مجله ترویجی مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، دوره ۶، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، صفحات: ۳۱ - ۲۵

معرفی کاربردهای هوش‌مصنوعی در تحقیقات و مدیریت جنگل

محمود بیات*

دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. *mbayat1983@alumni.ut.ac.ir*

چکیده

هوش‌مصنوعی، یک فناوری گسترده و چندوجهی است که توسط علوم کامپیوتر و مهندسی توسعه یافته است. هدف هوش‌مصنوعی، توسعه ماشین‌هایی است که قادر به انجام وظایفی هستند که به‌طور سنتی، به هوش انسانی نیاز دارند. مدیریت منابع طبیعی بر درک علمی و فنی منابع و اکولوژی و ظرفیت مورد نیاز منابع برای بقا تمرکز دارد. سه چالش محاسباتی در مدیریت منابع طبیعی عبارتند از مدیریت داده و ارتباطات، تحلیل داده و بهینه‌سازی و کنترل. یکی از راه‌های پیاده‌سازی ابزارهای محاسباتی برای مواجهه با چالش‌های مدیریت منابع طبیعی استفاده از روش‌های هوش مصنوعی است. به این دلیل که آنها قابلیت انعطاف لازم را برای مواجهه با پویایی ذاتی منابع طبیعی دارند. بسیاری از روش‌های هوش مصنوعی وجود دارند که در زمینه‌های مختلف به‌کار برده شده‌اند. رایج‌ترین مدل‌های هوش مصنوعی از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های فازی، الگوریتم ژنتیک، آتوماتای سلولی، سیستم‌های چندعاملی، هوش جمعی، مدل‌های جنگل تصادفی و مدل‌های یادگیری عمیق هستند که برخی از کاربردهای آنها در مدیریت منابع طبیعی از جمله مدیریت جنگل‌ها امروزه به فراوانی قابل مشاهده است. از جمله این موارد می‌توان به ارائه مدل‌های رویشی و تعیین رویش و حجم سرپای جنگل، مدل‌سازی تنوع زیستی و غنای گونه‌ای در جنگل، برآورد ارتفاع درختان، بررسی مرگ و میر و زنده‌مانی درختان و تأثیر تغییر اقلیم بر جنگل اشاره کرد که همگی به کمک مدل‌های هوش مصنوعی صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: برآورد رشد و محصول جنگل، پایش و ارزیابی جنگل، حفاظت از تنوع زیستی، مدیریت و تشخیص آتش‌سوزی.

بیان مسأله

تاکنون، تعاریف گوناگونی از هوش مصنوعی[1] ارائه شده است. به‌طور کلی، هوش مصنوعی را می‌توان به‌عنوان توانایی رایانه‌ها برای انجام کارهای فکری که توسط انسان انجام می‌گیرد، تعریف کرد. بسیاری از مسائل دنیای امروز مانند مسائل محاسباتی جستجو و واکاوی اطلاعات با این شیوه توسط رایانه‌ها حل شده است. ایده ابتدایی هوش مصنوعی درک طبیعت تفکر و هوش انسان و ارائه نرم‌افزاری است که چگونگی کارکرد آنها را مدل کند، اما در زمینه‌های کاربردی مهندسان به‌دنبال ساختن الگوریتم‌هایی بودند که کارها را شبیه انسان انجام دهند. مدیریت منابع طبیعی زمینه‌ای است که برای مدیریت منابعی مانند آب، گیاهان و حیوانات تلاش می‌کند و با توجه به تأثیر مدیریت بر کیفیت کنونی و آینده نسل‌ها حائز اهمیت فراوانی است (Ma *et al.*, 2020). مدیریت منابع طبیعی بر درک علمی و فنی منابع و اکولوژی و ظرفیت مورد نیاز منابع برای بقا تمرکز دارد. سه چالش محاسباتی در مدیریت منابع طبیعی عبارتند از مدیریت داده و ارتباطات، تحلیل داده و بهینه‌سازی و کنترل. یکی از راه‌های پیاده‌سازی ابزارهای محاسباتی برای مواجهه با چالش‌های مدیریت منابع طبیعی استفاده از روش‌های هوش مصنوعی است. به این دلیل که آنها قابلیت انعطاف لازم را برای مواجهه با پویایی ذاتی منابع طبیعی دارند. بسیاری از روش‌های هوش مصنوعی وجود دارند که در زمینه‌های مختلف به‌کار برده شده‌اند. رایج‌ترین مدل‌های هوش مصنوعی از جمله شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های فازی، الگوریتم ژنتیک، آتوماتای سلولی، سیستم‌های چندعاملی، هوش جمعی، مدل‌های جنگل تصادفی و مدل‌های یادگیری عمیق هستند که برخی از کاربردهای آنها در مدیریت منابع طبیعی از جمله مدیریت جنگل‌ها برشمرده شده است (Wang *et al.*, 2021). تعریف عمومی و رایج از مدل‌های هوش مصنوعی به این شرح است، تلاش در برخوردار نمودن رایانه از توانایی‌های شناخت و تقلید جنبه‌های هوشی انسان و از دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شده است. ایده اصلی AI از رایانه گرفته شده است و مسأله AI یکی از زمینه‌های رو به پیشرفت در علم رایانه است و هر روز اخبار جدیدی در مورد آن شنیده می‌شود. عنصر کلیدی در روش‌شناسی AI از سیستم‌های خبره توسعه پیدا کرده است. تلاش گسترده‌ای برای ایجاد سیستم‌های خبره انجام گرفته است و جنبه‌های زیادی از هوشمندی انسان را در عمل شامل می‌شود. تعریف هوشمندی در نسل‌های مختلف سیستم خبره متحول شده است. قدرت یادگیری در AI از دیرباز شناخته شده ولی با امتزاج منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، قدرت یادگیری عنصر محور شده است.

جنگل‌ها شامل مجموعه‌ای از جوامع موجودات زنده هستند که با محیط فیزیکی خود در تعامل‌اند. توانایی این جوامع، برای سازگاری با تغییر اقلیم و در عین حال تأمین بسیاری از نیازهای انسانی، یک چالش است.

تغییرات مداوم جهانی، چندین چالش مهم را برای تحقیقات و مدیریت جنگل ایجاد کرده است که شامل؛ جنگل‌زدایی و قطع غیرقانونی درختان، حقوق بومیان و مالکیت زمین، تخریب جنگل‌ها، گونه‌های مهاجم و همچنین درگیری‌های کاربری زمین، درگیری‌های انسان و حیات‌وحش می‌باشد. پرداختن به این چالش‌های بزرگ، مستلزم ترکیبی از سیاست‌ها، همکاری بین‌المللی و ابزارهای تحول آفرین مانند هوش مصنوعی است.

دستاوردها

توسعه و کاربرد اخیر هوش مصنوعی

هوش‌مصنوعی، یک فناوری گسترده و چندوجهی است که توسط علوم کامپیوتر و مهندسی، توسعه یافته است. هدف هوش‌مصنوعی، توسعه ماشین‌هایی است که قادر به انجام وظایفی هستند که به‌طور سنتی، به هوش انسانی نیاز دارند. از جمله اولین کاربردها در تحقیقات جنگل، کاربرد استدلال مبتنی بر قانون برای شناسایی گونه‌های درختی، تشخیص اختلالات در

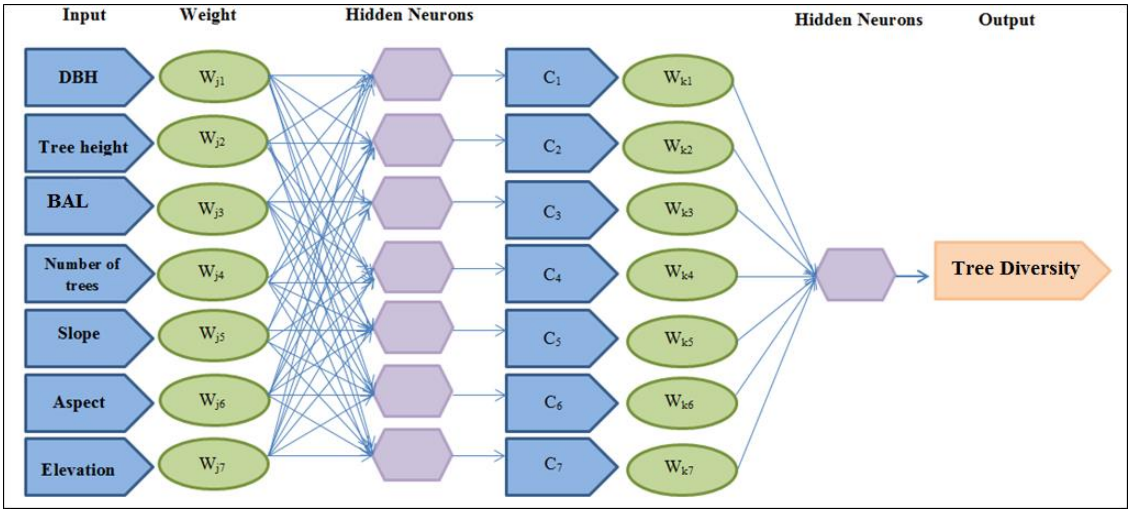
[1] Artificial Intelligence (AI)

درختان و تصمیم‌گیری در حوزه جنگل‌ها بود. سیستم‌های خودکار مبتنی بر هوش مصنوعی، به‌عنوان مثال یک ماشین برداشت درخت، می‌توانند به‌طور مستقل مراحلی را برای رسیدن به یک هدف خاص، برنامه‌ریزی و انجام دهند. یادگیری ماشینی، یادگیری نظارت‌شده، یادگیری نظارت نشده و یادگیری عمیق (با استفاده از شبکه‌های عصبی چندلایه)، کاربردهای خاصی از هوش‌مصنوعی هستند که رایانه‌ها را قادر می‌سازد دانش جدید را بر اساس تجربه و یا مجموعه داده‌های گسترده، توسعه دهند (بیات، ۱۴۰۳).

پایش و ارزیابی جنگل

اکثر کاربردهای فعلی هوش‌مصنوعی در جنگل‌داری با کمک به تجزیه و تحلیل داده‌ها برای نظارت بر تولید و سلامت جنگل، تشخیص تغییرات در پوشش و کاربری زمین، ارزیابی تراکم پوشش درختی و پراکنش گونه‌ها متمرکز است. به‌عنوان مثال، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای پردازش تعداد زیادی از تصاویر سنجش از راه دور (مانند Landsat) و داده‌های متنی (مانند LiDAR) برای نقشه‌برداری از پوشش جهانی جنگلی استفاده شده است.

برای مطالعه آن دسته از ویژگی‌های جنگلی که تعیین کمیت آنها با داده‌های سنجش از دور دشوار یا غیرممکن است؛ محققان بیشتر از اطلاعات داخل عرصه مانند آماربرداری جنگل‌ها استفاده می‌کنند. برای مثال، بر اساس انبوهی از موجودی جنگل و داده‌های سنجش از دور، محققان از یادگیری ماشینی برای نقشه‌برداری تولید جنگل (Liang *et al.*, 2016)، تراکم درختان و تنوع گونه‌های درختان جنگلی استفاده کردند. در سراسر محدوده جهانی جنگل‌ها، این نقشه‌های جهانی نقطه به نقطه با وضوح بالا برای درک وضعیت کنونی جنگل‌ها و شناسایی مناطقی که نیاز به مداخله دارند، بسیار ارزشمند هستند. Bayat و همکاران (۲۰۲۱)، تنوع زیستی جنگل‌های شمال کشور را در سه استان شمالی به کمک مدل‌های یادگیری ماشین بررسی کردند. آنها از سه مدل یادگیری ماشین شامل مدل‌های جنگل تصادفی، مدل‌های ماشین بردار تصمیم‌گیری و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و در نهایت مدل جنگل تصادفی را به‌عنوان بهترین مدل برای بررسی مدل‌سازی تنوع زیستی درختی معرفی کردند. شکل ۱ ساختار مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. شبکه عصبی مصنوعی روشی عملی (محاسباتی) برای یادگیری توابع گوناگون نظیر توابع با مقادیر حقیقی، توابع با مقادیر گسسته و توابع با مقادیر برداری می‌باشد. یادگیری شبکه عصبی در برابر خطاهای داده‌های آموزشی مصون بوده و این گونه شبکه‌ها با موفقیت به مسائلی نظیر شناسائی گفتار، شناسائی و تعبیر تصاویر، طبقه‌بندی الگوها و پیش‌بینی روابط اعمال شده است.



شکل ۱– ساختار عمومی شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)، ورودی‌ها، لایه‌های مخفی و در نهایت لایه خروجی که با رنگ‌های مختلف مشخص شده است.

مدل جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری ماشین نظارت شده است که مبتنی بر درخت تصمیم‌گیری بوده و در آن تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری ایجاد و درختان برای پیش‌بینی، ترکیب می‌گردند. این روش، روشی جدید و قدرتمند است که پیشرفت‌های خوبی در داده‌کاوی و مدل‌سازی ارائه داده است و در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است. این مدل طبقه‌بندی با دقت بالا را برای بسیاری از مجموعه‌های داده انجام می‌دهد (Ma *et al.*, 2020).

برآورد رشد و محصول جنگل

از ابتدای پیدایش علم جنگل‌داری، پژوهشگران به‌طور مداوم به مدل‌های رشد و بهره‌برداری جنگل برای پیش‌بینی تولید و وضعیت آینده توده‌های جنگلی روی آورده‌اند. این مدل‌ها به‌ویژه در هنگام تصمیم‌گیری رویکردهای مدیریتی مختلف یا عدم وجود آنها بسیار مهم هستند. در طول زمان، مجموعه‌ای چشمگیر از مدل‌های رشد و عملکرد جنگل ظهور کرده است، از جدول‌های محصول اولیه گرفته تا مدل‌های شبیه‌سازهای رویش جنگلی مبتنی بر کامپیوتر. با این حال، بر خلاف سایر ابزارهای ضروری جنگل‌داری مانند تبرها و اره‌های برقی، ساخت مدل‌های رویش و عملکرد جنگل، به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌بر است که در درجه اول به‌دلیل ماهیت کار فشرده آنها است و نیاز به دانش تخصصی شامل اکولوژی جنگل، مدیریت جنگل، بیومتری و مدل‌سازی دارد. به‌عنوان مثال، شبیه‌ساز پوشش گیاهی جنگل، مدل رشد و عملکرد غالب در ایالات متحده، به بودجه سالانه تقریباً ۳۰۰ میلیون دلار از طریق برنامه نظارت بر جنگل خدمات جنگلی (USDA Forest Service, 2023) متکی است. درنتیجه این هزینه‌های سنگین، بیش از هشتاد درصد کشورهای در حال توسعه سراسر جهان، دسترسی محدودی به یک مدل رشد و عملکرد جنگل که بتواند اقدامات جنگل‌داری و حفاظت آنها را حمایت کنند، دارند. گام‌های اخیر در این زمینه، تکنیک‌های یادگیری ماشینی (Ma *et al.*, 2020) و سیستم‌های خودآموز (Pukkala *et al.*, 2021)، با هدف ایجاد مدل‌های رشد و عملکرد جنگل از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه‌تر را معرفی کرده است. Hamidi و همکاران (۲۰۲۱)، مدل‌های رویشی جنگل شامل مدل‌های رویش قطری، مدل‌های رویش ارتفاع، مدل‌های زادآوری و درنهایت، مدل‌های زنده‌مانی یا مرگ‌ومیر در جنگل‌های هیرکانی را به کمک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ارائه دادند که قادرند رشد و مرگ‌ومیر درختان را با دقت قابل‌قبولی پیش‌بینی کنند. با این حال، این مدل‌های پیشرفته هنوز نیاز به نظارت دقیق انسانی دارند. بنابراین، کاربرد آنها را به طیف وسیع‌تری از انواع جنگل، محدود ساخته است. برای رسیدگی به این چالش، آزمایشگاه محاسبات پیشرفته جنگلی و هوش‌مصنوعی دانشگاه پردو (FACAI)، با همکاری مؤسسه منابع جهانی و سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل‌متحد (FAO)، در حال حاضر مشغول توسعه ماتریکسی از مدل رشد جنگل مبتنی بر هوش مصنوعی است. هدف این ماتریکس این است که پویایی جنگل‌ها را در سطح توده در سراسر محدوده جهانی جنگل‌های تحت مدیریت جنگل‌ها و سناریوهای مختلف تغییر آب‌وهوا و ارائه یک راه حل امیدوارکننده برای موانع هزینه و دسترسی مرتبط با مدل‌های رشد و رویش سنتی جنگل، طراحی کند.

مدیریت و تشخیص آتش‌سوزی

سیستم‌های هشدار اولیه مبتنی بر هوش مصنوعی، از داده‌های آب‌وهوا، حسگرهای دما و تصاویر ماهواره‌ای برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در جنگل‌ها استفاده می‌کنند (Purnomo and Ramdani, 2021). این سیستم‌ها اغلب از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی الگوهای نشان‌دهنده وقوع آتش‌سوزی و ارسال هشدار به مقامات مربوطه استفاده می‌کنند. تشخیص و پاسخ به‌موقع، به کاهش میزان آسیب و محافظت از جنگل‌ها و جوامع انسانی کمک می‌کند. هوش مصنوعی می‌تواند در برنامه‌ریزی آتش‌سوزی‌های کنترل‌شده که برای کاهش تجمع مواد قابل اشتعال در جنگل‌ها ضروری است کمک کند. با تجزیه

و تحلیل داده‌های تاریخی و شرایط آب‌وهوایی، مدل‌های هوش‌مصنوعی می‌توانند زمان‌بندی و مکان‌های آتش‌سوزی بالقوه را برای به حداقل رساندن خطر آتش‌سوزی‌های کنترل‌نشده تعیین کنند (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2020).

حفاظت از تنوع زیستی

دوربین‌های تله‌ای مبتنی بر هوش مصنوعی و حسگرهای صوتی که برای ایجاد استراتژی‌های موثر حفاظتی و کاهش درگیری‌های بین انسان و حیات وحش ضروری هستند، نه تنها نظارت مستمر حیات‌وحش در اکوسیستم‌های جنگلی را امکان‌پذیر می‌سازند، بلکه داده‌های فراوانی را برای شناسایی و ردیابی گونه‌ها، پویایی جمعیت، رفتار و استفاده از زیستگاه را فراهم می‌کنند.

داده‌های فضایی از جمله پوشش زمین، توپوگرافی و محدوده گونه‌ها را برای شناسایی زیستگاه‌های حیاتی برای گونه‌های درخطر انقراض و نحوه مهاجرت آنها تحت تغییرات جهانی، تجزیه و تحلیل می‌کند (Wang *et al.*, 2021). علاوه بر این، الگوریتم‌های هوش‌مصنوعی می‌توانند حجم وسیعی از داده‌ها را از ماهواره‌ها، پهپادها و حسگرهای زمینی برای شناسایی الگوهای زمان واقعی یا نزدیک به زمان مرتبط با برداشت‌های غیرقانونی چوب پردازش کنند. این الگوها می‌تواند شامل؛ قطع غیرمجاز درختان، حمل‌ونقل و قطع درختان در مناطق حفاظت شده باشد. تشخیص سریع به مقامات این امکان را می‌دهد تا اقدامات لازم برای اجرای قانون را انجام دهند و از جنگل‌هایی که دارای تنوع بالایی از گونه‌های گیاهی، جانوری و میکروبی هستند را در برابر تخریب غیرقانونی محافظت کنند.

عملیات دقیق قطع و بهره‌برداری درختان

هوش مصنوعی می‌تواند عملیات قطع درختان را با تعیین دقیق مکان قطع درختان در یک برنامه از پیش طراحی‌شده برداشت درخت که هدف آن به حداقل رساندن هزینه‌های چوب‌بری یا به حداکثر رساندن ارزش فعلی خالص است، بهینه کند. تجهیزات مبتنی بر هوش‌مصنوعی می‌توانند برش‌های دقیقی را برای کاهش ضایعات و اثرات زیست‌محیطی، افزایش کارآیی منابع و ترویج شیوه‌های جنگل‌داری پایدار انجام دهند. علاوه بر این، سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند مدیریت موجودی را با خودکارسازی یا افزایش بررسی‌های موجودی جنگل که نیازمند کار دستی بسیار هستند، ساده‌تر کنند. این امر، ظرفیت موجودی جنگل را افزایش داده، خطاها را کاهش، شفافیت را افزایش می‌دهد و به مبارزه با قطع غیرقانونی درختان به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه، کمک می‌کند (Hamedianfar *et al.*, 2022).

پایش ذخایر کربن

مدیریت، حفاظت و احیای جنگل‌ها، پتانسیل زیادی برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی دارد، اما چنین کاری مستلزم تعیین میزان دقیق نرخ تجمع و انباشت کربن در جنگل‌ها است. به‌دلیل داده‌ها، روش‌ها و فرضیات نامناسب به‌کار رفته در سیستم‌های پایش کربن موجود در جنگل، ابهامات زیادی در میزان و نحوه واکنش چرخه کربن به تغییرات آب‌وهوایی وجود دارد. به‌طور مشخص، نقشه‌های ایجاد شده در مقیاس جهانی، نرخ رشد جنگل‌کاری‌ها را خطی یا یک مدل غیرخطی ساده مانند تابع رشد چپمن- ریچاردز درنظر گرفته‌اند. این مفروضات، برای تعیین میزان دقیق نرخ رشد جنگل‌هایی با گونه‌های خاص، کافی نیست. علاوه بر این، اطلاعات اندکی در مورد میزان انباشت کربن به‌صورت منطقه‌ای و در جنگل‌هایی در سطح کوچک وجود دارد که بتواند به رشد، بازسازی و مرگ‌ومیر نسبت داده شود و این مؤلفه‌های کلیدی رشد جنگل چقدر نسبت به تغییرات آب‌وهوا و

الگوهای کاربری زمین حساس هستند، وجود دارد. هوش مصنوعی، پتانسیل زیادی دارد؛ مانند مدل‌های رشد و محصول جنگل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، همان‌گونه که در بالا توضیح داده شد به نظارت و پیش‌بینی ذخایر کربن در جنگل‌ها و به محققان در درک نقش جنگل‌ها در چرخه جهانی کربن کمک می‌کند.

آموزش عمومی

مدل‌های زبان بزرگ اخیر[1] و سایر مدل‌های تبدیل‌کننده، راه مفیدی برای انتشار اطلاعات، افزایش آگاهی و تعامل با مردم در مورد موضوعات مهم مرتبط با جنگل‌داری فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، LLM مانند ChatGPT می‌تواند آموزنده و مختصر و پاسخ‌دهنده به سوالات متداول مربوط به جنگل‌داری به زبان‌های مختلف باشد. با این حال، پاسخ‌های ارائه شده توسط هوش مصنوعی از جمله ChatGPT، نباید بدیهی و محض تلقی شود، به‌ویژه در زمینه‌های مهم یا بسیار تخصصی در جنگلداری. برای مثال، نسخه فعلی Chat GPT (GPT-4) می‌تواند به سؤال «بلندترین گونه درختی روی زمین چیست؟»، به‌درستی پاسخ دهد، اما پاسخ صحیحی به «فراوان‌ترین گونه درختی در ایالات متحده چیست؟» ارائه نمی‌کند. در حالی که محققان FACAI در حال حاضر در حال آموزش یک LLM تخصصی برای افزایش دقت و صحت هستند. این نکته مهم است که از پاسخ‌های هوش مصنوعی به‌عنوان نقطه شروع برای تحقیقات و تأیید بیشتر استفاده شود.

توصیه ترویجی

استفاده از هوش‌مصنوعی در تحقیقات و مدیریت جنگل مانند هر زمینه دیگری، ملاحظات اخلاقی مختلفی را مطرح می‌کند که باید به‌دقت مورد توجه قرار گیرند.

۱. اگرچه مدل‌های یادگیری ماشین دارای دقت بالاتر و ظرفیت بیشتر در حل مسائل پیچیده و رفتارهای غیرخطی سیستمی هستند، با این وجود این روش‌ها نیاز به آموزش دقیق و همچنین داده‌های تعلیمی مناسب دارند تا بتوانند به‌خوبی در مدیریت جنگل مورد استفاده قرار گیرند.

۲. سیستم‌های هوش‌مصنوعی، اغلب به مجموعه داده‌های بزرگ متکی هستند و ممکن است شامل اطلاعات حساس در مورد مالکان زمین، اکوسیستم‌های جنگلی یا حتی جوامع بومی باشد که اطمینان از حفظ حریم خصوصی داده‌ها، محافظت از اطلاعات شخصی و کسب رضایت آگاهانه هنگام جمع‌آوری و استفاده از داده‌ها بسیار مهم است.

۳. امکان ارائه یک جواب زودرس و نامناسب در مدل‌سازی با هوش مصنوعی وجود دارد. معمولاً شبکه‌های عصبی برای هر مجموعه از داده‌های آموزشی، به جواب همگرا می‌شود. متأسفانه هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب ارائه شده، بهترین مدل داده‌ها باشد. برای رفع این مشکل باید به‌وسیله داده‌های موجود، مناسب بودن مدل بدست آمده را سنجید و سپس آن را بر روی داده‌های جدید به‌کار برد. درنهایت، ما معتقدیم که یک چارچوب نظری صحیح، مبنای مفیدی برای هدایت توسعه کاربردهای فنی خاص هوش مصنوعی است. ویژگی‌های یک نظریه خوب عبارتند از: الف) جهانی‌بودن (قابل استفاده در هر موقعیت دلخواه)، ب) عملی‌بودن (مفید برای کاربردهای عملی) و ج) قابل قبول بودن (بر اساس شواهد).

[1] Large Language Model (LLM)

فهرست منابع

بیات، م. ۱۴۰۳. مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای درختی در جنگل‌های هیرکانی چیست؟ هوش مصنوعی پاسخ می‌دهد. مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، ۶ (۱): ۱۱-۵.

Bayat, M., Burkhart, H., Namiranian, M., Hamidi, S.K., Heidari, S. and Hassani, M. 2021. Assessing Biotic and Abiotic Effects on Biodiversity Index Using Machine Learning. Forests, 12, 461.

Hamedianfar, A., Mohamedou, C., Kangas, A. and Vauhkonen, J. 2022. Deep learning for forest inventory and planning: a critical review on the remote sensing approaches so far and prospects for further applications. Forestry, 95: 451-465.

Hamidi, S.K., Weiskittel, A., Bayat, M. and Fallah, A. 2021. Development of individual tree growth and yield model across multiple contrasting species using nonparametric and parametric methods in the Hyrcanian forests of northern Iran. European Journal of Forest Research, 140 (2): 421-434.

Liang, J., Crowther, T.W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., Schulze, E.D., McGuire, A.D., Bozzato, F., Pretzsch, H. and De-Miguel, S. 2016. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. Science, 354 (6309), p.aaf8957.

Ma, W., Lin, G. and Liang, J. 2020. Estimating dynamics of central hardwood forests using random forests. Ecological Modelling 419: 108947.

Pérez-Rodríguez, L., Quintano, C., Marcos, E., Suarez-Seoane, S., Calvo, L. and Fernández-Manso, A. 2020. Evaluation of prescribed fires from unmanned aerial vehicles (UAVs) imagery and machine learning algorithms. Remote Sensing, 12: 1295.

Pukkala, T., Vauhkonen, J., Korhonen, K.T. and Packalen, T. 2021. Selflearning growth simulator for modelling forest stand dynamics changing conditions. Forestry: An International Journal of Forest Research, 94: 333-346.

Purnomo, E.P. and Ramdani, R. 2021. Using artificial intelligence technique in estimating fire hotspots of forest fires. Page 012019 in IOP.

Wang, Y., Chao, B., Dong, P., Zhang, D., Yu, W., Hu, W., Ma, Z., Chen, G., Liu, Z. and Chen, B. 2021. Simulating spatial change of mangrove habitat under the impact of coastal land use: Coupling MaxEnt and Dyna-CLUE models. Science of the Total Environment, 788: 147914.