مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی
دوره نهم، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۷، بهار و تابستان ۱۴۰۵
jaist.areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/jaist.2025.369487.1143

کاربرد هوش مصنوعی در حوزه تحقیقات گیاه‌شناسی

مهرنوش پناهی
استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: *m.panahi@rifr-ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵ صص : ۴۶-۳۷

چکیده

امروزه هوش مصنوعی به‌عنوان یک نیروی دگرگون‌کننده در زمینه‌های مختلف علمی و غیرعلمی ظاهر شده است و تأثیر آن بر علم گیاه‌شناسی نیز از این قاعده مستثنی نیست. در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی روش مطالعه گیاه‌شناسان و درک زندگی گیاهان را متحول کرده است و کاربرد فناورانه آن در شناسایی خودکار گونه‌ها به واقعیت نزدیک می‌شود. استفاده از سازوکار یادگیری عمیق و مراکز تصویربرداری حجیم، باعث تولید نرم‌افزارهای شناسایی گیاهان شده است که شناسایی گیاهان را به سرعت امکان‌پذیر می‌کند. در دهه‌های اخیر، تغییرات آب و هوایی با چالش‌هایی برای زیست‌بوم‌های جهانی همراه بوده است. هوش مصنوعی برای کمک به گیاه‌شناسان و بوم‌شناسان برای تعیین گونه‌های سازگار با این شرایط محیطی نقش مهمی دارد. با تجزیه و تحلیل داده‌های محیطی، الگوهای هوش مصنوعی می‌توانند میزان تغییرات در پراکندگی گیاهان، الگوهای مهاجرت و پویایی کلی زیست‌بوم را پیش‌بینی کنند. همچنین پژوهشگران زیستی تخمین می‌زنند که هوش مصنوعی می‌تواند در مطالعات تکاملی، ژنگان‌شناسی[1] و علم تبارزایی‌شناسی[2] بسیار مفید باشد، گرچه در برخورد با داده‌های بزرگ علوم زیستی چالش‌هایی وجود دارد که در این مقاله به اختصار معرفی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: زیست‌شناسی، گیاه‌شناسی، هرباریوم، هوش مصنوعی.

۱. Genomic
2. Phylogenetic

مقدمه

امروزه هوش مصنوعی[1] به‌عنوان نیرویی دگرگون‌کننده در زمینه‌های مختلف علمی و غیرعلمی ظاهر شده است و تأثیر آن بر علم گیاه‌شناسی نیز از این قاعده مستثنی نیست. تحولات هوش مصنوعی و پردازش تصویر رقمی، بیش از شانزده سال پیش آغاز شد. امروزه هوش مصنوعی در همه جا حضور دارد، از فناوری‌های تلفن همراه و ظهور تلفن‌های هوشمند تا کاربردهای فناورانه در شناسایی خودکار گونه‌ها که به واقعیت نزدیک می‌شود.

برنامه‌نویس متأخر آمریکایی، جان مک‌کارتی در سال ۱۹۵۶ برای اولین بار از اصطلاح هوش مصنوعی استفاده کرد و آن را توانایی انجام وظایف هوشمند ازسوی ماشین‌ها، به‌ویژه وظایفی نامید که هوش انسان را تقلید می‌کند. استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در دهه گذشته بسیار گسترش یافته است که مهم‌ترین دلایل آن عبارتند از: قدرت نوین رایانه‌ها (یعنی تکامل سخت‌افزار) و قابلیت‌های بسیار زیاد در پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده‌ای که پیش‌تر قادر به حل آن‌ها نبودند. براین‌اساس، می‌توان هوش مصنوعی را به سه دسته تقسیم کرد:

الف) هوش مصنوعی محدود به این معنی که رایانه‌ها می‌توانند کار خاصی را با کارایی و ظرفیت تکرار بالا بیش از توانایی انسان انجام دهند، اما درعین‌حال هنوز به سطح هوش انسانی نرسیده‌اند. درواقع، همه چیزهایی که اکنون در برنامه‌ها و دستگاه‌ها می‌بینیم از این نوع هستند؛

ب) هوش مصنوعی متداول به این معنی که ماشین‌ها به سطحی از هوش می‌رسند که هوش انسانی را شبیه‌سازی می‌کنند و این امکان وجود دارد که ما در چند سال آینده مواردی از این برنامه‌های کاربردی را شاهد باشیم اما شاید هنوز جزئیات آن را نمی‌دانیم؛

ج) ابرهوش مصنوعی یعنی هوش ماشینی از هوش انسان پیشی می‌گیرد. البته کاملاً مشخص نیست که چه زمانی بشریت می‌تواند به آن سطح برسد، اما امروزه می‌شنویم که دانشمندان درباره ترس از این ماشین‌ها و اینکه هوش آن‌ها انسان‌ها را کنترل کنند، هشدار می‌دهند (لابریقلی و همکاران، ۲۲۰۲)[2].

هوش مصنوعی و کاربرد آن در علوم گیاهی

در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی روش مطالعه گیاه‌شناسان و درک آنها را از زندگی گیاهان متحول کرده است. یکی از کمک‌های قابل‌توجه هوش مصنوعی در گیاه‌شناسی، توسعه سامانه‌های شناسایی خودکار گیاهان است. روش‌های سنتی به‌شدت بر شناسایی دستی متکی بودند که بسیار زمان‌بر و مستعد خطا هستند. به‌نظر می‌رسد که ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی، با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین [3]، شناسایی سریع و دقیق گونه‌های گیاهی را ازطریق شناسایی تصاویر امکان‌پذیر می‌کنند. این فناوری می‌تواند فهرست‌نویسی تنوع گونه‌های گیاهی را تسهیل نماید و به پژوهشگران این حوزه در حفاظت از تنوع زیستی کمک کند.

ازآنجاکه در دهه‌های اخیر، تغییرات آب‌وهوایی چالش‌هایی را برای زیست‌بوم‌های جهانی ایجاد کرده است، هوش مصنوعی در کمک به گیاه‌شناسان و بوم‌شناسان برای تعیین گونه‌های سازگار با این شرایط محیطی نقش مهمی دارد. با تجزیه‌وتحلیل داده‌های محیطی، الگوهای هوش مصنوعی می‌توانند میزان تغییرات در پراکندگی گیاهان، الگوهای مهاجرت و پویایی کلی زیست‌بوم را پیش‌بینی کنند. این اطلاعات برای توسعه راهبردهایی برای کاهش تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر زندگی گیاهان بسیار ارزشمند است. هوش مصنوعی نظارت بلادرنگ زیست‌بوم‌ها را تسهیل می‌کند و به دانشمندان اجازه می‌دهد تا تغییرات جمعیت گیاهی و تنوع زیستی را ردیابی کنند. این داده‌ها برای تلاش‌های حفاظتی بسیار حیاتی هستند و به پژوهشگران امکان می‌دهند تا مناطق در معرض خطر را شناسایی و راهبردهای حفاظتی

1. Artificial Intelligence
2. Labrighli et al., 2022
3. Machin Learning

هدفمندی را اجرا کنند. ابزارهای مجهز به هوش مصنوعی درک جامع‌تری را از زیست‌بوم‌ها به دست می‌دهند و به حفظ گونه‌های گیاهی در معرض خطر کمک می‌کنند (پارک و همکاران، ۲۰۲۰؛ کولسون، فولز و لوح، ۱۹۸۷)[1].

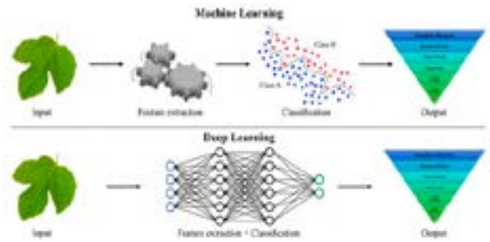
هوش مصنوعی راه را برای کشاورزی دقیق با روش‌هایی برای نظارت بر سلامت گیاهان و شرایط آب‌وهوایی، مدیریت خاک و شرایط رشد، همچنین برای رویکردهای نوآورانه، مانند کشاورزی عمودی هموارکرده است. کاربردهای فعلی هوش مصنوعی در الگوهای پیش‌بینی، پردازش داده و یادگیری ماشین است (برینک، ۲۰۲۴)[2].

شناسایی گیاهان با ابزارهای هوش مصنوعی

تنوع گونه‌ای گیاهان باوجود حدود ۳۸۰۰۰۰ گونه متمایز در سراسر جهان و شناسایی آن‌ها، گام اساسی برای شناخت تنوع زیستی و عملکرد بهتر در حفاظت از آن‌هاست (کریستن‌هوز و بینگ، ۲۰۱۶)[3]. هرباریوم، ابزاری ضروری در زیست‌سامانه‌ای[4] برای تشخیص افراد متمایز و محل کار روزانه یک گیاه‌شناس است. به‌طورکلی، گیاه‌شناسان از روش‌های مختلفی در رده‌بندی[5] و طبقه‌بندی گیاهان استفاده می‌کنند که قدرت حافظه در مشاهدات عینی، دانش ضمنی ریخت‌شناسی[6] و تجربه در محیط طبیعت، آن‌ها را یاری می‌کند. همچنین، گیاه‌شناسان در فرایند شناسایی باید عوامل غیرزنده را درنظر بگیرند. به‌عنوان‌مثال، صفات خاک[7]، آب‌وهوا و تغییرات فصلی، که بر ریخت‌شناسی، ظاهر و پراکندگی گونه‌ها تأثیر می‌گذارند، این عناصر، اطلاعات مفیدی را برای شناسایی فراهم می‌کنند. علاوه‌بر ریخت‌شناسی، آرایه‌شناسان می‌توانند از طیف وسیعی از صفات یا استدلال‌های طبقه‌بندی شامل کالبدشناسی، بوم‌شناسی، شمارش کروموزوم، زیست‌شیمی و سامانه‌مندی مولکولی برای تخمین تکامل واقعی گونه، تعریف آن و تعیین رتبه طبقه‌بندی صحیح آرایه‌ها [8] (در سطوح شاخه، رده، راسته، تیره، جنس و گونه) بهره گیرند. هرگونه گیاهی داستان تکاملی خود را دارد که با تغییرات ژنتیکی، بوم‌شناسی یا ریخت‌شناسی مشخص می‌شود و تفاوت بین گونه‌ها با ویژگی‌هایی مانند ساختار تولیدمثل، تداخل، گرده‌افشانی، بیماری و مقاومت به آن، ژن‌ها و بسیاری از ویژگی‌های دیگر به کمک سامانه‌مندی می‌آید تا یافتن تاریخ تکاملی گونه‌ها میسر شود.

در زمینه شناسایی خودکار گیاهان با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، اولین مرحله استفاده از تصاویر گیاهی به‌عنوان داده‌های ورودی است. پس از چندین عملیات پردازش (به‌عنوان‌مثال، استخراج ویژگی+ طبقه‌بندی) گیاه واردشده (یعنی گونه یا هر رتبه طبقه‌بندی دیگری) شناسایی خواهد شد. با روش‌های یادگیری ماشین، از همه گونه‌های گیاهی آموزش‌داده‌شده چندین ویژگی سنتی برای ایجاد الگوهای گیاهی استخراج می‌شود. این الگوها در پایگاه داده سامانه ذخیره می‌شوند و سپس در مرحله شناسایی، کاربران می‌توانند هر تصویر گیاه آزمایشی را به سامانه ارسال کنند. ذکر این نکته لازم است که بر روی تصاویر ورودی و ویژگی گیاهان و افزایش کیفیت داده‌ها پیش‌پردازش انجام می‌شود تا ماشین، مفیدترین داده‌ها را برای یادگیری و شناسایی ذخیره و نگهداری کند (شکل ۱).

1. Park et al., 2020; Coulson, Folse & Loh, 1987
2. Brink, 2024
3. Christenhusz & Byng, 2016
4. Biosystematic
5. Systematic
6. Morphology
7. Edaphic
8. taxa



شکل ۱. ماژول‌های اصلی روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق

در روش‌های یادگیری عمیق[1]، یک ساختار چندلایه از لایه ورودی و لایه خروجی به‌همراه سامانه پردازش ایجاد می‌شود. در این روش، برخلاف ماشین سنتی، که در آن الگوریتم‌های یادگیری برای تنظیم و بهبود، به مداخله زیاد انسان نیاز دارند، الگوریتم‌های یادگیری عمیق به سطح پایین‌تری از دخالت انسان نیاز دارند و ماشین، به لطف معماری خاص خود، بهینه‌سازی الگوریتم‌ها، را با یادگیری اشتباهات و بهبود آن‌ها را به‌تنهایی انجام می‌دهد. بااین‌حال، روش‌های یادگیری عمیق به زمان زیادی برای قدرت محاسباتی و یادگیری از مجموعه داده‌های عظیم برای ساخت یک الگوی با دوام نیاز دارند (لابریقلی و همکاران، ۲۰۲۲).

تاکنون برای استفاده از هوش مصنوعی، با دو سازوکار یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، تلاش‌های زیادی انجام شده است. بیشتر تلاش‌ها در طی دهه گذشته درزمینه پیشرفت شبکه عصبی عمیق به‌صورت شبکه عصبی پیچشی[2] بود که بتواند داده‌های تصویری را تحلیل کند. موفقیت الگوهای یادگیری عمیق در کنار حضور مجموعه داده‌های تصویری بزرگ امکان‌پذیر بود. در این حجم داده، مراکز داده‌برداری بزرگ تنوع زیستی باید داده‌های مورد نیاز را در دسترس قرار می‌دادند. درنتیجه با مشارکت‌های مردمی، پروژه شبکه‌های اجتماعی در نرم‌افزارهای پلنت‌نت[3] و آی‌نچرالیست[4] انجام شد (پیسک و همکاران، ۲۰۲۲)[5] و همچنان در باغ گیاه‌شناسی نیویورک[6] نیز دنبال می‌شود.

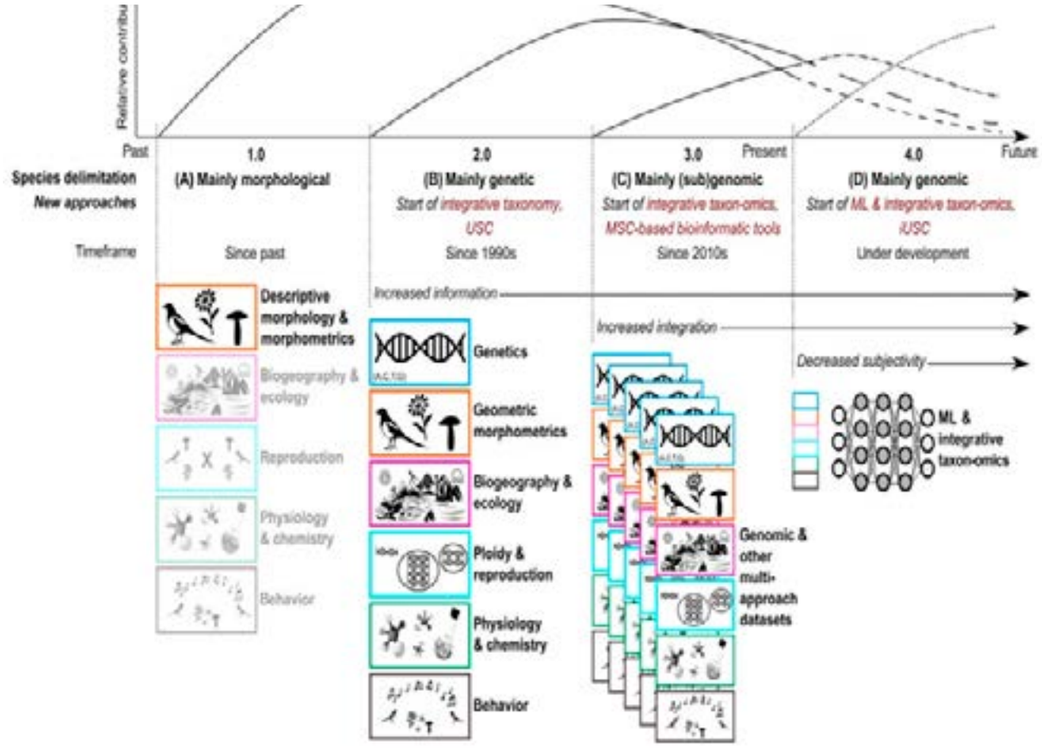
هوش مصنوعی برای استخراج داده‌ها از جداول و شکل‌های پیچیده توانایی قابل‌توجهی دارد و می‌توان از آن برای انجام ابرتحلیل استفاده کرد. برای مطالعه ژنگان‌شناسی اندامک‌های گیاهی از چندین ابزار یادگیری عمیق هوش مصنوعی استفاده شده است. به‌عنوان‌مثال، برای مطالعه هم‌ترازی جهانی ژنوم کلروپلاست، سکویی مبتنی بر شبکه ام‌ویستا[7] می‌تواند برای هم‌ردیف‌کردن دی‌ان‌ای[8] استفاده شود (مایور و همکاران، ۲۰۰۰)[9]. علاوه‌براین، برای تجسم ژنوم دایره‌ای کلروپلاست، شبکه کلروپلات[10] معرفی شده است و می‌تواند به‌طور مستقیم با شماره قابل دسترس داده[11] در پیوند مرکز ملی اطلاعات بیوتکنولوژی[12] به‌صورت داده‌های خام استفاده شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰)[13]. ازنظر پژوهشگران زیستی که ژنوم کلروپلاست را مطالعه می‌کنند، هوش مصنوعی در آینده می‌تواند ازنظر برخورد با داده‌های بزرگ تولیدشده از ژنگان‌شناسی و مطالعات تکاملی مفید باشد. در این دهه، میزان تولید داده‌ها افزایش زیادی داشته است. درنتیجه، ضرورت آشکاری برای مواجهه با این حجم روبه‌رشد و بی‌سابقه داده‌ها وجود دارد (سو و همکاران، ۲۰۲۵)[14]. داده‌های مولکولی (توالی ژنومی)، یک گروه از مجموعه داده‌های حجیم در علم تبارزایی‌شناسی است که در تحقیقات اخیر، با به‌کارگیری هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری ماشین و شبکه عصبی در تحلیل‌های تکاملی امکان درک عمیق و دقیق‌تر روابط تکاملی (به‌کارگیری حجم گسترده‌ای از صفات متنوع گیاهان در تعیین روابط خویشاوندی

1. Deep Learning
2. Convolutional Neural Networks
3. Pl@ntNet
4. iNaturalist
5. Picek *et al.,* 2022
6. NYBG
7. mVIStA
8. DNA
9. Mayor et al., 2000
10. Chloroplot (https://irscope.shinyapps.io/Chloroplot/)
11. Accession number
12. National Center for Biotechnology Information (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/)
13. Zheng et al., 2020
14. Su et al., 2025

آن‌ها) را بسیار مؤثرترکرده است. پیش‌بینی می‌شود که در آینده از این روش‌ها به‌طور گسترده‌تری استفاده شود (شکل۲) (کربستین و همکاران، ۲۰۲۴؛ سلمان و هوسزو، ۲۰۲۴)[1].

به نظر می‌رسد در حال حاضر سامانه‌های شناسایی خودکار در حال پیشی‌گرفتن از توانایی متخصصان گیاه شناسی هستند. (شکل ۳). ارزیابی سامانه های خودکاردر سناریوی ۵ در شکل ۳ در مقایسه با متخصصان انسانی به‌خوبی این بهبود عملکرد را نشان می‌دهد (ستون‌های زردرنگ سامانه‌های خودکار در نمودار سمت راست به میزان دقت ستون‌های آبی‌رنگ معیار افراد متخصص نزدیک می‌شود).

یعنی، اگر ما درپی ابزاری برای به حداقل رساندن فهرست گیاهان نامزد در یک شناسایی سامانه‌مند سنتی هستیم، بی‌شک سامانه‌های



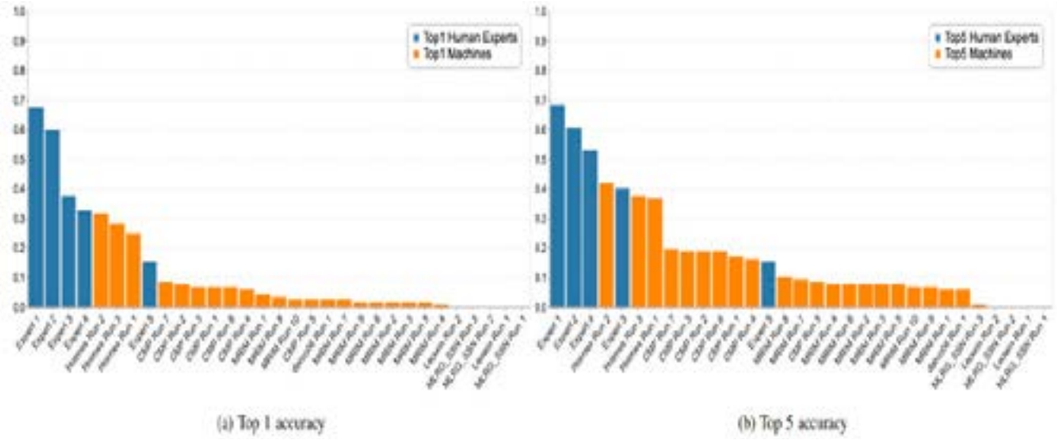
شکل ۲. پیشرفت‌های گذشته تا حال و آینده در تعیین حدود گونه‌ها با استفاده از داده‌های توصیفی و سایر داده‌ها. (A) برای بیش از ۲۰۰۰ سال، گونه‌ها را بیشتر براساس ریخت‌شناسی آن‌ها توصیف می‌نمودند. (B) از دهه ۱۹۹۰، داده‌های ژنتیکی شروع به تبدیل‌شدن به منبع اولیه برای تعیین حدود گونه‌ها با توسعه طبقه‌بندی و مفهوم یکپارچه گونه کرده است. (C) از دهه ۲۰۱۰، ژنتیک به ژنگان‌شناسی تبدیل شد، با توسعه بیوانفورماتیک برای استنتاج و تعیین گونه‌های یوکاریوتی. (D) در حال حاضر، کار برای توسعه راهبردهای مبتنی بر یادگیری ماشین برای تعیین حدود گونه‌ها در حال انجام است (برگرفته ازکربستین و همکاران، ۲۰۲۴)

1. Salman and Hosszú, 2024

خودکار می‌توانند این کار را با ابزار مفید و سریع انجام دهند (بونت و همکاران، ۲۰۱۵)[1].

چالش‌های پیش‌رو در داده‌های زیستی

گیتمن و بیجندی[2] در سال ۲۰۲۳ در زمینه تحقیقات علوم گیاهی کاستی‌هایی را مشخص نمودند که ضمن آگاهی از



شکل ۳. نتایج سامانه‌های شناسایی خودکار گیاهان در مقابل متخصصان انسانی (برگرفته از بونت و همکاران، ۵۱۰۲)

می‌توانند به روش‌های متفاوت رفتار کنند و با محیط خود تعامل داشته باشند که به‌نوبه خود بر ساختارهای مختلف، عملکرد و تولیدمثل آن‌ها تأثیر می‌گذارد. بنابراین، این تنوع زیستی باعث می‌شود که از روش‌ها و ابزارهای پژوهشی که به‌طور خاص برای «زیباترین فرم‌های حیات» طراحی شده‌اند، داده‌ها را در آزمایشگاه‌های مختلف به روش‌های مختلف تولید نمایند. ازاین‌رو، متناسب با تنوع داده‌ها در این بخش، باید با استفاده از هوش مصنوعی، الگوهای خاصی را برای استفاده در این علم طراحی کنند.

ب) انتخاب و رقمی‌کردن داده‌ها

با توجه به تنوع گسترده انواع داده‌ها، قالب‌ها و منابع در علوم گیاهی، تعیین اینکه کدام منابع داده‌ای می‌توانند استفاده شوند، جای بحث دارد و انتخاب داده برای تجزیه وتحلیل مبتنی بر

1. Bonnet *et al*., 2015
2. Geitmann & Bidhendi
3. Harfouche, Petousi & Jung
4. Williamson

آن‌ها، باید از هوش مصنوعی به‌صورت اخلاقی و مسئولانه استفاده شود. هارفوچ، پتوسی و جونگ[3] در سال ۲۰۲۴ خلاصه مفیدی از چالش‌های پیش‌رو و ضروری، دستورالعمل‌ها و سیاست‌هایی برای جلوگیری از تعصبات در پیاده‌سازی هوش مصنوعی، به‌گونه‌ای که به نفع همه کاربران و پژوهشگران، به‌شیوه‌ای اخلاقی و با مسئولیت‌پذیری اجتماعی همراه باشد را ارائه کردند. در هر صورت، نظارت دقیق انسانی یکی از موارد مهم خواهد بود. ویلیامسون [4] و همکاران (۲۰۲۳) هشت چالش در ارتباط با داده‌های زیستی و کاربرد ابزارهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین مطرح نمودند که باید در پژوهش‌های مربوط به گیاهان در نظر گرفته شوند:

الف) تنوع داده‌ها و موانع مستمر برای به اشتراک‌گذاری داده‌ها

پژوهش‌های زیستی در مقایسه با علوم دیگر بسیار پراکنده و درنتیجه داده‌های زیستی بسیار ناهمگون هستند. گونه‌های مختلف قارچ‌ها، باکتری‌ها، درختان، سرخس‌ها و پستانداران

هوش مصنوعی نیز چالشی جدی در این زمینه است. به‌طورمثال، می‌توان نمونه‌های هرباریومی را به‌عنوان یک بستر بالقوه برای یادگیری ماشین در نظر گرفت. درمجموع، گیاهان هرباریوم‌های جهان با تخمین حدود ۳۹۲,۳۵۳,۶۸۹ نمونه گیاهی تا دسامبر ۲۰۱۹ (تی‌یرز، ۲۰۲۰)[1]، همراه با داده‌های مکانی و زمانی و با استفاده از یادگیری ماشین می‌تواند برای استنباط اطلاعات مفید صفات فیزیکی و مولکولی استفاده شوند. ویژگی‌ها یا صفات اختصاصی نمونه‌ها می‌توانند برای پشتیبانی از شناسایی خودکار گیاهان (کرانزا روجاس و همکاران، ۲۰۱۷)[2] استفاده شوند. این ابرداده‌ها همراه با تصاویر نمونه‌ها می‌توانند دسته‌بندی شوند و ابزار هوش مصنوعی می‌تواند با استفاده از تصاویر، گونه‌ها را شناسایی کند. این داده‌ها می‌توانند برای نظارت بر تلاش‌های حفاظتی در محل[3] و برای ردیابی تغییرات در پراکندگی طبیعی و مزرعه‌ای استفاده شوند. همچنین، برای پاسخ گونه‌ها به تغییرات محیطی، برای ردیابی گسترش علف‌های هرز مهاجم، یا برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی دیگر که کاملاً با تحقیقات کشاورزی مرتبط هستند، می‌توان از هوش مصنوعی استفاده کرد. این نتایج زمانی حاصل می‌شود که بسیاری از گیاهان هرباریومی رقمی شده باشند.

همه اطلاعات نمونه‌های هرباریومی، حتی موارد حاشیه‌نویسی دست‌نویس یا تایپ‌شده که به نمونه‌های فیزیکی پیوست شده‌اند، به‌صورت تصویربرداری به پایگاه داده‌ها متصل می‌شود. به‌این‌ترتیب، دسترسی به آن‌ها امکان‌پذیر می‌شود. بنابراین، درحالی‌که فناوری‌های جدید تصویربرداری، در یادگیری ماشین امکانات جدیدی را برای بهره‌برداری از این مجموعه‌ها ایجاد کرده‌اند (سولتیس، ۲۰۱۷)[4] تا زمانی‌که اطلاعات موجود در آن‌ها استخراج و رقمی نشوند و در دسترس عموم قرار نگیرند، نمی‌توانند کاربرد هوش مصنوعی را نشان دهند. جالب است بدانیم که یادگیری ماشین، خود، می‌تواند به حل این مشکل کمک کند. یک گام مفید در این مورد، کار اخیر دیلن و همکارانش (۲۰۱۹)[5] است که یک مجموعه داده معیار از برچسب‌های هرباریوم رونویسی‌شده تولید کردند که می‌تواند برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها استفاده شود.

ج)گزارش شفاف درمورد رابطه بین داده‌های رقمی و نمونه‌های مواد

دانه‌ها، ژرم‌پلاسم‌ها و سایر منابع زیستی که در وهله نخست منبع اصلی برای داده‌ها هستند و سایر داده‌ها به آن‌ها مرتبط می‌شوند، می‌توانند برای تفسیر و استفاده مجدد نتایج به کار روند. کاربردهای هوش مصنوعی برای گیاهان و داده‌های مرتبط باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که بتوان داده‌ها، الگوها و سایر خروجی‌ها را به نمونه‌های موادی پیوند داد که تحقیقات علمی و کاربردهای منطقی بیوتکنولوژی به آن‌ها وابسته هستند.

د) استانداردسازی داده‌ها و فراداده‌ها

استانداردسازی تضمین می‌کند که داده‌ها در قالب‌ها و با برچسب‌هایی جمع‌آوری می‌شوند که برای کاربران (خواه انسان یا انسان ماشین) قابل درک باشد. همچنین می‌توان از ثبت حداقل اطلاعات متنی (یا فراداده) درمورد روش‌هایی که داده‌ها ازطریق آن‌ها تولید شده‌اند، اطمینان حاصل کرد. در این رابطه، شرکت‌هایی که ابزارهای علمی و نرم‌افزارهای تحقیقاتی را توسعه می‌دهند، نقش مهمی دارند. این امر به‌ویژه درمورد داده‌های تولیدشده با فناوری‌های سنجش از راه دور به‌خوبی مشهود است، طوری‌که برجسته‌ترین استانداردها بیشتر به سطوح فنی تصویربرداری و پردازش داده‌ها مربوط می‌شوند تا مدیریت داده‌ها.

هـ) ارزیابی کیفیت داده‌های مرجع

توسعه ابزارهای یادگیری ماشین قابل‌اعتماد، به داده‌های مرجع کافی بستگی دارد تا اعتبارسنجی الگو به‌درستی انجام شود. دستیابی به داده‌های مرجع برای محیط‌های میدانی پیچیده،

1. Thiers, 2020
2. Carranza-Rojas et al., 2017
3. in-situ
4. Soltis, 2017
5. Dillen

موضوعی چالش‌برانگیز است، چراکه جمع‌آوری داده‌های موردنیاز در مقیاس بزرگ و ارزش بالای آن‌ها دشوار است، زیرا اغلب با محدودیت‌های دسترسی یا موافقت‌نامه‌ها و مجوزها روبه‌رو می‌شوند.

و) استفاده از نرم‌افزار و الگوها در مقیاس‌ها، گونه‌ها و محیط‌ها

هنگام توسعه راه‌حل‌های مؤثر هوش مصنوعی در پژوهش‌های مربوط به گیاهان، دسترسی به نرم‌افزار و سکوهای الگوسازی کافی است. برای دسترسی به داده‌های با کیفیت بالا ضروری است تا نرم‌افزارها و الگوها در محیط‌های رقمی پیاده‌سازی شوند تا کاربران به‌راحتی به آن‌ها دسترسی داشته باشند یا مایل به پرداخت هزینه برای دسترسی به آن‌ها باشند. دسترسی، به‌ویژه برای هوش مصنوعی در مقیاس بزرگ، موضوعی کلیدی است. پژوهشگران نیز نیاز به دسترسی دارند. سکوهای محاسباتی و داده‌ای موردنیاز برای تقویت هوش مصنوعی با قیمت مناسب می‌توانند برای چنین تحقیقاتی مقیاس‌پذیر باشند. در صورت امکان، باید قابل حمل بودن نرم‌افزار، همچنین استفاده از آن در محیط‌های رقمی فراهم باشد تا بتواند پژوهشگران را در سامانه‌های مختلف و ازسوی کاربرانی با طیف وسیعی از تجربه در تجزیه‌وتحلیل داده‌ها شرکت دهد.

ز) مدیریت مؤثر در دسترسی به داده‌ها

برای استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی در محیط‌های پیچیده زیستی، دسترسی به مجموعه داده‌های مناسب ضروری است. اما موضوعات تحقیقاتی به‌عواملی فراتر از نیاز علمی، ازجمله روش‌های مالکیت معنوی، وابسته‌اند. حاکمیت مؤسسات خاص بر داده‌ها و تعلق حقوق مربوط به اشتراک‌گذاری داده به تولیدکننده‌گان داده‌ها، باعث می‌شود تا گاهی استفاده و تحلیل داده‌ها پیامدهای اجتماعی و اقتصادی خاصی را تحمیل کند.

مؤسسات پژوهشی و نیز دانشگاه‌ها، اغلب داده‌ها را از دسترسی گسترده (حتی داده‌هایی که خود تولید می‌کنند) حفظ می‌کنند. همچنین امکان دسترسی به نتایج مطالعات و تحقیقاتی با بودجه‌های عمومی را برای سایر پژوهشگران ناشناخته فراهم نمی‌آورند. این موضوع تا حدودی با فقدان سرمایه‌گذاری در سکوهای تخصصی، نبود آموزش موردنیاز برای اطمینان از اشتراک‌گذاری داده‌ها و دشواری امکان تحلیل داده‌ها مرتبط است. سردرگمی پایدار در پاسخگویی قانونی مؤسسات تحقیقاتی در برابر الزامات دولت‌ها، قوانین حفاظت از داده‌ها، حامیان مالی خصوصی (ازجمله مشارکت‌های دولتی ـ خصوصی) و سرمایه‌گذاران دولتی، دلایل اصلی این مشکل هستند. درحقیقت، واقعیت این است که پژوهشگران اغلب در شبکه‌های بین‌المللی فعالیت علمی دارند، درحالی‌که برای آن‌ها قوانین ملی مختلف و انتظارات دیگری تعریف می‌شود.

ح) جذب کارشناسانی فراتر از حوزه خود

باوجود استفاده روزافزون از تخصص و ابزارهای یادگیری ماشین در نمونه‌هایی که در برخی پروژه‌های چشمگیر در حال اجراست (ازجمله در هرباریوم نیویورک در آمریکا و کیو در لندن)، هنوز همکاری بین گروه‌های تحقیقاتی پردازنده علوم داده‌ای و جوامع متخصص علوم گیاهی رایج نیست. این مورد، از یک سو به‌دلیل دید ضعیف مجموعه داده‌های علوم گیاهی و مشکلات جامعه پردازنده داده است که در مقایسه با داده‌های زیست‌پزشکی یا زیست‌محیطی به‌طور مشخص‌تری چالش‌برانگیز شده است. از سوی دیگر، پژوهشگران گیاه‌شناسی باید از نحوه عملکرد الگوریتم‌ها و آنچه که به‌طور قانونی از خروجی‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین انتظار می‌رود، درک بهتری داشته باشند. ارتقای مهارت پژوهشگران متخصص در این زمینه ضروری است تا حداقل مجموعه داده‌هایی برچسب‌گذاری شوند که قابل‌خواندن با ماشین و قابل‌استفاده در الگوریتم‌های خاص باشند. همچنین، باید همکاری بین پژوهشگران علوم بنیادی و دانشمندان داده و توسعه‌دهندگان الگوریتم به‌شدت تقویت شود تا فرصت‌های قابل‌استفاده در این حوزه به حداکثر برسد. بنابراین، راهبردهای مدیریت داده‌ها، می‌تواند این اطمینان را بدهد که تأثیر محیطی، اجتماعی و اقتصادی ابزارهای هوش مصنوعی در همه برنامه‌ها

تعبیه شده است (ویلیامسون و همکاران، ۲۰۲۳).

توصیه‌ها

باوجود توان عظیم بالقوه هوش مصنوعی، بسیاری از پژوهشگران، به‌ویژه آن‌هایی که پیش‌تر از هوش مصنوعی استفاده نکرده بودند، فکر می‌کنند که استفاده نادرست از هوش مصنوعی و نیز داده‌های نادرست، موجب نادرستی نتایج تحقیقات می‌شود. می‌توان پیشنهاد داد که هوش مصنوعی جایگزین انسانی نیست، بلکه باید مکمل انسان‌ها باشد تا برای سرعت بخشیدن به علم، پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها را تسهیل کند.

استفاده از هوش مصنوعی در گیاه‌شناسی نشان‌دهنده تغییری در الگو و نحوه مطالعه همراه با تعامل ما با حیات گیاهی است. هوش مصنوعی به گیاه‌شناسان امکان می‌دهد تا با خودکارسازی فعالیت‌های خسته‌کننده و پیشبرد تحقیقات ژنتیکی و کمک به حفاظت از محیط‌زیست، مرزهای جدیدی را کشف کنند و بر چالش‌های اساسی فایق آیند. همان‌طور که فناوری به تکامل خود ادامه می‌دهد، هم‌افزایی بین هوش مصنوعی و گیاه‌شناسی، بازگشایی بینش‌های عمیق‌تری از دنیای پیچیده و جذاب گیاهان را نوید می‌دهد که درنهایت به نفع کشاورزی، بوم‌شناسی و درک وسیعی از دنیای طبیعی است.

توسعه برنامه‌های کاربردی قابل‌اعتماد با استفاده از هوش مصنوعی، به بهره‌گیری از روش‌های معتبر، معنی‌دار و قابل‌استفاده برای ادغام مجموعه داده‌های چندبعدی از منابع مختلف و رویکردهای علمی متفاوت وابسته است. این امر به‌ویژه به توسعه فناوری‌های غذایی و کشاورزی جدید که بر تحقیقات در زمینه‌های مختلف گیاهان بنیادی تکیه دارند متکی است؛ ازجمله زیست‌شناسی، تحقیقات زراعی، حفاظت از محیط‌زیست، علوم خاک، بیماری‌های گیاهی، بوم‌شناسی و مدیریت آفات/گرده‌افشان‌ها، مدیریت آب و زمین، الگوسازی آب‌وهوا، کشاورزی و اقتصاد. بااین‌وجود، اجرای مؤثر هوش مصنوعی در علوم گیاهی و کشاورزی تا حد زیادی به ایجاد یک چشم‌انداز داده‌ای مطلوب، متشکل از شبکه‌ها، مدیریت و حفظ و نگهداری داده‌ها وابسته است.

منابع

Bonnet, P., Joly, A., Goeau, H., Champ, J., Vignau, C., Molino, J.F., Barthelemy, D. & Boujemaa, N. (2015). Plant identification: man vs. machine. *Multimedia Tools and Applications*, 75 (3): 1647–1665.

Brink, S.C. (2024). Rise of the machines: artificial intelligence in plant science and publishing. *Trends in Plant Science*, 29(2): 101-103.

Carranza-Rojas, J., Goeau, H., Bonnet. P., et al. (2017). Going deeper in the automated identification of Herbarium specimens. *BMC Evol Biol*., 17, 181.

Christenhusz, M.J.M. & Byng, J.W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa,* 261(3): 201-217. http://dx.doi.org/10.11646/*phytotaxa*.261.3.1

Coulson, R.N., Folse, J. & Loh, D.K. (1987). Artificial Intelligence and Natural Resource Management. *Science*, 237: 262-267.

Dillen, M., Groom, Q., Chagnoux, S., et al. (2019). A benchmark dataset of herbarium specimen images with label data. *Biodivers Data J*., 7, e31817.

Geitmann, A. & Bidhendi, A.J. (2023). Plant blindness and diversity in AI language models. *Trends Plant Sci*., 28: 1095–1097.

Harfouche, A.L., Petousi, V. & Jung, W. (2024). AI ethics on the road to responsible AI plant science and societal welfare. *Trends Plant Sci*., 29: 104–107.

Karbstein, K., Kosters, L., Hodac, L., Hofmann, M., Horandl, E., Tomasello, S., Wagner, N.D., Emerson, B.C., Albach, D.C., Scheu, S., Bradler, S., Vries, J., Irisarri, I., Li, H., Soltis, P., Mader, P., & Waldchen, J. (2024). Species delimitation 4.0: integrative taxonomy meets artificial intelligence. *Trends in Ecology & Evolution*, 39 (8): 771-784. https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.11.002

Labrighli, K., Moujahdi, Ch., Oualidi, J.E. & Rhazi, L. (2022). Artificial Intelligence for Automated Plant Species Identification: A Review. International Journal of Advanced Com*puter Science and Applications*, 13(10): 814-825.

Mayor, C., Brudno, M., Schwartz, J.R., Poliakov, A., Rubin, E.M., Frazer, K.A., Pachter, L.S. & Dubchak, I. (2000).

Journal of Agricultural Information sciences and Technology
Volume 8, Issue 1, Serial Number 15, Spring and Summer 2025
jaist.areeo.ac.ir

The Usage of Artificial Intelligence in Botany Research

Mehrnoush Panahi

Assistant Professor, Botany Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. **(Corresponding Author) Email**: m.panahi@rifr-ac.ir

Abstract

These days, artificial intelligence has emerged as a transformative force in various scientific and non-scientific fields, and its impact on botany is no exception. In recent years, artificial intelligence has changed the methods in botanical studies and understanding the plant life, that its technological application in automatic plant identification is becoming a reality. The use of deep learning and large-scale imaging centers have led to the emergence of software such as Pl@ntNet and iNaturalist, which make possible plant identification quickly. In recent decades, climate change has created challenges for global ecosystems, and artificial intelligence plays an important role in helping botanists and ecologists to determine which species are adapted to these environmental conditions. By analyzing environmental data, artificial intelligence models can predict the rate of change in plant distribution, migration patterns, and overall ecosystem dynamics. Biological researchers also estimate that artificial intelligence can be very useful in evolutionary studies, genomics, and phylogenetics, although there are challenges in dealing with big biological data that are briefly introduced in this article.

Keywords: Artificial intelligence, Biology, Botany, Herbariums.

VIStA: visualizing global DNA sequence alignments of arbitrary length. *Bioinformatics*, 16: 1046-1047.

Park, D.S., Willis, C.G. Xi, Z., Kartesz, J.T., Davis, C.C. & Worthington, S. (2020). Machine learning predicts large scale declines in native plant phylogenetic diversity. *New Phytologist*, 227: 1544–1556. https://doi.org/10.1111/nph.16621

Picek, L., Šulc, M., Patel, Y. & Matas, J. (2022). Plant recognition by AI: Deep neural nets, transformers, and kNN in deep embeddings. Front. *Plant Sci.*, 13:787527. https://doi: 10.3389/fpls.2022.787527

Salman, O.A. & Hosszú, G. (2024). Evaluating Feature Impact Prior to Phylogenetic Analysis Using Machine Learning Techniques. *Information*, 15, 696. https://doi.org/10.3390/info15110696

Soltis, P.S. (2017). Digitization of herbaria enables novel research. *Am J Bot.*, 104(9): 1281–1284.

Su, Q., Liu, L., Hu, Z., Wang, T., Wang, H., Guo, Q., Liao, X., Sha, Y., Li, F., Dong, Z., Yang, S., Liu, N. & Zhao, Q. (2025). DeepD&Cchl: an AI tool for automated 3D single-cell chloroplast detection, counting, and cell type clustering. *Front. Plant Sci.* 16:1513953. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1513953

Thiers, B.M. (2020). The World's Herbaria 2020: *A Summary Report Based on Data from Index Herbariorum.*

Williamson, H.F., Brettschneider, J., Caccamo, M., Davey, R.P., Goble, C., Kersey, P.J., May, S., Morris, R.J., Ostler, R., Pridmore, T., Rawlings, C., Studholme, D., Tsaftaris, S.A. & Leonelli, S. (2023). Data management challenges for artificial intelligence in plant and agricultural research [version 2; peer review: 2 approved]. *F1000Research*, 10: 324. https://doi.org/10.12688/f1000research.52204.2

Zheng, S., Poczai, P., Hyvönen, J., Tang, J. & Amiryousefi, A. (2020). Chloroplot: an online program for the versatile plotting of organelle genomes. *Frontiers in Genetics*, 11, 576124.