبتنی بر IoT به‌تنهایی عمدتاً به جمع‌آوری داده‌های محیطی محدود می‌شوند، در حالی که افزوده شدن الگوریتم‌های هوش مصنوعی، این داده‌ها را به اطلاعات قابل تفسیر و تصمیم‌ساز تبدیل می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که در حوزه‌هایی مانند مدیریت منابع آب، کشاورزی هوشمند، پایش جنگل‌ها و کنترل مصرف انرژی، استفاده هم‌زمان از AI و IoT موجب افزایش دقت پایش، پیش‌بینی بهتر تغییرات محیطی و واکنش سریع‌تر به شرایط بحرانی می‌شود. به‌عنوان مثال، داده‌های حسگرهای IoT با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای پنهان در تغییرات منابع طبیعی را شناسایی کرده و از بروز خسارات زیست‌محیطی جلوگیری کنند. در مقایسه با مطالعاتی که هر یک از این فناوری‌ها را به‌صورت مجزا بررسی کرده‌اند، مقاله حاضر بر هم‌افزایی (Synergy) میان AI و IoT تأکید دارد و نشان می‌دهد که ارزش واقعی این فناوری‌ها در تعامل و یکپارچگی آن‌ها نهفته است. نوآوری اصلی این پژوهش در ارائه یک نگاه تلفیقی و تحلیلی است که کاربردهای پراکنده را در قالب یک چارچوب مفهومی منسجم برای مدیریت پایدار منابع طبیعی گردآوری می‌کند.

با این حال، نتایج همچنین نشان می‌دهد که چالش‌هایی نظیر هزینه بالای پیاده‌سازی، نیاز به زیرساخت‌های ارتباطی پایدار، مسائل امنیت داده و کمبود داده‌های باکیفیت همچنان از موانع اصلی توسعه این سامانه‌ها محسوب می‌شوند. این محدودیت‌ها نشان می‌دهد که موفقیت چنین رویکردهایی مستلزم برنامه‌ریزی فنی، اقتصادی و نهادی هم‌زمان است.

هم‌افزایی IoT و AI: سیستم‌های هوشمند منابع طبیعی

قدرت اصلی پایداری هنگامی آشکار می‌شود که اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی به صورت یکپارچه استفاده شوند.

ویژگی‌های سیستم‌های هوشمند ترکیبی IoT + AI:

لایه	وظیفه
حسگرها و شبکه IoT	جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ
شبکه ارتباطی	انتقال داده با امنیت و پایداری
مدل‌های AI	تحلیل، پیش‌بینی و بهینه‌سازی
سیستم اجرایی	اعمال تصمیم‌ها به صورت خودکار

پیشنهادها

برای بهره‌گیری مؤثر از IoT و AI جهت پایداری منابع طبیعی در ایران، این اقدامات راهبردی پیشنهاد می‌شود:

1. تدوین برنامه ملی پایداری دیجیتال منابع طبیعی
2. گسترش شبکه حسگرهای بومی در حوزه آب، آلودگی و انرژی
3. سرمایه‌گذاری در توسعه سامانه‌های بومی هوش مصنوعی
4. همکاری دانشگاه‌ها، صنعت و نهادهای حاکمیتی در تولید داده
5. تسهیل ورود شرکت‌های دانش‌بنیان به پروژه‌های زیست‌محیطی
6. استانداردسازی امنیت سایبری برای شبکه‌های IoT

منابع

1. Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2013). *Geomorphology and river management: Applications of the River Styles framework*. Wiley-Blackwell.
2. FAO. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Systems at breaking point (SOLAW 2021)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7654en
3. Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society, 21*(3), 41. https://doi.org/10.5751/ES-08748-210341
4. G. Fortino, et al. "Internet of Things for Environmental Sustainability," IEEE Internet of Things Journal, 2021.
5. García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors, 20*(4), 1042. https://doi.org/10.3390/s20041042
6. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems, 29*(7), 1645–1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010
7. Howells, M., Hermann, S., Welsch, M., Bazilian, M., Segerström, R., Alfstad, T., Gielen, D., Rogner, H., Fischer, G., van Velthuizen, H., Wiberg, D., Young, C., Roehrl, A., Mueller, A., Steduto, P., & Ramma, I. (2013). Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. *Nature Climate Change, 3*(7), 621–626. https://doi.org/10.1038/nclimate1789