تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۹/۲۶
تاریخ پذیرش ۱۴۰۵/۰۲/۳۱

DOI: 10.22092/irn.2026.371786

نامه‌علمی

اهمیت و ضرورت حفاظت از ریزوباکتری‌های مفید با بهره‌گیری از هوش مصنوعی

سمانه سماوات*[۱]

چکیده

در این مطالعه، نقش هوش مصنوعی در حفاظت و مدیریت منابع طبیعی ایران با تأکید بر میکروارگانیسم‌های مفید بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند، فناوری‌های مبتنی بر یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی می‌توانند در پایش جنگل‌ها، پیش‌بینی خشک‌سالی، حفاظت از گونه‌های گیاهی در حال انقراض و شناسایی باکتری‌های مفید مؤثر باشند. همچنین مطالعه موردی بر جدایه باکتریایی *Pseudomonas canadensis* نشان داد، ترکیب داده‌های زیستی و تحلیل‌های هوش مصنوعی، ابزار کارآمدی را برای شناسایی و مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم می‌آورد. این رویکرد، زمینه‌ای نوین برای توسعه فناوری‌های زیست‌محیطی و کشاورزی هوشمند در ایران ایجاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پایداری زیست‌محیطی، ریزوباکتری‌های مفید، منابع طبیعی، هوش مصنوعی

The importance and necessity of protecting beneficial rhizobacteria using artificial intelligence

Samaneh Samavat*[1]

Abstract

This study explores the role of artificial intelligence (AI) in the protection and management of Iran's natural resources, with a focus on beneficial microorganisms. The results indicate that AI technologies, including machine learning and neural networks, can effectively contribute to forest monitoring, drought prediction, endangered plant conservation, and bacterial identification. A case study on the bacterial isolate Pseudomonas canadensis demonstrated that integrating biological data with AI analysis provides an efficient tool for sustainable natural resource management. This approach introduces an innovative pathway toward the advancement of smart environmental and agricultural technologies in Iran.

Keywords: Environmental Sustainability, Beneficial Rhizobacteria, Natural Resources, Artificial Intelligence

*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. پست الکترونیک: samaneh.samavat@gmail.com

1*. Corresponding author, Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Email: samaneh.samavat@gmail.com

● مقدمه

هوش مصنوعی (AI) یکی از شاخه‌های پیشرفته علم کامپیوتر است که با بهره‌گیری از الگوریتم‌ها، مدل‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی، توانایی تحلیل داده‌های پیچیده، شناسایی الگوها و تصمیم‌گیری هوشمندانه را در حل مسائل متنوع فراهم می‌آورد. این فناوری به‌دلیل قابلیت‌های منحصربه‌فرد خود، در مدیریت منابع طبیعی جایگاه ویژه‌ای یافته و امکان نظارت، پیش‌بینی و ارائه راهکارهای مؤثر را برای حفظ پایداری محیط‌زیست و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی فراهم کرده است. کاربردهای هوش مصنوعی در مدیریت منابع طبیعی ایران می‌تواند شامل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای نظارت بر پوشش گیاهی، پیش‌بینی و مدیریت بحران‌هایی نظیر کم‌آبی و خشک‌سالی، شناسایی و پایش گونه‌های گیاهی در معرض خطر و نیز حفاظت از میکروارگانیسم‌های مفید، جنگل‌ها، مراتع و گیاهان دارویی باشد. این فناوری در بسیاری از کشورهای پیشرفته، نقشی کلیدی در حفظ پایداری محیط‌زیست و تنوع زیستی ایفا کرده است. در ایران نیز با بهره‌گیری از ابزارهای هوش مصنوعی می‌توان در حفاظت و مدیریت کارآمدتر این منابع حیاتی کوشید (Rolnick *et al.*, 2022؛ Onyebuchi *et al.*, 2024).

● چالش‌ها و ظرفیت‌های ایران در مدیریت منابع طبیعی

ایران حدود ۱۴ میلیون هکتار جنگل و ۸۴ میلیون هکتار مرتع دارد و زیستگاه بیش از ۸۰۰۰ گونه گیاهی و ۱۲۰۰ گونه جانوری است که برخی از این گونه‌ها بومی ایران و حتی در معرض خطر انقراض هستند. منابع آب ایران نیز به‌دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، محدود و حساس است. باوجود رودخانه‌های مهمی مانند کارون، کرخه، سفیدرود و زاینده‌رود، ایران به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک با کمبود منابع آبی مواجه است. منابع آب زیرزمینی نیز در بسیاری از مناطق به‌شدت کاهش یافته و کشور با بحران جدی کمبود آب روبه‌رو است. این در حالی است که بهره‌برداری اصولی از این منابع نیازمند مدیریت پایدار است تا هم از تخریب محیط‌زیست جلوگیری شود و هم بهره‌وری اقتصادی به دست آید (Asadi and Gorji, 2022؛ FAO, 2020).

● کاربردهای هوش مصنوعی در مدیریت منابع طبیعی

الف) پایش و حفاظت از جنگل‌ها

ایران با برخورداری از جنگل‌های باارزشی چون هیرکانی و زاگرس، ذخایر طبیعی منحصربه‌فردی دارد که علاوه بر نقشی حیاتی در حفظ تعادل اکوسیستم، به‌عنوان منبع اقتصادی و زیست‌محیطی نیز مهم هستند. بااین‌حال، این جنگل‌ها به‌دلیل تهدیداتی نظیر تغییرات اقلیمی، آتش‌سوزی‌های مکرر، قطع غیرقانونی درختان و چرای بی‌رویه در معرض خطر جدی قرار دارند. کاربردهای هوش مصنوعی در این حوزه می‌تواند شامل تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، سنجش از دور و پردازش داده‌های مکانی باشد که به مدیران و پژوهشگران کمک می‌کند تا تغییرات پوشش گیاهی، فرسایش خاک و تخریب زیستگاه‌ها را با دقت شناسایی و پایش کنند. این ابزارها به‌ویژه در نظارت بر اکوسیستم‌های حساس، پیش‌بینی بحران‌هایی مانند خشک‌سالی و مقابله با فعالیت‌های غیرقانونی، ازجمله شکار و قطع غیرمجاز درختان، بسیار اثربخش هستند. پروژه‌های جهانی نظیر Global Forest Watch و Rainforest Connection، نمونه‌های موفقی از کاربرد هوش مصنوعی در پایش و حفاظت از جنگل‌ها هستند. شرکت Rainforest Connection با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و حسگرهای صوتی پیشرفته و نیز الگوریتم‌های یادگیری عمیق، فعالیت‌هایی مانند قطع غیرقانونی درختان توسط اره‌های برقی یا کامیون‌های حمل چوب را شناسایی می‌کند، یا با ارسال هشدار به‌موقع، خطر تخریب جنگل‌ها را کاهش می‌دهد. علاوه‌براین، هوش مصنوعی می‌تواند به شبیه‌سازی اثرهای تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم‌های جنگلی کمک کند و اطلاعات دقیقی درباره روند خشک‌شدن درختان، گسترش آفات و کاهش تنوع زیستی ارائه دهد. همچنین، فناوری‌های پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی، مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، امکان پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های جنگلی را براساس شرایط اقلیمی، تراکم پوشش گیاهی و الگوهای تاریخی فراهم می‌کنند. این پیش‌بینی‌ها می‌توانند کمک کنند تا اقدامات پیشگیرانه‌ای نظیر ایجاد خطوط حائل و استقرار سامانه‌های هشدار زودهنگام اجرا شوند (Ali *et al.*, 2024؛ Azizianpour *et al.*, 2025؛ Causevic et al., 2024).

ب) حفاظت از گونه‌های گیاهی در حال انقراض

تخریب زیستگاه‌ها، تغییرات اقلیمی، آلودگی و فعالیت‌های انسانی ازجمله دلایل اصلی تهدید گونه‌های گیاهی هستند که بسیاری از آن‌ها نقش حیاتی در حفظ تعادل اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند. این چالش‌ها نیازمند راهکارهای پیشرفته و کارآمد برای پایش، شناسایی و حفاظت از این گونه‌های ارزشمند هستند. در این رابطه، فناوری هوش مصنوعی با قابلیت‌های تحلیل پیشرفته داده‌ها و پیش‌بینی تغییرات زیست‌محیطی، ابزاری قدرتمند در این زمینه به‌شمار می‌رود. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، حسگرها و داده‌های محیطی، تغییرات زیستگاه‌های گیاهی را شناسایی و مناطق حساس یا در معرض خطر را معرفی کند. این فناوری امکان پایش مستمر پوشش گیاهی، شناسایی مناطق در معرض تخریب و تحلیل تراکم و سلامت گونه‌های گیاهی را فراهم می‌آورد. به‌عنوان‌مثال، پروژه‌هایی نظیر SilviaTerra و GainForest با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، داده‌های دقیقی را درباره تراکم، تنوع و سلامت پوشش گیاهی ارائه داده و مدیران را در پیش‌بینی میزان تخریب جنگل‌ها و خطر انقراض گونه‌های گیاهی یاری کرده‌اند. این پروژه‌ها با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های زیست‌محیطی، به شناسایی مناطقی می‌پردازند که نیاز به حفاظت فوری دارند و اقدامات لازم را برای جلوگیری از تخریب آن‌ها پیشنهاد می‌دهند (Barhate et al., 2024؛ https://gainforest.earth؛ https://ncx.com). علاوه‌براین، هوش مصنوعی در شناسایی گونه‌های گیاهی نادر

یا در حال انقراض نیز نقش کلیدی دارد. گونه‌های خاص می‌توانند از طریق پردازش تصاویر گرفته‌شده توسط پهپادها یا دوربین‌های پیشرفته، شناسایی شوند و اطلاعات دقیقی درمورد پراکنش جغرافیایی، شرایط زیستی و تهدیدات احتمالی آن‌ها ارائه شود. این فناوری همچنین به شبیه‌سازی اثرهای تغییرات اقلیمی بر زیستگاه‌های گیاهی کمک می‌کند و راهکارهایی را برای حفاظت از این گونه‌ها در شرایط مختلف اقلیمی ارائه می‌دهد. هوش مصنوعی همچنین می‌تواند از طریق تحلیل داده‌های ژنتیکی و زیستی به شناسایی تنوع ژنتیکی در گونه‌های در معرض خطر کمک کند و به برنامه‌های تکثیر و احیای گونه‌های گیاهی کمک کند. این رویکردها به نجات گونه‌های گیاهی در حال انقراض و حفظ تنوع زیستی کمک شایانی می‌کنند(Reckling *et al*., 2021) .

ج) مدیریت مراتع و حفاظت از گیاهان دارویی

این منابع با چالش‌هایی نظیر چرای بیش‌ازحد، تغییرات اقلیمی، تخریب زیستگاه‌ها و بهره‌برداری غیرمجاز مواجه هستند و به مدیریت پایدار و هوشمندانه برای حفظ و بهره‌برداری اصولی نیاز دارند. در این رابطه، سیستم‌های هوش مصنوعی با ترکیب داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، پهپادها و داده‌های زیست‌محیطی، به مدیران و کارشناسان امکان می‌دهند، تغییرات پوشش مراتع و گیاهان دارویی را به‌صورت دقیق و در بازه‌های زمانی کوتاه پایش کنند. این فناوری‌ها می‌توانند مناطقی را که به‌دلیل چرای بیش‌ازحد، کمبود آب، یا فرسایش خاک در معرض تخریب قرار دارند، شناسایی و اقدامات حفاظتی و مدیریتی مناسب را به‌موقع توصیه کنند. به‌عنوان‌مثال، مدل‌های یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی می‌توانند الگوهای تغییر پوشش مراتع و پراکنش گیاهان دارویی را پیش‌بینی و مناطقی را مشخص کنند که بیشترین احتمال تخریب را دارند. این ابزارها همچنین امکان تحلیل اثرهای تغییرات اقلیمی را، نظیر افزایش دما یا کاهش بارندگی، بر تولید و پراکنش گیاهان دارویی فراهم می‌آورند. در حوزه حفاظت از گیاهان دارویی، هوش مصنوعی می‌تواند با شناسایی گونه‌های در معرض خطر یا کمیاب، برنامه‌های حفاظت از تنوع زیستی را تقویت کند. این فناوری همچنین در کشاورزی هوشمند برای کشت و تولید گیاهان دارویی کاربرد دارد، به‌طوری‌که با استفاده از داده‌های حاصل از خاک، آب‌وهوا، بهترین شرایط برای رشد گیاهان دارویی شناسایی و بهینه‌سازی می‌شود (Hou *et al*., 2025). افزون‌براین، تحلیل داده‌های زیست‌محیطی توسط هوش مصنوعی به شناسایی مناطق مناسب برای احیای مراتع یا کشت گیاهان دارویی کمک می‌کند. این اطلاعات می‌تواند در تدوین سیاست‌های پایدار و تصمیم‌گیری‌های راهبردی برای مدیریت منابع طبیعی، حفظ اکوسیستم‌های مراتع و افزایش بهره‌وری اقتصادی و زیست‌محیطی نقش مؤثری ایفا کند. هوش مصنوعی با ایجاد دیدگاه‌های مبتنی بر داده و امکان تصمیم‌گیری دقیق و به‌موقع، می‌تواند راهکاری مؤثر برای حفظ مراتع طبیعی و بهره‌برداری پایدار از گیاهان دارویی ارائه دهد و به‌طور هم‌زمان به حفظ تنوع زیستی و تقویت معیشت جوامع محلی کمک کند (Hou et al., 2025؛ https://prism.sustainability-directory.com).

د) مدیریت آب و پایش منابع آبی

ایران به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک با محدودیت جدی در منابع آبی مواجه است و بحران آب یکی از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی و اقتصادی کشور محسوب می‌شود. در چنین شرایطی، استفاده از فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی نقش کلیدی در بهینه‌سازی مصرف آب، پایش منابع آبی و مقابله با بحران‌های آبی ایفا می‌کند. این فناوری‌ها از طریق تحلیل داده‌ها و ارائه مدل‌های پیش‌بینی، می‌توانند در تدوین راهبردهای مدیریت پایدار منابع آبی کمک کنند. هوش مصنوعی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و تحلیل کلان‌داده‌ها، امکان پایش مستمر منابع آب زیرزمینی، سطح آب سدها و رودخانه‌ها و ارزیابی الگوهای مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، شهری و صنعتی را فراهم می‌آورد. این فناوری می‌تواند تغییرات سطح آب زیرزمینی را شناسایی کند و به‌موقع هشدارهایی را درباره کاهش سطح این منابع یا شوری آب ارائه دهد. همچنین، قادر است الگوهای بارش و جریان‌های آبی را تحلیل و اثرهای تغییرات اقلیمی بر منابع آبی را پیش‌بینی کند. به‌عنوان‌مثال، مدل‌های مبتنی بر یادگیری عمیق می‌توانند داده‌های مربوط به ذخایر سدها، جریان رودخانه‌ها و تبخیر و تعرق را تحلیل کنند و پیش‌بینی دقیقی از زمان وقوع خشک‌سالی یا کم‌آبی ارائه دهند. در کشاورزی، این فناوری می‌تواند با پایش دقیق مصرف آب در مزارع، الگوهای آبیاری را بهینه کند و پیشنهادهایی برای مصرف بهینه آب ارائه دهد (Sarker *et al*., 2020).

علاوه‌براین، هوش مصنوعی می‌تواند در شناسایی و مقابله با نشت‌های غیرمجاز یا هدررفت آب در شبکه‌های توزیع شهری نقش داشته باشد. تحلیل داده‌های شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند می‌تواند به کاهش اتلاف آب و بهبود بهره‌وری سیستم‌های توزیع کمک کند. پژوهش‌ها و تجربه‌های مشابه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک نظیر استرالیا نشان داده‌اند، فناوری‌های هوش مصنوعی به‌طور مؤثری می‌توانند در بهینه‌سازی مصرف آب، کاهش اثرهای خشک‌سالی و مدیریت بهتر منابع آبی استفاده شوند. در ایران نیز، با بهره‌گیری از این فناوری‌ها و ادغام آن‌ها با سامانه‌های مدیریت منابع آب، می‌توان بحران‌های آبی را بهتر مدیریت و به حفظ منابع آبی برای نسل‌های آینده کمک کرد (Sarker *et al*., 2020).

هـ) کاربرد هوش مصنوعی در حوزه میکروارگانیسم‌های مفید

میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه باکتری‌ها و قارچ‌های مفید، نقشی حیاتی در چرخه‌های زیستی، تجزیه مواد آلی و بهبود تغذیه گیاهان ایفا می‌کنند. پایش سلامت خاک و تحلیل داده‌های میکروبیولوژیکی از طریق هوش مصنوعی، ما را قادر خواهد ساخت تا تغییرات میکروبی ناشی

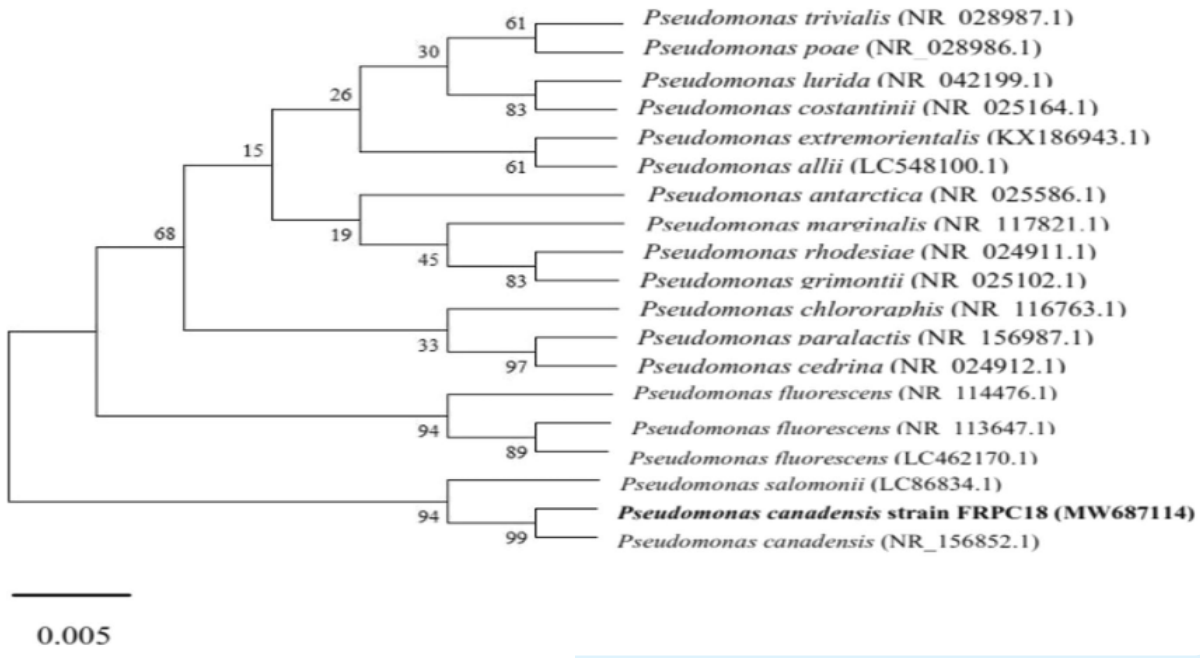
از آلودگی، شوری، خشکی یا تغییرات دمایی را شناسایی کنیم و اقدامات اصلاحی مناسب را مانند استفاده از کودهای زیستی یا تقویت خاک انجام دهیم. هوش مصنوعی با ترکیب داده‌های سنجش از دور، داده‌های محیطی و مدل‌های پیش‌بینی، قابلیت شناسایی مناطقی را دارد که نیازمند بازسازی زیستی هستند. برای مثال، در مناطق آلوده به فلزات سنگین، مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند به شناسایی کانون‌های آلودگی و پیشنهاد راهکارهای زیست‌پالایی کمک کنند. این راهکارها شامل تقویت میکروارگانیسم‌هایی است که توانایی تجزیه آلاینده‌ها یا تثبیت مواد مضر را دارند. علاوه‌براین، هوش مصنوعی می‌تواند به غربالگری گونه‌های میکروبی با پتانسیل بالا برای به‌کارگیری در کشاورزی کمک کند. استفاده از ابزارهای پیشرفته مانند ژنومیکس و پردازش داده‌های زیستی با هوش مصنوعی، امکان مطالعه دقیق‌تر عملکرد و تعاملات میکروارگانیسم‌ها را در اکوسیستم‌های خاک فراهم می‌کند. به‌عنوان‌مثال، در مناطق کم‌بازده یا تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، این فناوری می‌تواند به انتخاب بهترین گونه‌های میکروبی برای تقویت رشد گیاهان کمک کند (Pace et al., 2025; Rezaei Danesh, 2025).

افزون‌براین، هوش مصنوعی در شناسایی باکتری‌ها نقشی اساسی دارد. الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌توانند تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های باکتریایی را با دقت بالا تحلیل کنند و تفاوت‌های بسیار جزئی در شکل، اندازه، نحوه آرایش سلول‌ها و الگوهای رنگ‌آمیزی را تشخیص دهند، تفاوت‌هایی که معمولاً با چشم انسان قابل‌مشاهده نیستند. همچنین، مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی قادرند براساس داده‌های ژنومی و متابولیکی، گونه‌های باکتریایی را به‌سرعت طبقه‌بندی و میزان مقاومت آن‌ها را در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها پیش‌بینی کنند. این رویکرد علاوه‌بر کاهش خطای انسانی در فرایند تشخیص آزمایشگاهی، موجب افزایش سرعت و دقت نتایج می‌شود. از سوی دیگر، مدل‌های هوش مصنوعی با یادگیری مداوم از داده‌های جدید، توانایی خود را ارتقا می‌دهند و حتی قادر به شناسایی گونه‌های نادر یا ناشناخته باکتری‌ها نیز خواهند بود.

در این ارتباط، با ذکر یک مثال، نحوه کاربرد هوش مصنوعی درزمینه میکروارگانیسم‌های مفید شرح داده می‌شود (Pace *et al.*, 2025؛ Rezaei Danesh, 2025).

● اقدامات و یافته‌ها

در ابتدا، جدایه باکتریایی FRPC18 با قابلیت حل‌کنندگی فسفات معدنی از نمونه‌های ریشه و خاک ریزوسفری صنوبر تبریزی (Populus nigra) مستقر در رویشگاه‌های طبیعی شهرستان فیروزکوه جداسازی و غربالگری شد. استخراج DNA مطابق با دستورالعمل کیت استخراج سیناکلون (Sinaclon®) انجام شد. توالی ۱۶ SrRNA جدایه یادشده با استفاده از پرایمرهای عمومی 27F (5'-AGAGTTTGATCCT-GGCTCAG-3') و 1492R (5'-TACGGTTACCTTGTTAC-GACT-3') به کمک دستگاه ترموسایکلر تکثیر شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، نسبت جذب A260/A280 برآورد شد و میزان خلوص DNA تعیین شد. قطعات تکثیریافته، برای تعیین توالی (به‌صورت دو بار خوانش) به شرکت سیناکلون ارسال شدند. به‌منظور بررسی کیفیت توالی‌یابی، توالی دریافتی با برنامه Bioedit ارزیابی شد و پس از تأیید توالی Forward و Reverse جهت تشکیل Conting با برنامه Sequencher انجام شد. توالی سرهم‌بندی‌شده به‌دست‌آمده



شکل ۱- آنالیز فیلوژنتیک سویه FRPC18 براساس توالی‌های 16S rDNA موجود در NCBI

برای یافتن جنس‌ها و گونه‌های مشابه با برنامه Blast Nucleotide، در مرکز ملی بیوتکنولوژی NCBI ارزیابی شد. برای این منظور در ابتدا، توالی نوکلئوتیدی به‌صورت فایل FASTA ذخیره شد. توالی حاصل در وب‌سایت NCBI BLAST جستجو شد، تا نزدیک‌ترین توالی‌های مرجع بازیابی شوند. پارامترهای BLAST شامل e-value≤1e-5 و حداکثر ۱۰۰ توالی هدف بود. نتایج براساس درصد هویت، پوشش پرس‌وجو و مقدار e-value رتبه‌بندی شد و توالی‌های نماینده از گونه‌های نزدیک و توالی‌های type strain برای تحلیل‌های بعدی انتخاب شدند.

توالی‌های نمونه و مرجع در نرم‌افزار MEGA وارد شدند و تراز چندتایی با استفاده از گزینه MUSCLE انجام شد. تراز اولیه به‌صورت چشمی بازبینی و نواحی با پوشش ناکافی حذف شدند. بهترین مدل جایگزینی نوکلئوتیدی با ابزار Find Best DNA Models (ML) در MEGA 12 تعیین شد و درخت فیلوژنتیک با روش Maximum Likelihood و ۱۰۰۰ تکرار bootstrap بازسازی شد. برای حذف نواحی نامطمئن، گزینه Partial deletion با آستانه پوشش سایت ۹۵درصد به کار گرفته شد. درخت نهایی با نمایش مقادیر bootstrap و طول شاخه‌ها ویرایش شد و شماره‌های دسترسی (accession numbers) توالی‌های مرجع، طول تراز، مدل جایگزینی انتخاب‌شده و فایل‌های تراز و درخت در GitHub یا NCBI GenBank بارگذاری شدند، تا قابلیت بازتولید نتایج فراهم شود.

براساس نسبت جذب A260/A280 میزان خلوص DNA بیش از ۱/۸ برآورد شد. تشابه توالی به‌دست‌آمده به گونه‌های موردنظر بالای ۹۵درصد بود. نتایج حاصل از رسم درخت فیلوژنتیک سویه FRPC18 در شکل ۱ نشان داده شده است که بیشترین شباهت را به گونه Pseudomonas canadensis داشت که در NCBI با توالی ۱۴۶۴ kb و شماره دسترسی MW687114 ثبت شد.

● نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باوجود پتانسیل‌های فراوان، استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت منابع طبیعی با چالش‌هایی نیز روبه‌رو است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها دسترسی به داده‌های باکیفیت و در مقیاس بزرگ است که برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی ضروری است. در بسیاری از مناطق دورافتاده، جمع‌آوری داده‌های دقیق می‌تواند مشکل باشد. همچنین، هزینه‌های بالا و نیاز به تخصص‌های فنی برای پیاده‌سازی این فناوری‌ها در برخی مناطق از محدودیت‌های استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت منابع طبیعی هستند. به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، مشکل کمبود منابع و دسترسی به زیرساخت‌های مناسب می‌تواند تا حد زیادی مانع از به‌کارگیری این فناوری‌ها شود.

هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری نوین، توانایی‌های بی‌نظیری برای پایش، پیش‌بینی و مدیریت منابع طبیعی فراهم آورده است. از شناسایی گونه‌های باکتریایی و گونه‌های گیاهی در معرض خطر انقراض گرفته تا نظارت بر سلامت خاک و مدیریت مراتع، این فناوری در مسیر پایداری زیست‌محیطی گامی مؤثر به‌شمار می‌رود. با توسعه و بهبود این ابزارها می‌توان امیدوار بود که در مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی قدم‌های مؤثری برداشته شود. درمجموع، به‌کارگیری هوش مصنوعی در مدیریت منابع طبیعی ایران، با توجه به وضعیت زیست‌محیطی و تنوع اکوسیستم‌ها، نه‌تنها به پایداری این منابع کمک می‌کند بلکه ازنظر اقتصادی و اجتماعی نیز منافع بلندمدتی برای کشور به ارمغان می‌آورد.

● منابع

Ali, H., Mohammadi, J. and Shataee Jouibary, S., 2024. Deep and machine learning prediction of forest aboveground biomass using multi-source remote sensing data in coniferous planted forests in Iran. European Journal of Forest Research, 143(1): 1731–1745. https://doi.org/10.1007/s10342-024-01721-w

Asadi, H. and Gorji, M., 2022. Challenges and limitations of soil and land resources in Iran. Land Management Journal, 10(1): 111-134. https://doi.org/10.22092/lmj.2022.358760.309

Azizianpour, S., Mirzaei, J., Omidipour, R. and Jafarian, N., 2025. Machine learning based forest fire susceptibility prediction in semi-arid Oak forests of western Iran. Ecopersia, 13(1): 1–19. https://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-78131-en.pdf

Barhate, D., Pathak, S., Singh, B.K., Jain, A. and Dubey, A.K., 2024. A systematic review of machine learning and deep learning approaches in plant species detection. Smart Agricultural Technology, 9, Article 100605. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100605

Causevic, A., Causevic, S., Fielding, M. Barrott, J., 2024. Artificial intelligence for sustainability: Opportunities and risks of utilizing Earth observation technologies to protect forests. Discover Conservation, 1, Article 1. https://doi.org/10.1007/s44353-024-00002-2

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2020. Global forest resources assessment 2020: Main Report. Rome: FAO. https://doi.org/10.4060/ca9825en

Hou, B., Liang, C., Sheng, X., Liu, Y.G., Ren, J., Ma, Q., Wang, T. and Zhang, L., 2025. Artificial intelligence in medicinal herb breeding. Engineering. https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.08.021

Onyebuchi, N., Biu, P., Umoh, A., Obaedo, B., Adegbite, A. and Abatan, A., 2024. Reviewing the role of AI in environmental monitoring and conservation: A data-driven revolution for our planet. World Journal of Advanced Research and Reviews, 21(1): 161–171. https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.2720

Pace, R., Schiano Di Cola, V. and Monti, M.M., 2025. Artificial intelligence in soil microbiome analysis: A potential application in predicting and enhancing soil health—a review. Discover Applied Science, 7: 85. https://doi.org/10.1007/s42452-024-06381-4