رویکردهای نو در مطالعات انسان و محیط

دورهٔ ۲، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴
شاپا الکترونیکی: ۱۸۱۲-۲۸۲۱

کاربرد هوش مصنوعی و سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی زیست شهری

سیده بهاره حسینی[۱] ✉، الهام یوسفی روبیات[۲]

۱. دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. نویسنده مسئول: baharhs1377@gmail.com
۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷
پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

واژگان کلیدی:
پشتیبانی تصمیم‌گیری
حل مسئله
سیستم‌های
تصمیم‌گیری
محیط‌زیست
هوش مصنوعی

چکیده

حفاظت مؤثر از محیط‌زیست تا حد زیادی به کیفیت اطلاعاتی که برای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود بستگی دارد. تلاش‌های بسیاری در جهت توسعه فناوری‌های لازم برای آگاهی سازمان‌های مدیریت و سیاست‌گذاری محیط‌زیست و کمک به آن‌ها در یافتن راه‌حل مسائل پیچیده صورت پذیرفته است و در نهایت به معرفی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری محیط زیستی ختم شده‌است. مشکلات زمانی رخ می‌دهند که اطلاعات زیاد باشند و هماهنگ نباشند، یعنی از منابع مختلف و علوم گوناگون جمع‌آوری شده باشند و کیفیت این اطلاعات قابل ارزیابی نباشد. یکی دیگر از چالش‌ها، ماهیت پویای مشکلات محیط‌زیستی است. رایانه‌ها در حفاظت از محیط‌زیست در دوران معاصر نقش حیاتی دارند و در وظایفی همچون نظارت، تحلیل داده‌ها، ارتباطات، ذخیره و بازیابی اطلاعات به کار می‌روند؛ بنابراین، استفاده از فناوری های هوش مصنوعی برای یکپارچه‌سازی و بهبود این وظایف طبیعی است. هدف اصلی این مطالعه، بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر سیستم‌های تصمیم‌یار محیطی در سال‌های اخیر و تحلیل ویژگی‌های نمونه ایده‌آل آن است و نمونه‌هایی از کاربردهای موفق در مسائل محیط‌زیستی را معرفی می‌کند. این تحقیق به تحلیل فنون مختلف هوش مصنوعی که در جهت بهبود و یکپارچه‌سازی فرآیندهای مربوط به مدیریت محیط‌زیست به کار می‌روند پرداخته است. علاوه بر این، چالش‌هایی مانند حجم بالای اطلاعات غیر هماهنگ و پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری در مواجهه با مسائل محیط‌زیست و تغییرات جهانی بررسی‌شده‌است. با توجه به نقش حیاتی رایانه‌ها در حفاظت از محیط‌زیست، استفاده از فنون هوش مصنوعی برای یکپارچه‌سازی وظایف نظارتی و تحلیلی در راستای بهبود عملکرد سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیستی بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد. این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از این فنون می‌تواند به سازمان‌ها در حل مسائل پیچیده محیط‌زیست کمک کند و در نتیجه، به توسعه پایدار محیط‌زیست کمک کند. نمونه‌هایی از کاربردهای موفق این سیستم‌ها در مسائل محیط‌زیستی نیز در این تحقیق مطرح‌شده‌است.

استناد: حسینی، سیده بهاره، یوسفی روبیات، الهام (۱۴۰۴). کاربرد هوش مصنوعی و سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی‌زیست شهری. *رویکردهای نو در مطالعات انسان و محیط*، ۲ (۲). ۹۹-۱۱۰.

https://doi.org/10.30487/hmes.2025.2045796.1063

© ۱۴۰۴ (۲۰۲۶) نویسندگان مقاله، نشریهٔ رویکردهای نو در مطالعات انسان و محیط، ناشر: سازمان مطالعه و تدوین کتب دانشگاهی در علوم اسلامی و انسانی (سمت).

Innovative Approaches in Human – Environment Studies

Vol. 2, Issue 2
Autumn & Winter 2026
Online ISSN: 2821-1812

The application of artificial intelligence and decision support systems in urban environmental planning

Seyedeh Bahareh Hosseini [1] ✉, Elham Yousefi Robiat

1. PhD student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran .Corresponding author: baharhs1377@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

Article Info

History
Received: October 09, 2025
Accepted: February 15, 2025

Keywords
Artificial Intelligence
Decision Support
Decision Systems
Environment
Problem Solving

Abstract

Effective environmental protection largely depends on the quality of the information used for decision-making. Significant efforts have been made to develop technologies that inform environmental management and policy-making organizations, helping them find solutions to complex environmental issues. These efforts have led to the introduction of Environmental Decision Support Systems. Problems arise when there is an abundance of uncoordinated information, meaning data is collected from different sources and scientific fields, making it difficult to assess the quality of this information. Another challenge is the dynamic nature of environmental problems. Computers play a crucial role in modern environmental protection, performing tasks such as monitoring, data analysis, communication, storage, and retrieval of information. Therefore, employing artificial intelligence techniques to integrate and enhance these tasks is a natural step.The primary goal of this study is to review the impact of artificial intelligence on Environmental Decision Support Systems in recent years. It also explores the key features of an ideal and presents successful applications in solving environmental issues. This research analyzes various AI techniques used to improve and integrate processes in environmental management. It also addresses challenges such as the high volume of uncoordinated data and the complexities of decision-making when dealing with environmental problems and global changes. Considering the critical role of computers in environmental protection, the use of AI techniques to integrate monitoring and analytical tasks is crucial for enhancing the performance of Environmental Decision Support Systems. This study shows that AI can assist organizations in solving complex environmental problems and, ultimately, contribute to sustainable environmental development.

Citation: Hosseini, B., & Yousefi Robiat, E. (2025). The application of artificial intelligence and decision support systems in urban environmental planning. *Innovative Approaches in Human–Environment Studies*, *2*(2), 99-110.
https://doi.org/10.30487/hmes.2025.2045796.1063

© 2025 Authors, Innovative Approaches in Human–Environment Studies.
Publisher: The Organization for Researching and Composing University Textbooks in the Islamic Science and Humanities (SAMT)

مقدمه

توسعه انسانی به‌طور فزاینده‌ای به محیط طبیعی پیرامون وابسته شده و ممکن است در آینده به دلیل تخریب‌های محیط‌زیستی محدود شود. افزایش جمعیت، شهرنشینی و صنعتی شدن که سیاره ما در این قرن با آن مواجه بوده است، جامعه را به این تأمل واداشته که آیا انسان‌ها شرایط ضروری برای حیات بر روی زمین را تغییر داده‌اند یا خیر. دانش محیط‌زیست، به‌عنوان یک حوزه میان‌رشته‌ای به بررسی تأثیرات انسان بر فرآیندهای محیطی می‌پردازد و هم فعالیت‌های انسانی و هم فرآیندهای محیطی را در نظر می‌گیرد (Uygun et al., 2024). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که محیط‌زیست یک سیستم پیچیده و پویاست که در آن جنبه‌های مختلف ممکن است به یک تأثیر مشابه منجر شوند (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای که منجر به گرم شدن کره زمین می‌شود)، درحالی‌که برخی از اقدامات به‌صورت هم‌افزا عمل کرده و تأثیرات بسیار بزرگ‌تری از پیش‌بینی‌های معمول به‌همراه دارند (مانند واکنش دی‌اکسید نیتروژن و هیدروکربن‌ها که منجر به تولید اوزون تروپوسفری می‌شود)؛ بنابراین، برای ارزیابی دقیق تأثیرات این جنبه‌های مهم، تحلیل‌های بیشتری موردنیاز است. مسئله تغییرات جهانی پیچیده است و با تعاملات متعددی که در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف عمل می‌کنند، نمایان می‌شود. مواجهه با این مسائل نیازمند درنظرگرفتن تعاملات مرتبط بین انسان‌ها و محیط‌زیست به شکلی یکپارچه است (Uygun., 2024). فناوری‌های اطلاعاتی نقش مهمی در برنامه‌ریزی، پیش‌بینی، نظارت و کنترل فرآیندهای محیطی در مقیاس‌های مختلف و دوره‌های زمانی متنوع ایفا کرده‌اند. در همین زمان، سازمان‌ها، صنایع (مانند سازمان بین‌المللی استانداردسازی[1] و طرح مدیریت و حسابرسی محیط‌زیست اروپا[2]) و دولت‌ها (همچون قانون سیاست محیط‌زیست ملی ایالات‌متحده) رابطه فعال‌تری با محیط‌زیست برقرار کرده‌اند و با تصویب قوانین مناسب، الزام به درنظرگرفتن اثرات محیط زیستی در فرآیندهای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای پروژه‌های بزرگ (مانند اجلاس کیوتو، دستور کار ۲۱ یا اعلامیه ریودوژانیرو) را مطرح کرده‌اند (Ostrom., 1990). در دو دهه اخیر، پیشرفت‌های فناوری اطلاعات و توسعه سخت‌افزارهای جدید، امکان ایجاد پیوندهای پژوهشی میان‌رشته‌ای بین دانشمندان محیط‌زیست و علوم رایانه را فراهم کرده و نتایج بسیار مثبتی به همراه داشته‌است.

یک حوزه جدید به نام "انفورماتیک محیط‌زیست" در حال ظهور است که ترکیبی از زمینه‌های تحقیقاتی مانند هوش مصنوعی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی[3]، مدل‌سازی و شبیه‌سازی و واسط‌های کاربری را در بر می‌گیرد. یکی از وظایف مهم و دشوار این حوزه جدید، تسهیل ادغام داده‌ها، اطلاعات و دانش از منابع مختلف در بخش محیط‌زیست است (Oguanobi et al., 2024).

هدف از این مطالعه بررسی نقش مؤثر هوش مصنوعی در توسعه ابزارهای نوین برای مدل‌سازی، طراحی، شبیه‌سازی، پیش‌بینی، برنامه‌ریزی و ایجاد سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری[4] به‌منظور مدیریت و حفاظت از محیط‌زیست است. این تحقیق به دنبال تحلیل شیوه‌هایی است که هوش مصنوعی توانسته با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، راه‌حل‌های عملی و مؤثری برای چالش‌های محیط‌زیست ارائه دهد. مشکلات محیط‌زیستی زیادی مانند آسیب به زیست‌کره، آلودگی هوای محلی، انتشار مواد مضر در آب و تغییرات آب‌وهوایی جهانی وجود دارند که نمی‌توان آن‌ها را از طریق آزمایش‌ها سنتی مطالعه کرد. به همین دلیل، مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای به‌عنوان ابزارهای مناسب برای درک بهتر این مشکلات به کار گرفته می‌شوند. فنون هوش مصنوعی که در حل مشکلات محیط زیستی به‌کاررفته‌اند، در سه دسته کلی سازمان‌دهی می‌شود:

1. International Organization for Standardization
2. Eco-Management and Audit Scheme
3. Geographic information system
4. Expanded Disability Status Scale

۱. تفسیر داده و داده‌کاوی: از ابتدا، تفسیر داده‌ها یکی از زمینه‌های اصلی تحقیق در حوزه هوش مصنوعی بوده است. بزرگ‌ترین چالش درزمینه ارزیابی‌های محیط‌زیستی، استخراج اطلاعات موردنیاز از داده‌های موجود است. این داده‌ها ممکن است از منابع و فرمت‌های مختلفی به دست آیند و اغلب به‌صورت ناهماهنگ و پراکنده باشند (Chakraborty et al., 2022). بازنمایی دانش به سیستم‌ها امکان می‌دهد تا انواع مختلف داده‌ها را تعریف و مدیریت کنند و همچنین با استفاده از الگوریتم‌های مناسب داده‌ها را به اطلاعات مفید تبدیل کنند. این کار نیازمند داشتن یک نظریه مناسب از حوزه کاربرد است. ممکن است لازم باشد مدل‌ها اندازه‌گیری و تعیین مقیاس شوند و الگوریتم‌ها تنظیم شوند. این وظایف نیازمند پردازش گسترده دانش و دسترسی به یک پایگاه مدل مناسب هستند. علاوه بر این، یکپارچه‌سازی داده‌ها به معنای غلبه بر ناهمگونی ناشی از انواع سیستم‌های داده، فرمت‌های مختلف داده و پروتکل‌های اسناد است. ابزارهای نرم‌افزاری و رابط‌های برنامه‌نویسی باید قادر به مدیریت این ناهمگونی‌ها باشند تا فرآیندهای داده‌کاوی و تحلیل داده به‌خوبی انجام شوند.

۲. تشخیص مشکل: بر اساس نظریه ارائه‌شده توسط سایمون، هر فرآیند تصمیم‌گیری شامل چهار مرحله اساسی است (Demigha,2021). هوشمندی: در این مرحله اطلاعات موردنیاز برای فرآیند تصمیم‌گیری جمع‌آوری می‌شود و مسئله به‌دقت تعریف می‌شود. طراحی: در این مرحله، راه‌حل‌های متفاوت و امکان‌پذیر برای حل مسئله ایجاد و بررسی می‌شوند تا مشخص شود که هر راه‌حل چقدر به حل مشکل کمک می‌کند و چه هزینه‌ای در بردارد.

انتخاب: در این مرحله، بهترین راه‌حل از میان راه‌حل‌های موجود انتخاب و اجرا می‌شود.

اجرا: در این مرحله، عملکرد راه‌حل نظارت و در صورت نیاز اصلاحات لازم انجام می‌شود.

۳. سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی: از روش‌های مختلفی برای تشخیص مشکلات استفاده می‌کنند. این روش‌ها شامل استفاده از سیستم‌های خبره (از الگوریتم‌های مبتنی بر قواعد ساده تا الگوریتم‌های پیشرفته منطق فازی) و نظریه‌های تجربی (بر اساس داده‌های آماری) هستند. همچنین ممکن است از شبکه‌های بیزی و نظریه‌های فرآیندی استفاده شود که به سیستم‌ها کمک می‌کنند تا مشکلات محیط‌زیستی را به‌طور دقیق شناسایی و تجزیه‌وتحلیل کنند (Nyimbili et al., 2018).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

همان‌طور که بیان شد، در این مقاله، هدف اصلی بررسی و مرور منابع و مطالعات اخیر در زمینه سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی است. این تحقیق به تحلیل پیشرفت‌های اخیر در این حوزه می‌پردازد و سعی دارد تأثیرات به‌کارگیری فنون هوش مصنوعی بر بهبود کیفیت تصمیم‌گیری‌ها در مسائل محیط‌زیستی را مشخص کند.

دو و همکاران در سال ۲۰۲۱ به نوآوری‌های جدید در استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود مدیریت کشاورزی، به‌ویژه در زمینه آبیاری و کوددهی، اشاره کردند. به‌طور خاص، این تحقیق به طراحی و توسعه یک سیستم کنترل آب و کود مبتنی بر آستانه هدایت الکتریکی خاک پرداخته است. در این سیستم، از شبکه‌های حسگر بی‌سیم با هزینه کم برای جمع‌آوری و انتقال داده‌ها استفاده می‌شود و این داده‌ها به یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری منتقل می‌شوند. سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن تغییرات هدایت الکتریکی خاک و محتوای رطوبت، به کاربر کمک می‌کند تا میزان دقیق آب و کود لازم را تنظیم کند و درنتیجه، دقت کوددهی افزایش می‌یابد. آزمایش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که این سیستم نسبت به روش‌های سنتی، به‌طور متوسط ۱۰٫۸۹٪ در مصرف کود صرفه‌جویی می‌کند و می‌تواند در طول دوره رشد کامل پنبه ۰٫۷۶ تا ۰٫۸۷ تن کود کمتری مصرف کند.

اسمیت و همکارانش (سال ۲۰۲۲) به بررسی استفاده از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی[1] در بهبود پایداری پروژه‌های ساختمانی پرداختند. در این تحقیق، از مرور سیستماتیک ادبیات علمی برای تحلیل استفاده از هوش مصنوعی در طول دوره زندگی پروژه‌های ساختمانی استفاده شد و اهداف اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی پایداری موردبررسی قرار گرفتند. از میان ۲۶۸۸ مقاله پژوهشی، ۷۷ مقاله به‌طور دقیق‌تر تحلیل شدند و نتایج نشان داد که بیشتر مطالعات بر پیش‌بینی مراحل اولیه پروژه (۵۰ درصد از مقالات) متمرکز هستند. شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی از محبوب‌ترین الگوریتم‌های مورداستفاده بودند. همچنین، نظریه‌های ترکیبی هوش مصنوعی در ۴۶ درصد از مقالات به کار گرفته شدند. اگرچه هدف پایداری اقتصادی در ۸۷ درصد از مقالات مطرح‌شده بود، اما شواهد نشان می‌دهند که توجه به اهداف محیط‌زیستی و اجتماعی در سال‌های اخیر افزایش‌یافته است.

جهانی و همکارانش (در سال ۲۰۱۹) در تحقیق خود به بررسی مدیریت فضای سبز پرداخته و از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای طبقه‌بندی و اولویت‌بندی درختان پرخطر استفاده کردند. این پژوهش بر اساس مدلسازی شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] و بررسی عوامل فیزیکی و بیولوژیکی مرتبط با احتمال شکست درختان، به‌ویژه درختان چنار (*Platanus orientalis*)، صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که نظریه طبقه‌بندی خطر شکست درختان چنار از دقت بالایی برخوردار است. با استفاده از تحلیل حساسیت، تغییرات در عوامل درختی با حداکثر اولویت شناسایی شد که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا خطر شکست درختان را کاهش دهند. در نهایت، این تحقیق یک سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی کاربردی را برای مدیران فضای سبز طراحی کرده است که به آن‌ها امکان می‌دهد تا معیارها را درخطر شکست درختان چنار اولویت‌بندی کنند و برنامه‌ریزی‌های بهینه‌ای برای کاهش خطر انجام دهند.

جهانی و همکاران (در سال ۲۰۱۶) به مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از عوامل اکولوژیکی و مرتبط با تخریب جنگل پرداخته‌اند تا تخریب اکوسیستم را پیش‌بینی کنند و به‌این‌ترتیب تأثیرات محیط‌زیستی پروژه‌های جنگلی را به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری محیطی ارزیابی کنند. نتایج شبکه چندلایه پیشرو که برای نظریه بهینه‌سازی تخریب جنگل آموزش‌دیده است، نشان می‌دهد که عملکرد مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد[3] از سایر نظریه‌های تخریب بیشتر است. تغییرات در فعالیت‌های مدیریت جنگل باارزش بالاتر در تحلیل حساسیت به مدیران جنگل کمک می‌کند تا تأثیرات محیطی مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد را کاهش دهند. این سیستم به‌عنوان یک سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی هوشمند، به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که معیارهای مرتبط با تخریب جنگل را مدل‌سازی کرده و به برنامه‌ریزی بهینه تخصیص منابع بپردازند. با توجه به نتایج، رویکردهای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی یک روش امیدوارکننده و قوی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره[4] به شمار می‌روند.

در تحقیقی که توسط دی و همکاران در سال ۲۰۱۹ انجام شد، رابطه بین آلاینده‌های پساب‌های صنعتی و کیفیت آب‌های سطحی در حوضه رودخانه یانگ تسه بررسی شد. این مطالعه نشان داد که اکثر پساب‌های صنعتی در چین بدون درمان مناسب به محیط‌های آبی تخلیه می‌شوند. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین غیرنظارت شده، نتایج نشان داد که سایت‌های شدیداً آلوده دارای غلظت‌های بالای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و آمونیاک- نیتروژن هستند. این تحقیق به نقش مؤثر الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تحلیل روابط بین آلاینده‌های پساب و آب‌های سطحی به‌عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری محیطی اشاره می‌کند.

1. artificial intelligence
2. Artificial Neural Networks
3. Orthogonal frequency-division multiplexing
4. Multi-Criteria Decision Analysis

پانتی و همکاران (سال ۲۰۱۶) در پژوهش خود از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مدیریت تقاضای آب[1] استفاده کردند. آن‌ها یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری هوشمند طراحی کردند که با بهره‌گیری از رویکرد چندعاملی، به‌طور لحظه‌ای مقدار مناسب آب را از مخازن به نقاط مصرف منتقل می‌کند. این سیستم با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و فنون پیشرفته پیش‌بینی، به کاهش هزینه‌های مدیریت تقاضای آب کمک می‌کند. نتایج تحقیق نشان داد که این سیستم نه‌تنها می‌تواند به بهبود پیش‌بینی تقاضای آب کمک کند، بلکه هزینه‌های مربوط به پمپاژ و توزیع آب را نیز به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. روش چندعاملی هم چارچوبی مؤثر برای حل چالش‌های مربوط به مدیریت بهینه منابع آب ارائه داده‌است.

کاکلوسکاس و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی که انجام داده‌اند، به بررسی قابلیت هوش مصنوعی به‌عنوان نظریه‌ای پیش‌بینی کننده برای تحلیل جامع آلودگی‌های محیطی در جنگل‌های حرا پرداخته شد. با توجه به نقش حیاتی جنگل‌های حرا به‌عنوان یکی از پربارترین اکوسیستم‌های زیستی جهان و تهدیدات ناشی از آلودگی‌های محیطی و تغییرات اقلیمی، این پژوهش به کمبود داده‌ها و شواهد کافی برای تحلیل و پیش‌بینی دقیق مشکلات محیطی اشاره کرد. محققان، نشانگرهای آلودگی در سه حوزه خاک، آب‌وهوا را بررسی و ارتباط آن‌ها را با پایداری اکوسیستم‌های حرا تحلیل کردند. نتیجه‌گیری این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از یک سیستم پیش‌بینی محیطی یکپارچه می‌تواند با ترکیب داده‌های هواشناسی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و غلظت فلزات سنگین، به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی و کاهش آلودگی در این جنگل‌ها به‌کار گرفته شود.

روش پژوهش

یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری به‌عنوان یک ابزار مبتنی بر کامپیوتر طراحی‌شده است تا به مدیران پروژه در فرآیند تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده کمک کند. سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری‌های اولیه معمولاً غیرفعال بودند و تنها دستورات صریح کاربر را اجرا می‌کردند و توانایی محدودی در تصمیم‌گیری داشتند؛ اما در سال‌های اخیر، ورود فنون هوش مصنوعی به این سیستم‌ها، توانایی‌های آن‌ها را به‌ویژه در صنعت ساخت‌وساز به طرز چشمگیری افزایش داده‌است. ساختار اصلی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری شامل اجزای زیر است (Phillips et al., 2021):

۱. رابط کاربری: این بخش به کاربران امکان می‌دهد تا داده‌ها را برای تحلیل وارد کنند و نتایج یا توصیه‌ها را به‌صورت قابل‌فهم دریافت کنند.

۲. سیستم نرم‌افزاری: این بخش که به‌عنوان مغز سیستم عمل می‌کند، از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای انجام استدلال و محاسبات استفاده می‌کند. بدین ترتیب، با توجه به داده‌های تاریخی موجود در پایگاه دانش و داده‌های ورودی کاربر، تصمیمات یا راه‌حل‌هایی برای مشکلات ارائه می‌دهد.

۳. دانش‌محور: در این بخش، داده‌های تاریخی و منطق‌های تصمیم‌گیری مفید ذخیره می‌شوند تا از موتور استنتاج پشتیبانی کنند. این پایگاه دانش همچنین با دریافت اطلاعات جدید از تعاملات با کاربران و حل مسائل واقعی به‌روز می‌شود که به‌نوبه خود به افزایش پیچیدگی و هوش سیستم کمک می‌کند.

هوش مصنوعی به‌عنوان "نظریه و توسعه سیستم‌های کامپیوتری که قادر به انجام وظایفی هستند که معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند، مانند درک بصری، تشخیص گفتار، تصمیم‌گیری و ترجمه بین زبان‌ها" تعریف می‌شود (Ertel., 2024).

1. water demand management

استفاده از هوش مصنوعی در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری، بهترین گزینه‌ها را برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. یکی از روش‌های اصلی استفاده از هوش مصنوعی در این سیستم‌ها، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. با تحلیل داده‌های ذخیره‌شده، این الگوریتم‌ها می‌توانند الگوهایی را در میان اطلاعات مشاهده‌شده شناسایی کنند و بر اساس آن، تصمیم‌های بهتری را پیشنهاد دهند. یادگیری ماشین به‌عنوان یک حوزه کلیدی در هوش مصنوعی، به توسعه الگوریتم‌ها و سیستم‌های کامپیوتری می‌پردازد که می‌توانند از داده‌های تاریخی بهره‌برداری کرده و پیش‌بینی‌هایی را بدون نیاز به برنامه‌نویسی صریح انجام دهند. این فرآیند شامل چندین روش اصلی است (Chakraborty et al., 2022):

۱. یادگیری نظارت‌شده: این روش از داده‌های برچسب‌گذاری‌شده برای آموزش مدل استفاده می‌کند، به‌طوری‌که سیستم قادر به شناسایی روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب باشد.

۲. یادگیری بدون نظارت: در این نوع یادگیری، الگوریتم‌ها به تحلیل داده‌های بدون برچسب پرداخته و به شناسایی الگوها و ساختارهای داخلی موجود در داده‌ها می‌پردازند.

۳. یادگیری تقویتی[1]: این رویکرد بر مبنای یادگیری از تعامل با محیط استوار است، جایی که الگوریتم‌ها اقداماتی را انتخاب می‌کنند تا پاداش بیشتری کسب کنند و به‌این‌ترتیب، استراتژی‌های بهینه را توسعه دهند.

الگوریتم‌های متداول در یادگیری ماشین شامل رگرسیون خطی چندمتغیره[2]، رگرسیون لجستیک[3]، ماشین بردار پشتیبان[4]، درخت تصمیم‌گیری[5]، جنگل تصادفی[6]، استنباط بیزی[7] و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌شوند. این الگوریتم‌ها نقش بسزایی در تحلیل داده‌های پیچیده و استخراج اطلاعات مفید از آن‌ها دارند. پردازش زبان طبیعی[8] یکی دیگر از حوزه‌های کلیدی در هوش مصنوعی و یادگیری ماشین است که به تعامل بین کامپیوترها و زبان انسانی می‌پردازد. درواقع، پردازش زبان طبیعی به ماشین‌ها توانایی می‌دهد تا زبان انسان را درک، تحلیل، تولید و پاسخ‌دهی کنند (Phillips et al., 2021).

این حوزه به طراحی و توسعه مدل‌های محاسباتی می‌پردازد که قابلیت‌های زبانی انسان‌ها را شبیه‌سازی کنند و شامل فرآیندهایی چون خواندن، نوشتن، شنیدن و گفتن است. پردازش زبان طبیعی به تبدیل زبان طبیعی به فرمی که برای کامپیوتر قابل‌خواندن باشد، کمک می‌کند و در زمینه‌های متنوعی ازجمله رسانه‌های اجتماعی، خدمات مشتری، تجارت الکترونیک، آموزش، سرگرمی، مالی و بهداشت و درمان کاربردهای گسترده‌ای دارد (Hagiwara et al., 2021). در زمینه مدیریت پروژه‌های ساختمانی، پردازش مستندات تایپ‌شده و تولید گزارش‌ها می‌تواند به‌طور خودکار انجام شود و از طریق این فرآیند، دانش ارزشمندی استخراج گردد. به‌عنوان نمونه، ارزیابی گزارش‌های حوادث در صنعت ساخت‌وساز می‌تواند به شناسایی عوامل پیش‌آمده کمک کند و درنتیجه، به بهبود ایمنی و کاهش خطرات در پروژه‌های آینده منجر شود (Baker et al., 2020).

همچنین الگوریتم‌های تکاملی[9] بخشی از هوش مصنوعی و زیرمجموعه‌ای از روش‌های بهینه‌سازی هستند، اما به‌طور خاص جزو الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌حساب نمی‌آیند، اگرچه در برخی موارد می‌توانند در کنار یادگیری ماشین مورداستفاده قرار گیرند.

این الگوریتم‌ها از فرآیندهای تکاملی طبیعی الهام گرفته‌اند و بر اساس اصولی مانند انتخاب طبیعی، جهش و ترکیب ژنتیکی عمل می‌کنند تا بهترین راه‌حل‌ها را برای مسائل پیچیده پیدا کنند. الگوریتم‌های تکاملی ابزاری هستند که

1. Reinforcement learning
2. Multiple Linear Regression
3. Logistic regression
4. Support Vector Machine
5. Decision Tree
6. Random forest
7. Bayesian inference
8. Natural Language Processing
9. Evolutionary Algorithms

ارتباطی میان بیولوژی، هوش مصنوعی، بهینه‌سازی عددی و پشتیبانی تصمیم‌گیری در زمینه‌های متنوع مهندسی برقرار می‌کنند. این الگوریتم‌ها از مدل‌های مبتنی بر تکامل ارگانیک برای بهینه‌سازی هوشمند استفاده می‌کنند. فرآیند بهینه‌سازی هوشمند شامل جستجو برای بهترین نتیجه به‌منظور حداقل سازی یا حداکثر سازی یک تابع هدف تحت شرایط مشخص‌شده است (Pan et al., 2021).

یکی از نمونه‌های این نوع الگوریتم‌ها، الگوریتم ژنتیکی[1] است. این الگوریتم می‌تواند برای بهینه‌سازی نتایج یک سیستم به کار گرفته شود و به بهبود عملکرد مدل در فرآیند تصمیم‌گیری در مدیریت پروژه‌های ساختمانی کمک کند. با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی، می‌توان به تحلیل دقیق‌تر و کارآمدتری از پارامترهای مختلف پروژه دست‌یافت و نتایج بهتری را در راستای تصمیم‌گیری‌های مؤثر و بهینه ارائه کرد (Sohail., 2023). در سال‌های اخیر، تحقیقات هوش مصنوعی بیشتر به سمت توسعه سیستم‌های مبتنی بر دانش[2] معطوف شده است. هنگامی‌که سیستم مبتنی بر دانش برای مسائل محیط‌زیستی به‌کاربرده می‌شود، از آن‌ها بانام‌های مختلفی مانند سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی یا سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری چندهدفه[3] یاد می‌شود. سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست به‌عنوان فناوری‌هایی کلیدی در مدیریت مشکلات پیچیده محیط‌زیستی شناخته می‌شوند. این سیستم‌ها به‌طور خاص برای کمک به سازمان‌ها و ذینفعان دریافتن راه‌حل‌هایی برای چالش‌های محیطی طراحی‌شده‌اند. هدف اصلی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست، تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری با استفاده از داده‌ها و مدل‌های تحلیلی است تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند گزینه‌های بهینه‌تری را در مواجهه با مشکلات پیچیده انتخاب کنند (Jahani et al., 2016).

سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست بر مبنای ترکیب داده‌های علمی و تجربی و به‌کارگیری روش‌های تحلیلی پیشرفته، ازجمله مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تجزیه‌وتحلیل حساسیت، طراحی‌شده‌اند. این سیستم‌ها به کاربران این امکان را می‌دهند که از طریق شفافیت در فرآیند تصمیم‌گیری، اطلاعات مربوط به گزینه‌های مختلف را بررسی کرده و تأثیرات هر گزینه را به‌دقت تحلیل کنند. یکی از مزایای کلیدی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست، بهبود شفافیت در تصمیم‌گیری است. با فراهم کردن توضیحات منطقی و مستند برای تصمیمات، ذینفعان می‌توانند فرآیند تصمیم‌گیری را بازتولید کنند و با تغییر پارامترها، تأثیرات مختلف گزینه‌ها را بررسی کنند. این ویژگی به بهبود اعتماد عمومی و پذیرش تصمیمات کمک می‌کند. بر اساس طبقه‌بندی ارائه‌شده توسط ریزولی، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی به دودسته اصلی تقسیم می‌شوند (Rizzoli., 1997):

سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست مشکل خاص: این سیستم‌ها برای حل مشکلات محیط‌زیستی خاص طراحی‌شده‌اند (برای مثال آلودگی آب یا مدیریت منابع طبیعی) اما می‌توانند در مکان‌های مختلف به کار گرفته شوند. سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست موقعیت و مشکل خاص: این سیستم‌ها به‌طور خاص برای یک مشکل محیط‌زیستی خاص در یک موقعیت جغرافیایی خاص طراحی‌شده‌اند. چنین سیستم‌هایی قابل‌انتقال به مکان‌های دیگر نیستند، درحالی‌که سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیست مشکل خاص معمولاً می‌توانند در شرایط مختلف به کار گرفته شوند.

در همان مطالعه، مجموعه‌ای از ویژگی‌های مطلوب برای یک سیستم ایده‌آل را معرفی می‌کنند. این ویژگی‌ها در هر سیستم مبتنی بر دانش کلاسیک یافت می‌شود. این ویژگی‌ها شامل:

۱. توانایی کسب، بازنمایی و ساختاردهی دانش: سیستم باید بتواند دانش مربوط به حوزه موردمطالعه را به‌درستی ثبت و سازمان‌دهی کند.

1. Genetic Algorithm
2. Knowledge-Based System
3. Multi-Objective Programming Decision Support System

۲. توانایی تفکیک داده‌ها از مدل‌ها: تفکیک داده‌ها از مدل‌ها برای استفاده مجدد از مدل‌ها و نمونه‌سازی بسیار مهم است.

۳. مدیریت داده‌های مکانی: سیستم باید بتواند داده‌های جغرافیایی و مکانی را مدیریت کند که این ویژگی با ترکیب آن با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امکان‌پذیر می‌شود.

۴. ارائه دانش تخصصی: سیستم باید بتواند دانش تخصصی مربوط به حوزه موردمطالعه را ارائه دهد.

۵. تشخیص، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی: سیستم باید قادر باشد در فرآیند تشخیص مشکلات، برنامه‌ریزی برای حل آن‌ها و بهینه‌سازی منابع و فرآیندها کمک کند.

۶. کمک به کاربران در فرمول‌بندی مشکل و انتخاب روش‌های حل: سیستم باید کاربران را در تعریف مشکلات و انتخاب بهترین روش‌های حل مسئله یاری کند.

در این بخش، به بررسی برخی از کاربردهای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی می‌پردازیم. این سیستم‌ها در طیف وسیعی از حوزه‌ها، از مدیریت منابع آب تا ارزیابی کیفیت هوا و پیش‌بینی آب‌وهوا، به کار گرفته‌شده‌اند.

دستیار عملیات و سیستم هوشمند شبیه‌سازی‌شده[1]: این سیستم هوش مصنوعی برای مدیریت آب در فلوریدای جنوبی طراحی‌شده است. دستیار عملیات و سیستم هوشمند شبیه‌سازی‌شده بیش از ۲۰۰ سازه آبی را در امتداد ۳۲۰۰ کیلومتر کانال اصلی در منطقه‌ای به وسعت ۴۶۰۰۰ کیلومترمربع مدیریت می‌کند. این سیستم با استفاده از سیستم‌های خبره که با زبان List Processing نوشته‌شده‌اند، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مشکلات مربوط به مدیریت آب را حل کنند (Salmoral et al., 2019).

پیش‌بینی طوفان[2]: این سیستم هوش مصنوعی به‌طور خاص برای پیش‌بینی طوفان در شبه‌جزیره اسکاندیناوی طراحی‌شده است. از یک سری عوامل همکار استفاده می‌کند که به‌طور مداوم داده‌های آب‌وهوایی را از مناطق مختلف جمع‌آوری و پردازش می‌کنند. این سیستم به‌طور ویژه بر پیش‌بینی طوفان‌های شدید تمرکز دارد و به‌صورت محلی و منطقه‌ای اطلاعات را تحلیل می‌کند تا پیش‌بینی‌های دقیق ارائه دهد (Ovesen et al., 2021).

مدل ارزیابی کیفیت آب‌وخاک[3]: این ابزار به تحلیل کیفیت و کمیت منابع آب در یک حوزه آبخیز کمک می‌کند. مدل ارزیابی کیفیت آب‌وخاک می‌تواند تأثیرات استفاده از زمین، تغییرات آب‌وهوایی و دیگر عوامل محیط‌زیستی را بر کیفیت آب شبیه‌سازی و پیش‌بینی کند (Borrelli et al., 2021). این مثال‌ها تنها بخشی از کاربردهای موفق سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی هستند که به‌عنوان ابزارهای کلیدی در مدیریت و تحلیل داده‌های محیط‌زیستی مورداستفاده قرارگرفته‌اند.

یافته‌های پژوهش

این مقاله به‌مرور مطالعات و بررسی چگونگی استفاده از فنون هوش مصنوعی برای حل مسائل محیط‌زیستی و نحوه ایجاد فرصت‌های جدید برای طراحی و کاربرد ابزارهای هوش مصنوعی، به‌ویژه سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی، پرداخته است. بسیاری از این سیستم‌ها به‌ویژه برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی در زمینه‌های مختلف مانند کیفیت آب، پیش‌بینی طوفان و مدیریت منابع طبیعی به کار گرفته‌شده‌اند. در مقایسه با مرورهای پیشین، این مطالعه گامی بزرگ

1. Operational Assistant and Intelligent Simulation System
2. STORMCAST
3. Soil and Water Assessment Tool

به سمت توسعه کاربردهای عملی سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی است. تحقیقات مربوط به این سیستم به‌تدریج به یکی از اجزای اصلی ارزیابی‌های محیط زیستی تبدیل‌شده است و نیازمند همکاری میان‌رشته‌ای برای تطبیق با تغییرات سریع این حوزه است (Barreira et al., 2024).

یکی از نکات مهم در استفاده از فنون هوش مصنوعی در این حوزه، تکیه‌بر سیستم‌های مبتنی بر دانش است که در تشخیص سریع مشکلات و ارائه راه‌حل‌های مناسب کمک می‌کنند. همچنین، ادغام فنون مختلف هوش مصنوعی با مدل‌های عددی و آماری، دقت و کارایی سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری را افزایش داده‌است. در بسیاری از کاربردهای واقعی، این سیستم‌ها به‌عنوان ابزارهای اساسی برای تصمیم‌گیری بهتر به کار می‌روند (Oguanobi et al., 2024). کلید موفقیت سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر رایانه، یکپارچه‌سازی منابع مختلف داده‌ها و مدل‌ها است. یک سیستم سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی یکپارچه می‌تواند با ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی عددی، قوانین مبتنی بر دانش و داده‌های مکانی جغرافیایی، به حل مشکلات پیچیده محیط زیستی کمک کند. بااین‌حال، تصمیم‌گیری نهایی همچنان به عهده انسان است و این سیستم‌ها تنها ابزارهایی برای کمک به تصمیم‌گیرندگان محسوب می‌شوند (Deloyde et al., 2023).

بحث و نتیجه‌گیری

سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی به‌عنوان ابزارهای مؤثر در مقابله با چالش‌های پیچیده محیط‌زیستی، نشان‌دهنده پیشرفت‌های قابل‌توجهی در عرصه مدیریت منابع طبیعی و ارزیابی ریسک هستند. این سیستم‌ها با ایجاد یک پایگاه داده جامع که شامل دانش محیط‌زیستی و اجتماعی–اقتصادی است، امکان تحلیل دقیق‌تر و تصمیم‌گیری بهینه‌تری را فراهم می‌آورند.

تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که رویکرد مبتنی بر دانش در طراحی و توسعه این سیستم‌ها، نقش کلیدی در موفقیت آن‌ها ایفا می‌کند. به‌ویژه در مراحل کسب دانش، شناسایی فازهای کلیدی تصمیم‌گیری و طراحی گرافیکی، می‌تواند به طراحی سیستم‌های کاربرپسند و مؤثر کمک کند. با توجه به پیشرفت‌های پیش‌بینی‌شده در زمینه پایگاه‌های داده مکانی و فنون پیشرفته محاسباتی، انتظار می‌رود که سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی به‌زودی به ابزاری جامع‌تر و کارآمدتر تبدیل شود. بااین‌حال، چالش‌های کلیدی مانند جلب مشارکت ذینفعان و طراحی سیستم‌های کاربرپسند نیازمند توجه بیشتری هستند. تحقیقات آینده باید بر روی توسعه مشارکت‌های فعال کاربران و افزایش اعتماد به این سیستم‌ها متمرکز شوند. این اقدامات نه‌تنها به افزایش کارایی این سیستم کمک می‌کند، بلکه به بهبود مدیریت مسائل محیط‌زیستی و تحقق اهداف پایدار توسعه نیز منجر خواهد شد. با در نظر گرفتن اهمیت سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط‌زیستی، تلاش برای ایجاد و تقویت آن‌ها باید در اولویت برنامه‌های مدیریتی و پژوهشی قرار گیرد. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و تحلیل داده‌ها در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی کمک کند. این مطالعات به‌ویژه در حوزه‌های مدیریت منابع آبی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی به‌کاررفته و به توسعه مدل‌های هوشمند برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی منجر شده است (Jiang et al., 2023). مدل‌سازی سیستم‌های طبیعی و شبیه‌سازی رفتارهای اکوسیستم یکی دیگر از زمینه‌های تحقیقاتی فعال در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی است. این مدل‌ها به محققان کمک می‌کنند تا تأثیرات مختلف سیاست‌ها و تغییرات محیط‌زیستی را بررسی کنند و استراتژی‌های مؤثری برای مدیریت منابع طبیعی پیشنهاد دهند (Peng et al., 2024). همچنین پژوهش‌ها نشان می‌دهند که یکی از چالش‌های اصلی در پذیرش سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی، عدم اطمینان و اعتماد کاربران به این سیستم‌هاست. مطالعاتی که در این زمینه

انجام‌شده، به شناسایی عوامل مؤثر بر پذیرش و استفاده از این سیستم پرداخته‌اند و به ارائه راهکارهایی برای جلب اعتماد کاربران و ذینفعان پرداخته‌اند (Zhen et al., 2021). برخی از پژوهش‌ها به مقایسه کاربرد سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری محیط زیستی در کشورهای مختلف پرداخته و به شناسایی بهترین شیوه‌ها و تجربیات موفق در این زمینه پرداخته‌اند. این مطالعات به تبادل دانش و تجربیات بین‌المللی کمک می‌کند و می‌تواند به بهبود طراحی و اجرای این سیستم‌ها در کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته منجر شود (Oguanobi et al., 2024).

منابع

Awad, A., & Fayek, A. R. (2012). A decision support system for contractor prequalification for surety bonding. *Automation in Construction, 21*, 89-98.

Baker, H., Hallowell, M. R., & Tixier, A. J. P. (2020). Automatically learning construction injury precursors from text. *Automation in Construction, 118*, 103145.

Barreira, A. P., Andraz, J., Ferreira, V., & Panagopoulos, T. (2023). Relevance of ecosystem services and disservices from green infrastructure perceived by the inhabitants of two Portuguese cities dealing with climate change: implications for environmental and intersectional justice. *Journal of Environmental Planning and Management, 1-31*.

Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., ... & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the Total Environment, 780*, 146494.

Chakraborty, S., Islam, S. H., & Samanta, D. (2022). Data classification and incremental clustering in data mining and machine learning. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.

Chen, L., & Pan, W. (2021). Review fuzzy multi-criteria decision-making in construction management using a network approach. *Applied soft computing, 102*, 107103.

DeLoyde, C. N., & Mabee, W. E. (2023). Ecosystem service values as an ecological indicator for land management decisions: A case study in southern Ontario, Canada. *Ecological Indicators, 151*, 110344.

Demigha, S. (2021, June). Decision Support Systems (DSS) and Management Information Systems (MIS) in Today's Organizations. *European Conference on Research Methodology for Business and Management Studies (pp. 92-IX)*. Academic Conferences International Limited.

Di, Z., Chang, M., Guo, P., Li, Y., & Chang, Y. (2019). Using real-time data and unsupervised machine learning techniques to study large-scale spatio–temporal characteristics of wastewater discharges and their influence on surface water quality in the Yangtze River Basin. *Water, 11(6)*, 1268.

Du, C., Zhang, L., Ma, X., Lou, X., Shan, Y., Li, H., Zhou, R. (2021). A cotton high-efficiency water-fertilizer control system using wireless sensor network for precision agriculture. *Processes, 9*, 1693.

Ertel, W. (2024). Introduction to artificial intelligence. Springer Nature.

Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability, and transformability. *Ecology and Society, 15(4)*.

Hagiwara, M. (2021). Real-world natural language processing: practical applications with deep learning. Simon and Schuster.

Jahani, A. (2019). Sycamore failure hazard classification model (SFHCM): An environmental decision support system (EDSS) in urban green spaces. *International Journal of Environmental Science and Technology, 16(2)*, 955-964.

Jahani, A., Feghhi, M. F., Makhdoum, J., & Omid, M. (2016). Optimized forest degradation model (OFDM): An environmental decision support system for environmental impact assessment using an artificial neural network. *Journal of Environmental Planning and Management, 59(2)*, 222-244.

Jiang, J., Men, Y., Pang, T., Tang, S., Hou, Z., Luo, M., ... & Zheng, Y. (2023). An integrated supervision framework to safeguard the urban river water quality supported by ICT and models. *Journal of Environmental Management, 331*, 117245.

Kaklauskas, A., Dzemyda, G., Tupenaite, L., Voitau, I., Kurasova, O., Naimaviciene, J., ... & Kanapeckiene, L. (2018). Artificial neural network-based decision support system for development of an energy-efficient built environment. *Energies, 11(8)*, 1994.

Lautenbach, S., Berlekamp, J., Graf, N., Seppelt, R., & Matthies, M. (2009). Scenario analysis and management options for sustainable river basin management: application of the Elbe-DSS. *Environmental Modeling and Software, 24*, 26-43.

Nyimbili, P. H., Erden, T., & Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP, and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Natural Hazards, 92*, 1523-1546.

Oguanobi, V. U., & Joel, O. T. (2024). Scalable business models for startups in renewable energy: strategies for using GIS technology to enhance SME scaling. *Engineering Science & Technology Journal, 5(5)*, 1571-1587.

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press.

Ovesen, A. B., Nordmo, T. A. S., Johansen, H. D., Riegler, M. A., Halvorsen, P., & Johansen, D. (2021). File system support for privacy-preserving analysis and forensics in low-bandwidth edge environments. *Information, 12(10)*, 430.

Pan, Y., & Zhang, L. (2021). Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction, 122*, 103517.

Peng, Q., Shen, L., Lin, W., Fan, S., & Su, K. (2024). Land-Use Transitions Impact the Ecosystem Services Value in a Coastal Region by Coupling the Geo-Informatic Tupu and Benefit-Transfer Method: The Case of Ningde City, China. *Applied Sciences, 14(9)*, 3643.

Phillips-Wren, G., Daly, M., & Burstein, F. (2021). Reconciling business intelligence, analytics, and decision support systems: More data, deeper insight. *Decision Support Systems, 146*, 113560.

Ponte, B., De la Fuente, D., Parreño, J., & Pino, R. (2016). Intelligent decision support system for real-time water demand management. *International Journal of Computational Intelligence Systems, 9(1)*, 168-183.

Rizzoli, A. E., & Young, W. J. (1997). Delivering environmental decision support systems: software tools and techniques. *Environmental Modeling and Software, 12*, 237-249.

Salmoral, G., Schaap, N. C., Walschebauer, J., & Al-Khateeb, J. (2021). Intelligent decision support systems for smart city development: A systematic review. *Environmental Impact Assessment Review, 86*, 106432.

Shen, L., & Tam, V. W. Y. (2015). A review of the implementation of sustainability in construction projects in China. *Environmental Impact Assessment Review, 55*, 18-30.

Sohail, A. (2023). Genetic algorithms in the fields of artificial intelligence and data sciences. *Annals of Data Science, 10(4)*, 1007-1018.

Smith, E. A., Horan, W. P., Demolle, D., Schueler, P., Fu, D. J., Anderson, A. E., ... & Alphs, L. D. (2022). Using artificial intelligence-based methods to address the placebo response in clinical trials. Innovations in Clinical Neuroscience, 19(1-3), 60.

Thangamani, M. (2021). Role of big data and machine learning in sustainable agriculture: A review. *Data Science for Sustainable Development, 1*, 100–115.

Torfi, K. A., & Amirteimoori, A. (2021). Decision making under fuzzy environments: applications in supply chain and logistics. *Springer, Berlin, Germany*.

Uygun, D., Aktaş, I., Duygulu, İ., & Köseer, N. (2024). Exploring teachers' artificial intelligence awareness. Advances in Mobile Learning Educational Research, 4(2), 1093-1104.

Wang, R., Zhang, L., & Wang, J. (2022). Artificial intelligence-assisted water resources management: A systematic review. *Water Resources Management, 36(12)*, 4553-4572.

Wang, X., Jin, J., & Zhu, H. (2021). Intelligent construction systems: An overview. *Automation in Construction, 127*, 103713.

Wu, Y., Huang, S., Li, L., Zhang, J., & Hu, Y. (2023). A hybrid intelligent decision support system for transportation network resilience optimization. *Reliability Engineering & System Safety, 235*, 109575.

Zhen, H., Gao, W., Yuan, K., Ju, X., & Qiao, Y. (2021). Internalizing externalities through net ecosystem service analysis–A case study of greenhouse vegetable farms in Beijing. Ecosystem Services, 50, 101323.

Zhang, C., Cheng, X., & Zhang, Y. (2022). Machine learning-based decision support for smart water management: A review. Water, 14(8), 1162.