

کاربردهای نوین هوش مصنوعی در حفظ و مدیریت بهداشت جنگل‌ها

محمد شیخکانلوی میلان^{*۱}

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل-مدیریت جنگل-دانشگاه ارومیه

(Mohammadmilan1985@gmail.com)

سیده مریم طاهرزاده موسویان^۲

دانش آموخته ارشد جنگل شناسی و اکولوژی جنگل- دانشگاه گیلان

چکیده

جنگل‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های زمین، نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی و تأمین خدمات اکوسیستمی دارند. با این حال، این اکوسیستم‌ها در حال حاضر با چالش‌های جدی نظیر تغییرات اقلیمی، آتش‌سوزی‌های مکرر، و شیوع آفات و بیماری‌ها مواجه هستند. این تحقیق به بررسی کاربردهای نوین هوش مصنوعی (AI) در حفظ و مدیریت بهداشت جنگل‌ها می‌پردازد و روش‌های مختلفی را که می‌توانند به بهبود پایش و مدیریت این منابع طبیعی کمک کنند، تحلیل می‌کند. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (ML) و یادگیری عمیق (DL) به تحلیل داده‌های کلان و پیچیده‌ای می‌پردازد که از منابع مختلفی همچون تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های سنسورهای زمینی و اطلاعات اقلیمی جمع‌آوری می‌شوند. این فناوری‌ها به شناسایی زودهنگام نشانه‌های آفات و بیماری‌ها و همچنین پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها کمک می‌کنند. به‌ویژه، با تحلیل داده‌های اقلیمی و رطوبت خاک، مدل‌های هوش مصنوعی قادر به شناسایی نقاط خطر و اتخاذ اقدامات پیشگیرانه مؤثر هستند. مقاله همچنین به چالش‌هایی که در استفاده از هوش مصنوعی برای پایش جنگل‌ها وجود دارد، از جمله کیفیت داده‌ها و هزینه‌های جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازد. در نهایت، نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی با شیوه‌های سنتی مدیریت جنگل می‌تواند به بهبود کارایی، دقت و سرعت در واکنش به تهدیدات مختلف کمک کند و در نتیجه به حفاظت از این اکوسیستم‌های ارزشمند یاری رساند. این رویکرد می‌تواند الگویی نوین برای مدیریت پایدار جنگل‌ها و حفظ سلامت محیط زیست باشد.

واژه‌های کلیدی: جنگل، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، پایش سلامت جنگل، آتش‌سوزی، آفات و بیماری‌ها، مدیریت پایدار.

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های زمین، نقش حیاتی در حفظ تنوع زیستی و تأمین خدمات اکوسیستمی ایفا می‌کنند. این اکوسیستم‌ها علاوه بر تولید اکسیژن و جذب دی‌اکسید کربن، به‌عنوان زیستگاه میلیون‌ها گونه گیاهی و جانوری محسوب می‌شوند و تأثیر عمیقی بر کیفیت آب و خاک دارند (باستین^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). با این حال، جنگل‌ها به دلیل تهدیدات متعددی از جمله تغییرات اقلیمی، آتش‌سوزی، آفات و بیماری‌ها در معرض خطر جدی قرار دارند (چوویکو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). تغییرات اقلیمی، با ایجاد نوسانات دما و بارش، الگوهای رشد گیاهان و رفتار جانوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند منجر به تغییرات قابل توجهی در ساختار و کارایی اکوسیستم‌های جنگلی شود (موتانگا و کومار^۳، ۲۰۲۰). حفظ سلامت جنگل‌ها به‌عنوان یک اولویت اساسی برای تأمین منابع طبیعی و خدمات اکوسیستمی ضروری است. در این راستا، پایش و مدیریت مؤثر این منابع به یک چالش جدی تبدیل شده است. استفاده از فناوری‌های نوین، به‌ویژه هوش مصنوعی (AI^۴)، به‌عنوان یک راهکار نوآورانه برای نظارت و مدیریت سلامت جنگل‌ها مطرح شده است. هوش مصنوعی، به‌ویژه از طریق الگوریتم‌های یادگیری عمیق (DL^۵) و یادگیری ماشین (ML^۶)، می‌تواند به تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و پیچیده‌ای پردازد که از منابع مختلفی نظیر تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های سنسورهای زمینی و اطلاعات اقلیمی جمع‌آوری می‌شوند (لیو^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). تکنیک‌های بینایی کامپیوتری، به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی، قابلیت شناسایی و تحلیل تغییرات در پوشش گیاهی، وضعیت درختان و نشانه‌های بیماری را دارند (پفیل و هوفر^۸، ۲۰۱۹). این سیستم‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق، توانایی استخراج ویژگی‌های پیچیده از داده‌های ورودی را دارند و می‌توانند به‌طور خودکار تغییرات در سلامت جنگل‌ها را شناسایی کنند. یکی از مزایای قابل توجه هوش مصنوعی در این زمینه، امکان پردازش داده‌های کلان در زمان واقعی است. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از سنسورهای هوشمند و تصاویر ماهواره‌ای، سیستم‌های هوش مصنوعی قادر به تحلیل تغییرات در زمان واقعی و پاسخ‌گویی به‌موقع به تهدیدات هستند. به‌عنوان نمونه، با پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان به پیش‌بینی شرایط آب و هوایی و خطرات ناشی از آتش‌سوزی‌ها پرداخت (ماکلا^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). این پیش‌بینی‌ها به مدیران جنگل این امکان را می‌دهند که اقدامات پیشگیرانه و بهینه‌تری برای کاهش خسارات ناشی از آتش‌سوزی‌ها اتخاذ کنند. همچنین، هوش مصنوعی می‌تواند در شناسایی و مدیریت

¹ Bastin

² Chuvieco

³ Kumar and Mutanga

⁴ Artificial Intelligence

⁵ Deep Learning

⁶ Machine Learning

⁷ Liu

⁸ Höfle and Pfeifer

⁹ Mäkelä

بیماری‌ها و آفات مؤثر باشد. با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از سنسورهای زمینی و تصاویر هوایی، الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌توانند نشانه‌های اولیه آفات و بیماری‌ها را در درختان شناسایی کنند و این امر امکان مداخله زودهنگام و بهبود مدیریت جنگل را فراهم می‌آورد. در مجموع، استفاده از هوش مصنوعی در پایش و مدیریت سلامت جنگل‌ها می‌تواند به بهبود کارایی و دقت فرآیندهای مدیریتی کمک کند و به حفظ و ترمیم اکوسیستم‌های جنگلی در برابر تهدیدات مختلف یاری رساند. این مقاله به بررسی کاربردهای نوین هوش مصنوعی در حفظ و مدیریت بهداشت جنگل‌ها و به تحلیل روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی خواهد پرداخت که می‌توانند به حفظ این منابع طبیعی ارزشمند کمک کنند.

سیستم‌های پایش سلامت جنگل با استفاده از هوش مصنوعی

جنگل‌ها به عنوان یکی از اکوسیستم‌های کلیدی زمین، نقشی حیاتی در حفظ تنوع زیستی، تنظیم چرخه‌های آب و هوا و تأمین منابع طبیعی ایفا می‌کنند. با این حال، این اکوسیستم‌های ارزشمند در حال حاضر با تهدیدات فزاینده‌ای از جمله تغییرات اقلیمی، آتش‌سوزی‌های مکرر، آفات و تخریب‌های انسانی مواجه هستند. در این راستا، پایش و مدیریت مؤثر سلامت جنگل‌ها به یک چالش جدی تبدیل شده است. سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی (AI) به عنوان ابزارهای نوآورانه و کارآمد برای پایش وضعیت جنگل‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند و می‌توانند در شناسایی و تجزیه و تحلیل داده‌های کلان به مدیران جنگل کمک کنند (ژانگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲). مدل‌های هوش مصنوعی با قابلیت پردازش و تحلیل داده‌های بزرگ، می‌توانند به طور مؤثری اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف نظیر تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های سنسورهای زمینی و اطلاعات اقلیمی را تجزیه و تحلیل کنند. به عنوان مثال، الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌توانند به شناسایی الگوهای تغییر در پوشش گیاهی و وضعیت سلامت درختان بپردازند. این سیستم‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی قادرند به طور خودکار و در زمان واقعی تغییرات را شناسایی و تحلیل کنند (گونزالز و روریگوز^{۱۱}، ۲۰۲۰). یکی از جنبه‌های کلیدی هوش مصنوعی در جنگل‌داری، شناسایی و مدیریت آفات و بیماری‌ها است. با به کارگیری داده‌های تصویری و تحلیل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، این سیستم‌ها می‌توانند به شناسایی زودهنگام نشانه‌های آفت‌زایی بپردازند. به طور مثال، با استفاده از تصاویر هوایی و تکنیک‌های پردازش تصویر، امکان شناسایی آفت‌هایی نظیر سوسک‌های چوب‌خوار وجود دارد. این نوع شناسایی زودهنگام می‌تواند به مدیران جنگل کمک کند تا اقدامات پیشگیرانه‌ای برای کنترل و مدیریت آفات انجام دهند. پیش‌بینی و مدیریت آتش‌سوزی‌های جنگلی یکی دیگر از کاربردهای مهم هوش مصنوعی است. با استفاده از داده‌های اقلیمی، رطوبت خاک و سوابق آتش‌سوزی، مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند

¹⁰ Zhang

¹¹ Gonzalez

خطرات ناشی از آتش‌سوزی را پیش‌بینی کنند. به‌عنوان مثال، این سیستم‌ها می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای، نقاط بحرانی را که در معرض خطر آتش‌سوزی قرار دارند، شناسایی کنند و به مدیران جنگل این امکان را بدهند که اقدامات پیشگیرانه را اتخاذ کنند (سولیوان و مازولنی^{۱۲}، ۲۰۲۰). چالش‌های موجود در پایش جنگل‌ها به دلیل تنوع و حجم بالای داده‌ها، نیاز به یک رویکرد یکپارچه و چندمنظوره را ایجاب می‌کند. با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، می‌توان داده‌های مختلف را ادغام کرد و به یک مدل جامع برای پایش سلامت جنگل‌ها دست یافت. به‌کارگیری شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN^{۱۳}) به عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل تصاویر هوایی، می‌تواند در شناسایی و تحلیل الگوهای تغییر در پوشش گیاهی بسیار مؤثر باشد (حاجی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳). با وجود مزایای بی‌شمار، چالش‌هایی نیز در استفاده از هوش مصنوعی برای پایش سلامت جنگل‌ها وجود دارد. کیفیت داده‌ها، هزینه‌های بالای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات، و نیاز به تخصص در تحلیل داده‌ها از جمله این چالش‌ها هستند. همچنین، نیاز به همکاری نزدیک بین محققان، مدیران جنگل و سیاست‌گذاران برای بهینه‌سازی استفاده از این فناوری‌ها احساس می‌شود. در نهایت، انتظار می‌رود که فناوری‌های هوش مصنوعی در آینده به عنوان یک ابزار کلیدی در پایش و مدیریت جنگل‌ها مطرح شوند. این سیستم‌ها می‌توانند به بهبود تصمیم‌گیری، افزایش دقت پایش و حفاظت از جنگل‌ها و در نهایت، حفظ تنوع زیستی و سلامت اکوسیستم‌ها کمک کنند. ادغام این فناوری‌ها با شیوه‌های سنتی مدیریت جنگل، می‌تواند به ایجاد رویکردهای نوآورانه و پایدار منجر شود که به حفظ و بهبود سلامت جنگل‌ها کمک خواهد کرد.

شناسایی و مدیریت آفات و بیماری‌ها: رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین

شناسایی و مدیریت آفات و بیماری‌ها در بخش کشاورزی و جنگل‌داری به عنوان یک موضوع کلیدی و حیاتی به شمار می‌رود. با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به تأمین غذای بیشتر، اهمیت بهبود روش‌های شناسایی و مدیریت این تهدیدات به شدت احساس می‌شود. در این راستا، رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین به عنوان یک ابزار نوین و کارآمد معرفی شده‌اند که می‌توانند تحولی در این حوزه ایجاد کنند. یادگیری ماشین به محققان این امکان را می‌دهد تا با تحلیل داده‌های بزرگ و پیچیده، الگوریتم‌هایی توسعه دهند که قادر به شناسایی الگوها و نشانه‌های آفات و بیماری‌ها باشند. این الگوریتم‌ها به‌ویژه در تجزیه و تحلیل تصاویر و داده‌های محیطی بسیار مؤثر هستند. به عنوان مثال، استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق در شناسایی بیماری‌های گیاهی، توانسته است دقت شناسایی را به طرز چشمگیری افزایش دهد. این تکنیک‌ها با استفاده از ویژگی‌های بصری موجود در تصاویر، قادر به تشخیص

¹² Sullivan, and Mazzoleni

¹³ Convolutional Neural Network

زود هنگام نشانه‌های بیماری‌ها هستند، که این امر می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا با انجام اقدامات سریع‌تر، از گسترش آفات جلوگیری کنند (گوسال، موخرجی و کولی^{۱۴}، ۲۰۲۳).

یکی از جنبه‌های کلیدی در استفاده از یادگیری ماشین، توانایی پردازش داده‌های حجیم و پیچیده است. الگوریتم‌ها می‌توانند با تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به شرایط جوی، تاریخچه آفات و اطلاعات مربوط به گیاهان، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از وقوع آفات و بیماری‌ها ارائه دهند. این پیش‌بینی‌ها به مدیران امکان می‌دهد تا برنامه‌ریزی بهتری برای مدیریت منابع خود داشته باشند و از خسارات اقتصادی جلوگیری کنند. در مطالعات اخیر، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌طور خاص در شناسایی بیماری‌های گیاهی مورد توجه قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق می‌توان به شناسایی بیماری‌هایی نظیر زنگ گیاهی و پوسیدگی ریشه در مراحل اولیه پرداخت. این نوع شناسایی زود هنگام نه تنها به کاهش خسارات ناشی از بیماری‌ها کمک می‌کند بلکه به کشاورزان این امکان را می‌دهد که با استفاده از روش‌های مدیریت بهینه، هزینه‌های مربوط به کنترل آفات و بیماری‌ها را کاهش دهند (ساهو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، یادگیری ماشین می‌تواند در توسعه مدل‌های پیش‌بینی و تصمیم‌گیری نیز نقش ایفا کند. ادغام الگوریتم‌های یادگیری ماشین با داده‌های جغرافیایی و اقلیمی می‌تواند به شناسایی مناطق پرخطر و پیش‌بینی شیوع آفات در زمان‌های خاص کمک کند. به عنوان مثال، با استفاده از داده‌های مربوط به دما و رطوبت، می‌توان الگوهای رفتاری آفات را شناسایی کرده و نقاط بحرانی را در زمان مناسب شناسایی کرد. با این حال، چالش‌هایی نیز در استفاده از یادگیری ماشین برای شناسایی و مدیریت آفات وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، کیفیت داده‌های ورودی است. داده‌های ناقص یا نادرست می‌توانند به نتایج نادرست و پیش‌بینی‌های ضعیف منجر شوند. همچنین، نیاز به همکاری بین محققان، کشاورزان و متخصصان علوم داده برای بهینه‌سازی فرآیندهای یادگیری و بهبود دقت مدل‌ها وجود دارد (لی^{۱۶} و همکاران، ۲۰۲۳).

¹⁴ Ghosal, Mukherjee, and Koley

¹⁵ Sahu

¹⁶ Li



شکل ۱- شناسایی و مدیریت آفات و بیماری با استفاده از مدل یادگیری ماشین

شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی با فناوری‌های هوش مصنوعی

شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی به فرآیند شناسایی و تشخیص حریق در مراحل ابتدایی آن اشاره دارد، که می‌تواند به جلوگیری از گسترش آتش و کاهش خسارات ناشی از آن کمک کند. این مفهوم در مورد آتش‌سوزی‌های جنگلی و مناطق طبیعی به ویژه از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا آتش‌سوزی‌های زود هنگام می‌توانند به سرعت گسترش یابند و منجر به آسیب‌های جدی به محیط زیست، جوامع محلی و اقتصاد شوند. شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی نه تنها به کاهش آسیب‌ها و خسارات مالی کمک می‌کند، بلکه همچنین می‌تواند از آسیب به منابع طبیعی و اکوسیستم‌های حیاتی جلوگیری کند. در فرآیند شناسایی زود هنگام، روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی به کار گرفته می‌شوند. یکی از این روش‌ها، استفاده از سنسورهای حرارتی است. این حسگرها می‌توانند دما را در مناطق مختلف نظارت کرده و در صورت افزایش ناگهانی دما، هشدار دهند. همچنین، دوربین‌های حرارتی و نوری به عنوان ابزارهای دیگری برای شناسایی آتش‌سوزی‌ها به کار می‌روند. این دوربین‌ها می‌توانند تغییرات حرارتی و ناهنجاری‌های دما را شناسایی کرده و در صورت تشخیص آتش، به مراکز مدیریت بحران اطلاع دهند. سیستم‌های هشدار خودکار نیز با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از سنسورها و دوربین‌ها، می‌توانند به طور خودکار آتش‌سوزی‌ها را شناسایی و به تیم‌های مربوطه اطلاع دهند.

علاوه بر این، مدل‌های یادگیری ماشین نیز به عنوان یک ابزار پیشرفته در شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی به شمار می‌روند. این مدل‌ها می‌توانند با استفاده از داده‌های تاریخی و الگوهای جغرافیایی، پیش‌بینی کنند که در کجا و چه زمانی احتمال وقوع آتش‌سوزی بیشتر است. این پیش‌بینی‌ها به تیم‌های مدیریت بحران کمک می‌کنند تا به سرعت و با آگاهی بیشتری به موقعیت‌های خطرناک واکنش نشان دهند. با این حال، چالش‌هایی نیز در زمینه شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، نیاز به داده‌های جامع و با کیفیت است. کمبود داده‌های دقیق می‌تواند به کاهش دقت پیش‌بینی‌ها منجر شود. همچنین، تغییرات ناگهانی در شرایط جوی می‌تواند تأثیر زیادی بر روی الگوهای آتش‌سوزی داشته باشند و این امر می‌تواند شناسایی زود هنگام را پیچیده‌تر کند. هزینه‌های اجرای سیستم‌های شناسایی زود هنگام نیز می‌تواند چالشی دیگر باشد، زیرا نصب و نگهداری این سیستم‌ها معمولاً نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجهی دارد.

نقش داده‌های ورودی برای شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی

شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی نیازمند داده‌های متنوع و گسترده‌ای است. این داده‌ها می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

➤ **داده‌های حسگر:** حسگرهای دما، رطوبت و گازهای منتشر شده از آتش می‌توانند به شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی کمک کنند. این حسگرها معمولاً در مناطق جنگلی نصب می‌شوند و به صورت مداوم داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند (کوچران^{۱۷}، ۲۰۰۳).

➤ **تصاویر ماهواره‌ای:** تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند تغییرات در پوشش گیاهی و رطوبت خاک را شناسایی کنند و به همین ترتیب، به پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی کمک کنند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق می‌توانند برای تحلیل این تصاویر و شناسایی الگوهای مربوط به آتش‌سوزی‌ها استفاده شوند (چوویکو و همکاران، ۲۰۱۰).

➤ **داده‌های اقلیمی:** تغییرات در دما و بارش می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر روی وقوع آتش‌سوزی‌ها داشته باشند. این داده‌ها می‌توانند به عنوان ورودی برای مدل‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی استفاده شوند (فلانینگان^{۱۸} و همکاران، ۲۰۱۶).

¹⁷ Cochrane

¹⁸ Flannigan

رویکردهای نوین در واکنش به آتش‌سوزی

واکنش به آتش‌سوزی شامل مجموعه‌ای از اقدامات سریع و مؤثر برای کنترل و مدیریت بحران است. سیستم‌های هوشمند می‌توانند در این زمینه نقش کلیدی ایفا کنند:

➤ **اطلاع‌رسانی و هشدار:** سیستم‌های هوشمند می‌توانند به طور خودکار هشدارهای مربوط به آتش‌سوزی را به مقامات محلی و تیم‌های واکنش ارسال کنند. این هشدارها می‌توانند شامل اطلاعات دقیق در مورد موقعیت آتش، شدت آن و پیش‌بینی‌های مربوط به گسترش آتش باشند (ماستروریلو^{۱۹} و همکاران، ۲۰۱۶).

➤ **مدیریت عملیات اطفای حریق:** با استفاده از داده‌های تحلیلی و بلادرنگ، مدیران بحران می‌توانند تصمیمات بهتری در مورد نحوه اطفای حریق و تخصیص منابع اتخاذ کنند. این سیستم‌ها می‌توانند به شناسایی بهترین مسیرها برای دسترسی به محل آتش‌سوزی و تخصیص منابع انسانی و تجهیزات کمک کنند (کاپلان و گورتنر^{۲۰}، ۲۰۱۸).

➤ **برنامه‌ریزی برای بازسازی:** پس از کنترل آتش‌سوزی، نیاز به ارزیابی خسارات و برنامه‌ریزی برای بازسازی وجود دارد. استفاده از داده‌های تحلیلی می‌تواند به شناسایی مناطق آسیب‌دیده و نیازهای بازسازی کمک کند (ژو^{۲۱} و همکاران، ۲۰۲۰).

در نهایت، مدیریت بحران و واکنش به آتش‌سوزی با استفاده از سیستم‌های هوشمند و تحلیل داده به عنوان یک رویکرد نوین و مؤثر در مدیریت آتش‌سوزی‌ها شناخته می‌شود. این فناوری‌ها می‌توانند به شناسایی سریع و دقیق آتش‌سوزی‌ها کمک کنند و به همین دلیل، نقش حیاتی در کاهش خسارات مالی و زیست‌محیطی دارند. به کارگیری این فناوری‌ها در ترکیب با داده‌های متنوع می‌تواند به بهبود استراتژی‌های مدیریت آتش‌سوزی و حفاظت از اکوسیستم‌ها کمک کند. در نهایت، سرمایه‌گذاری در این حوزه و توسعه فناوری‌های جدید می‌تواند به افزایش تاب‌آوری جوامع در برابر بحران‌های آتش‌سوزی کمک کند.

الگوریتم‌های پیش‌بینی آتش‌سوزی: یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی

آتش‌سوزی‌های جنگلی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در سطح جهانی هستند و به دلیل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی در حال افزایش می‌باشند. این آتش‌سوزی‌ها نه تنها آسیب‌های جدی به

¹⁹ Mastrorillo

²⁰ Kaplan and Gurtner

²¹ Zhou

اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی وارد می‌کنند، بلکه تأثیرات مخربی بر جوامع انسانی و اقتصاد محلی دارند. در این راستا، پیش‌بینی دقیق وقوع آتش‌سوزی‌ها به عنوان یک ابزار کلیدی در مدیریت و کنترل این بحران‌ها به شمار می‌آید. الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی به عنوان تکنیک‌های پیشرفته در این زمینه به کار گرفته می‌شوند و قابلیت‌های چشمگیری در تحلیل داده‌های پیچیده و پیش‌بینی الگوها دارند (خیانگ^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۹).

- یادگیری ماشین در پیش‌بینی آتش‌سوزی

یادگیری ماشین به عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی، در سال‌های اخیر به یکی از ابزارهای کلیدی در پیش‌بینی و مدیریت آتش‌سوزی‌های جنگلی تبدیل شده است. آتش‌سوزی‌های جنگلی می‌توانند تأثیرات مخربی بر روی اکوسیستم‌ها، زندگی انسان‌ها و اقتصاد داشته باشند. بنابراین، پیش‌بینی وقوع این حوادث و مدیریت آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. برای پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها، داده‌های متنوعی مورد نیاز است. این داده‌ها شامل اطلاعات آب و هوایی (دما، رطوبت، بارش، سرعت و جهت باد)، ویژگی‌های زمین‌شناسی (نوع خاک، پوشش گیاهی، و شیب زمین)، و داده‌های تاریخی آتش‌سوزی‌ها می‌شوند. داده‌های ماهواره‌ای نیز نقش مهمی در تشخیص و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها دارند. این داده‌ها می‌توانند شامل تصاویر حرارتی، ناهنجاری‌های دما و تغییرات در پوشش گیاهی باشند. مدل‌های یادگیری ماشین معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شوند: یادگیری نظارت‌شده و یادگیری بدون نظارت. در یادگیری نظارت‌شده، داده‌های آموزشی شامل ورودی‌ها و خروجی‌های مورد انتظار هستند. برای مثال، در یک مدل پیش‌بینی آتش‌سوزی، ورودی‌ها می‌توانند شامل داده‌های آب و هوایی و زمین‌شناسی باشند و خروجی، احتمال وقوع آتش‌سوزی در یک منطقه خاص باشد. از الگوریتم‌های مختلفی مانند درخت تصمیم، ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM^{23})، و شبکه‌های عصبی برای این نوع پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شود. در یادگیری بدون نظارت، مدل‌ها به دنبال الگوها و ساختارهای نهفته در داده‌ها می‌گردند. این روش می‌تواند برای شناسایی مناطق پرخطر و الگوهای جغرافیایی آتش‌سوزی‌ها مورد استفاده قرار گیرد (لیو^{۲۴} و همکاران، ۲۰۲۰).

روش‌های اصلی یادگیری ماشین شامل موارد ذیل می‌شود:

²² Xiang

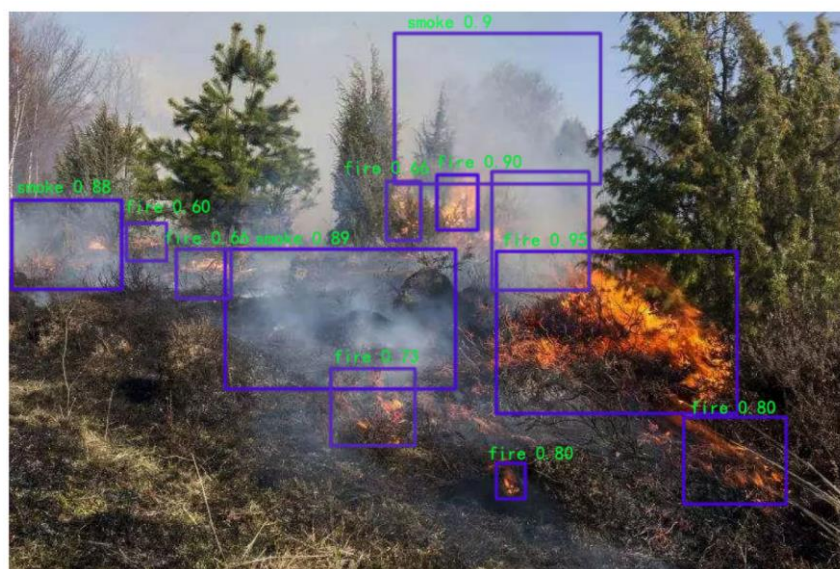
²³ Support Vector Machine

²⁴ Liu

➤ درختان تصمیم^{۲۵}: این الگوریتم‌ها با تجزیه و تحلیل ویژگی‌ها به صورت درختی، روابط پیچیده بین متغیرها را شناسایی می‌کنند. درختان تصمیم به دلیل قابلیت تفسیر آسان و شفافیت در تصمیم‌گیری، به طور گسترده‌ای در پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها استفاده می‌شوند (مائو^{۲۶} و همکاران، ۲۰۲۰).

➤ ماشین‌های بردار پشتیبان^{۲۷}: این الگوریتم‌ها قادرند مرزهای پیچیده بین داده‌های مثبت و منفی را شناسایی کنند. SVM به ویژه در شرایطی که داده‌ها غیرخطی هستند، کارایی بالایی دارد و می‌تواند به پیش‌بینی دقیق وقوع آتش‌سوزی کمک کند (ژانگ^{۲۸} و همکاران، ۲۰۲۱).

➤ الگوریتم‌های خوشه‌بندی^{۲۹}: این الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌ها را به گروه‌های مشابه تقسیم کنند و به شناسایی مناطق با خطر آتش‌سوزی بالا کمک کنند. یکی از روش‌های رایج در این زمینه، الگوریتم K-means است که به سادگی می‌تواند مناطق خطرناک را شناسایی کند (خیانگ^{۳۰} و همکاران، ۲۰۱۹).



(d)

شکل ۲- الگوریتم K-means در شناسایی آتش‌سوزی جنگل‌ها

²⁵ Decision Trees

²⁶ Mao

²⁷ Support Vector Machines

²⁸ Zhang

²⁹ Clustering Algorithms

³⁰ Xiang

- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN^{31}) به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین تکنیک‌های یادگیری ماشین، به تقلید از نحوه عملکرد مغز انسان طراحی شده‌اند. این شبکه‌ها قادرند الگوهای پیچیده و غیرخطی را شناسایی و پردازش کنند (خان^{۳۲} و همکاران، ۲۰۱۹).

مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی به شرح ذیل می باشد:

➤ **قابلیت یادگیری از داده‌های بزرگ:** شبکه‌های عصبی به دلیل ساختار چندلایه‌ای خود می‌توانند اطلاعات زیادی را از داده‌های ورودی استخراج کنند و به همین دلیل در تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده مانند پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها بسیار مؤثر هستند (ژو^{۳۳} و همکاران، ۲۰۲۰).

➤ **انعطاف‌پذیری:** این شبکه‌ها می‌توانند با داده‌های متنوع و تغییرات شرایط محیطی سازگار شوند و به همین دلیل در پیش‌بینی‌های بلندمدت مؤثرتر هستند.

➤ **استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق^{۳۴}:** این نوع شبکه‌ها با داشتن لایه‌های بیشتر، می‌توانند ویژگی‌های پیچیده‌تری را از داده‌ها استخراج کنند و به دقت بالاتری در پیش‌بینی آتش‌سوزی‌ها منجر شوند (خان و همکاران، ۲۰۱۹).

استفاده از یادگیری ماشین برای پایش تنوع زیستی

یادگیری ماشین به عنوان ابزاری قدرتمند برای پایش و ارزیابی تنوع زیستی در اکوسیستم‌ها به کار می‌رود. پروژه Wildlife Insights به طور خاص از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای تحلیل تصاویر جمع‌آوری شده از دوربین‌های تله استفاده می‌کند. این سیستم می‌تواند با شناسایی خودکار گونه‌های مختلف جانوری و ثبت زمان و مکان آن‌ها، اطلاعات دقیقی درباره تغییرات در تنوع زیستی یک منطقه خاص ارائه دهد. به عنوان مثال، اگر یک گونه خاص در یک منطقه کاهش یابد، این اطلاعات می‌تواند به محققان کمک کند تا دلایل احتمالی کاهش جمعیت را بررسی کنند و اقداماتی برای حفاظت از آن گونه انجام دهند (وایت لایف اینزایتس^{۳۵}، ۲۰۲۳). علاوه بر این، یادگیری ماشین می‌تواند در پیش‌بینی اثرات تغییرات زیست‌محیطی بر تنوع زیستی نیز مفید باشد. با ترکیب داده‌های اقلیمی، زمین‌شناسی و زیست‌محیطی، مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای پیچیده‌ای را شناسایی کنند

³¹ Artificial Neural Networks

³² Khan

³³ Zhou

³⁴ Deep Neural Networks

³⁵ Wildlife Insights

که نشان‌دهنده چگونگی تأثیر تغییرات اقلیمی بر گونه‌های مختلف است. به‌عنوان مثال، این مدل‌ها می‌توانند پیش‌بینی کنند که چگونه تغییرات دما و بارش بر زیستگاه‌های خاص تأثیر می‌گذارد و چه اقداماتی برای حفاظت از تنوع زیستی باید انجام شود.



شکل ۳- نمایی از مدل یادگیری ماشین برای پایش تنوع زیستی

بحث و نتیجه گیری

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی زمین، نقش حیاتی در حفظ تنوع زیستی، تنظیم چرخه‌های آب و هوا و تأمین منابع طبیعی ایفا می‌کنند. با این حال، این اکوسیستم‌ها در حال حاضر با تهدیدات فزاینده‌ای از جمله تغییرات اقلیمی، آتش‌سوزی‌های مکرر، آفات و بیماری‌ها مواجه هستند. در این زمینه، پایش و مدیریت مؤثر سلامت جنگل‌ها به یک چالش جدی تبدیل شده است. یکی از راه‌حل‌های نوین که می‌تواند به مدیریت این بحران‌ها کمک کند، استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی (AI) است. مدل‌های هوش مصنوعی، به ویژه الگوریتم‌های یادگیری عمیق (DL) و یادگیری ماشین (ML)، توانایی پردازش و تحلیل داده‌های کلان و پیچیده را دارند. این الگوریتم‌ها می‌توانند اطلاعات جمع‌آوری‌شده از منابع مختلفی مانند تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های سنسورهای زمینی و اطلاعات اقلیمی را تجزیه و تحلیل کنند. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های یادگیری عمیق با توانایی شناسایی الگوهای پیچیده در داده‌ها، می‌توانند تغییرات در پوشش گیاهی و وضعیت سلامت درختان را شناسایی کنند. این توانایی به مدیران جنگل این امکان را می‌دهد تا به‌طور مؤثر و در زمان واقعی به تهدیدات پاسخ دهند و تصمیم‌گیری‌های بهتری داشته باشند. یکی دیگر از کاربردهای کلیدی هوش مصنوعی در

جنگلداری، شناسایی و مدیریت آفات و بیماری‌ها است. با استفاده از داده‌های تصویری و تحلیل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، این سیستم‌ها می‌توانند به شناسایی زودهنگام نشانه‌های آفت‌زایی بپردازند. به‌عنوان مثال، استفاده از تصاویر هوایی و تکنیک‌های پردازش تصویر می‌تواند به شناسایی آفت‌هایی نظیر سوسک‌های چوب‌خوار کمک کند. این نوع شناسایی زودهنگام به مدیران جنگل این امکان را می‌دهد که اقدامات پیشگیرانه‌ای برای کنترل و مدیریت آفات انجام دهند و بدین ترتیب، خطرات ناشی از آن‌ها را کاهش دهند. پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های جنگلی نیز یکی دیگر از جنبه‌های حیاتی استفاده از هوش مصنوعی است. با استفاده از داده‌های اقلیمی، رطوبت خاک و سوابق آتش‌سوزی، مدل‌های هوش مصنوعی می‌توانند خطرات ناشی از آتش‌سوزی را پیش‌بینی کنند. به‌عنوان مثال، این سیستم‌ها می‌توانند نقاط بحرانی را که در معرض خطر آتش‌سوزی قرار دارند، شناسایی کنند و به مدیران جنگل این امکان را بدهند که اقدامات پیشگیرانه را اتخاذ کنند. این پیش‌بینی‌ها نه تنها به کاهش خسارات مالی بلکه به حفظ اکوسیستم‌های جنگلی نیز کمک می‌کند. به‌علاوه، چالش‌های موجود در پایش جنگل‌ها به دلیل تنوع و حجم بالای داده‌ها، نیاز به یک رویکرد یکپارچه و چندمنظوره را ایجاب می‌کند. با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین، می‌توان داده‌های مختلف را ادغام کرده و به یک مدل جامع برای پایش سلامت جنگل‌ها دست یافت. به‌کارگیری شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN) به‌عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل تصاویر هوایی، می‌تواند در شناسایی و تحلیل الگوهای تغییر در پوشش گیاهی بسیار مؤثر باشد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار نوآورانه و مؤثر در حفظ و مدیریت بهداشت جنگل‌ها عمل کند. با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته‌ای چون یادگیری عمیق و یادگیری ماشین، امکان شناسایی و تجزیه و تحلیل تهدیدات موجود به‌طور دقیق و در زمان واقعی فراهم می‌شود. این فناوری‌ها می‌توانند به مدیران جنگل کمک کنند تا با اتخاذ تصمیمات بهینه و سریع‌تر، به حفظ و ترمیم اکوسیستم‌های جنگلی در برابر تهدیدات مختلف بپردازند. علاوه بر این، برای بهره‌برداری بهینه از این فناوری‌ها، نیاز به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌ای و افزایش همکاری بین محققان، مدیران جنگل و سیاست‌گذاران وجود دارد. ادغام هوش مصنوعی با شیوه‌های سنتی مدیریت جنگل می‌تواند منجر به توسعه رویکردهای پایدار و نوآورانه‌ای شود که به حفاظت از منابع طبیعی ارزشمند کمک کرده و در نهایت به حفظ تنوع زیستی و سلامت اکوسیستم‌های جنگلی یاری رساند. نهایتاً، انتظار می‌رود که فناوری‌های هوش مصنوعی در آینده به‌عنوان یک ابزار کلیدی در پایش و مدیریت جنگل‌ها مطرح شوند. این سیستم‌ها می‌توانند به بهبود تصمیم‌گیری، افزایش دقت پایش و حفاظت از جنگل‌ها و در نهایت، حفظ تنوع زیستی و سلامت اکوسیستم‌ها کمک کنند. با توجه به چالش‌های موجود و نیاز به همکاری‌های بین‌دستگاهی، آینده‌ای روشن برای استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت جنگل‌ها پیش‌بینی می‌شود. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان الگویی برای سایر اکوسیستم‌های طبیعی در راستای حفظ و ارتقاء سلامت محیط زیست به کار رود.

- 1- Bastin, J. F., et al. (2019). "The Global Tree Restoration Potential." *Science*, 365(6448), 76-79.
- 2- Chuvieco, E., et al. (2019). "Operational Remote Sensing for Fire Management: The FireMIP Project." *Remote Sensing of Environment*, 232, 111-123.
- 3- Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421(6926), 913-919.
- 4- Gonzalez, A., et al. (2020). "UAV-Based Multispectral Imaging for Plant Health Monitoring: A Review." *Remote Sensing*, 12(4), 635.
- 5- Ghosal, S., Mukherjee, S., & Koley, S. (2023). "Application of Deep Learning Techniques for Detection of Plant Diseases: A Review." *Journal of Plant Pathology*, 105(2), 123-140. Doi: 10.1007/s42161-023-00912-5.
- 6- Flannigan, M. D., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2016). Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 350(1-3), 114-121.
- 7- Höfle, B., & Pfeifer, N. (2019). "Remote Sensing of Forests: The Role of Satellite Data for Monitoring and Management." *Forest Ecology and Management*, 433, 145-156.
- 8- Kumar, L., & Mutanga, O. (2020). "Google Earth Engine Applications for Forest Monitoring: A Review." *Remote Sensing*, 12(3), 1-20.
- 9- Kaplan, A., & Gurtner, J. (2018). Crisis Management: A Global Perspective. *Journal of Management*, 44(2), 231-255.
- 10- Khan, S., et al. (2019). Predicting forest fire occurrences using machine learning techniques: A case study of the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management*, 241, 182-192.
- 11- Li, S., Wang, Y., & Zhang, C. (2023). Forecasting forest ecosystem dynamics using machine learning techniques: A comprehensive review. *Ecological Indicators*, 145, 109651.
- 12- Liu, X., et al. (2021). "Applications of Deep Learning in Forest Fire Detection: A Review." *International Journal of Wildland Fire*, 30(2), 101-114.
- 13- Liu, Y., et al. (2020). "Predicting forest growth dynamics using deep learning." *Forest Ecology and Management*, 463, 118063.
- 14- Mao, Y., et al. (2020). A comparative study of machine learning methods for predicting forest fire occurrence. *Ecological Modelling*, 430, 109160.
- 15- Mäkelä, A., et al. (2021). "Machine Learning for Biodiversity Monitoring: A Review of Applications and Challenges." *Ecological Indicators*, 121, 107-123.
- 16- Mastrorillo, M., et al. (2016). A global assessment of the effectiveness of fire management strategies. *Ecological Applications*, 26(6), 1693-1704.

- 17- Sullivan, A. L., & Mazzoleni, C. (2020). "The Role of Machine Learning in the Future of Forest Management." *Forest Policy and Economics*, 115, 102155. doi: 10.1016/j.forpol.2020.102155.
- 18- Sahu, P., Mohanty, S. P., & Rout, S. (2023). "Machine Learning Approaches for Early Detection of Plant Diseases: A Comprehensive Review." *Agricultural Systems*, 203, 103524. doi: 10.1016/j.agry.2022.103524.
- 19- Wildlife Insights. (2023). "Using AI to monitor wildlife." Retrieved from wildlifeinsights.org
- 20- Xiang, Y., et al. (2019). Wildfire prediction using machine learning: A case study in California. *Journal of Environmental Management*, 244, 49-58.
- 21- Zhang, Y., Chen, L., & Li, P. (2022). "Deep Learning for Air Quality Prediction: A Review." *Environmental Science & Technology*, 56(5), 3150-3165. doi: 10.1021/acs.est.1c06175.
- 22- Zhang, Y., Chen, Y., & Liu, X. (2021). "Smart Sensors for Environmental Monitoring: Technologies and Applications." *Sensors*.
- 23- Zhou, Y., Zhang, J., & Chen, Y. (2020). Machine learning methods for predicting forest growth and yield: A review. *Journal of Forestry Research*, 31(4), 1481-1495.
- 24- Zhou, Y., Zhang, J., & Chen, Y. (2020). Machine learning methods for predicting forest growth and yield: A review. *Journal of Forestry Research*, 31(4), 1481-1495.