مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی
دوره پنجم، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
jaist.areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/JAIST.2023.362065.1090

کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی هوشمند اقلیم

وحید کاظم علیلو [۱]، بهاره جمشیدی [۲]

*۱- استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. (**نویسنده مسئول**) رایانامه:* v.alilou@areeo.ac.ir

۲- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: b.jamshidi@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳ تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶ صص: ۶۰-۵۱

چکیده

تغییرات اقلیمی حاصل از گرمایش زمین، برای انسان‌ها چالش‌هایی بسیار جدی ایجاد کرده است. اجرای سیاست‌های مربوط به کشاورزی هوشمند اقلیم، یکی از رهیافت‌هایی است که می‌تواند آثار منفی بحران حاصل از تغییرات اقلیمی، به‌ویژه در موضوع امنیت غذایی را کاهش دهد است. این موضوع اخیر توجه جامعه علمی را به خود جلب کرده است. هوش مصنوعی می‌تواند به حل پیچیدگی‌های پیرامون این موضوع کمک کند. در این مقاله، ضمن تبیین مفهوم کشاورزی هوشمند اقلیم و معرفی هوش مصنوعی و فن‌آوری‌های مرتبط، تلاش شده است تا با ارائه چند نمونه اجرایی و عملیاتی، کاربرد هوش مصنوعی در اجرای کشاورزی هوشمند اقلیم بررسی شود. همچنین، در این مقاله ای‌جی. بیز به‌عنوان یک سامانه تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی معرفی شده است. هدف از ای‌جی. بیز اجرای کشاورزی هوشمند اقلیم با هدف افزایش سود کشاورز و افزایش بهره‌وری با در نظر گرفتن متغیرهای آب‌وهوایی و محیطی است. نتایج نشان داده است که با استفاده از این ابزار می‌توان کشاورز را در مسیر درست و به‌سوی اهداف تعریف‌شده در کشاورزی هوشمند اقلیم هدایت کرد تا به نتایج موردانتظار دست یافت.

کلیدواژه‌ها: کشاورزی هوشمند اقلیم، هوش مصنوعی، کلان‌داده، اینترنت اشیاء، ای‌جی. بیز.

مقدمه

کشاورزی در حقیقت صنعت نخست جهان است و نقش این صنعت در پایداری جوامع بشری و توسعه اقتصادی بسیار اساسی است. شیوه تکامل این صنعت در آینده به عوامل متعددی بستگی دارد که ۱) تغییرات آب‌وهوایی، ۲) رشد جمعیت و ۳) افزایش درآمد از مهم‌ترین آن‌ها هستند.

نخستین عامل، تغییرات آب‌وهوایی است که یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی انسان عصر حاضر است. برای تحلیل دقیق وضعیت فعلی، پیش‌بینی آینده و ارائه راه‌حل‌های مناسب، در دسترس بودن حجم وسیعی از داده‌های آب‌وهوایی، اقلیمی، و غیره ضروری است تا بتوان با استفاده از ابزارهای تحلیلی هوش مصنوعی، این کلان‌داده‌ها را تحلیل کرد و تصمیم‌سازی درستی انجام داد تا تأثیرات نامطلوب تغییرات اقلیمی بر جوامع بشری به حداقل ممکن برسد. پرواضح است که انجام این مهم تنها با توسعه دانش در حوزه‌های کشاورزی، هوش مصنوعی، داده‌کاوی، آب‌وهوا، اقلیم‌شناسی، آمایش سرزمین، سنجش ازراه‌دور و سایر حوزه‌های مرتبط امکان‌پذیر است. همچنین، باید تصمیماتی گرفته شود تا بتوان از همه ظرفیت‌های علمی و اجرایی در بخش‌های خصوصی و دولتی کشور به شکل بهینه و کارآمد استفاده کرد.

تغییرات جهانی اقلیم

تغییرات اقلیمی، در حقیقت، پیامد افزایش دمای زمین و تغییر الگوهای بارندگی است. براساس گزارش سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات‌متحده[1] ، در نیم‌قرن گذشته دمای زمین به‌طور میانگین هر ۱۰ سال ۱۸/. درجه سلسیوس افزایش یافته است. این افزایش برای قاره آسیا ۳۷/. درجه سلسیوس بوده است. همچنین انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ میلادی در کشورهای درحال‌توسعه، ۲/۴ میلیارد نفر به جمعیت حاضر افزوده شود که بیشترین تمرکز این جمعیت در جنوب آسیا و جنوب صحرای آفریقا خواهد بود. در این مناطق، کشاورزی بخش کلیدی اقتصادی و محل عمده اشتغال است، اما در حال حاضر بیش از ۲۰ درصد این جمعیت با ناامنی غذایی روبرو هستند. ۷۵ درصد از جمعیت فقیر جهان در مناطق روستایی ساکن هستند و کشاورزی مهم‌ترین منبع درآمد آن‌ها است. افزایش بهره‌وری کشاورزی و درآمد در بخش‌های تولیدی کوچک، عنصر کلیدی و محرک رشد و تحول اقتصادی در محدوده گسترده‌ای از بخش‌های شهری و غیرکشاورزی است. باتوجه به افزایش تقاضا، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ میلادی باید ۷۰ درصد تولیدات کشاورزی در سطح جهانی افزایش یابد، و این افزایش به تولید و بهره‌وری بیشتری نیاز دارد (زیپر و زیلبرمن، ۲۰۱۸).

براساس آخرین برآوردهای حوزه کشاورزی، کشورهای درحال‌توسعه تقریباً ۲۲ درصد از اثرات اقتصادی حاصل از خطرها و بلاهای طبیعی، در مقیاس متوسط یا بزرگ، را به خود جذب می‌کنند. افزایش دما، تغییر در الگوی بارندگی، افزایش سطح آب دریا و حوادث شدید آب‌وهوایی ازجمله این تغییرات هستند. به گفته مجمع بین‌دولی تغییرات اقلیم[2] ، تغییرات اقلیمی بر روند تولید محصولات کشاورزی در مناطق عمده جهان اثرات زیادی داشته و اثرات منفی آن بیش از اثرات مثبت آن بوده است. این در حالی است که کشورهای درحال‌توسعه، در برابراثرات منفی تغییرات اقلیمی آسیب بیشتری می‌بینند.

پژوهش انجام‌شده در سازمان جهانی غذا و کشاورزی (فائو)[3] (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که براثر فعالیت‌های انسانی، یک‌چهارم سطح خاکی کره زمین تخریب‌شده است. امنیت غذایی به سلامت خاک وابسته است. ادامه تمدن‌های بشری از جوامع ابتدایی تاکنون نیز با سلامت خاک ارتباط مستقیم داشته و تخریب و از دست رفتن حاصلخیزی خاک، تمدن‌ها را به سقوط کشانده است. خاک سالم نه‌تنها اساس تولید غذاست

1.National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
3. Food and Agriculture Organization (FAO)

بلکه در سایر امور از قبیل کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و سلامت بوم‌سازگان[1] نقش بسیار مؤثری دارد. بااین‌وجود، تا همین اواخر به‌عنوان یک منبع طبیعی، میزان تخریب آن بسیار گسترده بوده است.

درحال‌حاضر، تکرار حوادثی مانند خشک‌سالی، بارندگی‌های سنگین، سیل و افزایش حداکثر دما شدت یافته و انتظار می‌رود در بسیاری از مناطق با شتاب بیشتری گسترش یابد. برآورد شده است که در اثر تغییرات اقلیمی، عملکرد جهانی ذرت و گندم به ترتیب به میزان ۳/۸ و ۵/۵ درصد کاهش یافته است. پژوهشگران بسیاری هشدار داده‌اند که دمای بیش از آستانه فیزیولوژیک بحرانی گیاه، سبب افزایش شیب کاهش تولید محصول خواهد شد (اولسون، ۲۰۱۵).

سیاست‌گذاری‌های تغییرات اقلیمی

در سال ۱۹۷۹ میلادی، وقتی موضوع تغییرات آب‌وهوایی در دستور کار علمی و سیاسی جهان قرار گرفت، در روش طرح مسئله و شیوه راه‌حل‌یابی برای آن تحولات سریعی ایجاد شد. گوپتا (۲۰۱۰) در مقاله پژوهشی خود، تاریخچه سیاست بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی در دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ میلادی را ارائه و این بازه زمانی را به پنج بخش تقسیم کرده است: ۱) پیش از ۱۹۹۰ میلادی، ۲) دوره منتهی به تصویب عهدنامه[2] تغییر اقلیم، ۳) دوره مقاوله نامه[3] کیوتو تا خروج ایالات‌متحده، (۴) دوره پس‌ازآن با تمرکز بر لازم‌الاجرا شدن مقاوله نامه کیوتو، (۵) دوره پس از ۲۰۰۸ که با بحران مالی هم‌زمان شد. جدول ۱ این بازه‌های زمانی و بروندادهر یک را جداگانه ارائه داده است.

جدول ۱. دستاوردهای سیاست‌های بین المللی تغییرات آب و هوایی در بازه‌های زمانی تعیین‌شده گوپتا (۲۰۱۰))

ردیف	بازه زمانی (میلادی)	دستاورد
۱	پیش از ۱۹۹۰	هیئت بین‌الدولی تغییرات آب و هوایی
۲	۱۹۹۱ – ۱۹۹۶	چارچوب عهدنامه سازمان ملل برای تغییرات آب و هوایی
۳	۱۹۹۷ – ۲۰۰۱	سازوکار توسعه پاک
۴	۲۰۰۲ – ۲۰۰۷	مقاوله‌نامه گازهای گلخانه‌ای
۵	پس از ۲۰۰۸	بودجه اقلیم سبز

با مطرح‌شدن مفهوم کشاورزی هوشمند اقلیم[4] در سال‌های ۲۰۰۸ میلادی به این‌سو، توجه بسیاری از پژوهشگران به این موضوع جلب شده است. آن‌ها برای کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی در حال گسترش، راهکارهایی ارائه کرده‌اند. در ادامه این مفهوم تشریح خواهد شد.

کشاورزی هوشمند اقلیم

در سال ۲۰۱۰ و در اجلاس لاهه با موضوع کشاورزی، امنیت غذایی و تغییرات اقلیمی، سازمان جهانی غذا و کشاورزی مفهوم کشاورزی هوشمند اقلیم را معرفی و ارائه کرد. در این اجلاس تصریح شد که اگر رویکرد حاضر درزمینه برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های رشد و توسعه کشاورزی تغییر نکند، خطرات انسانی و مالی افزایش خواهد یافت و کشاورزی به نظامی ناتوان در حمایت از امنیت غذایی بدل خواهد شد (لیپر، ۲۰۱۸). با بروز پدیده تغییرات اقلیمی، روش‌های سنتی تصمیم‌گیری برای زمان و نوع محصول قابل‌کشت دیگر نمی‌تواند نیاز کشاورز امروزی را پاسخگو باشد. باید راهکارهای جدیدی ارائه شود که با استفاده

1. Ecosystem
2. Concention
3. Protocol
4, Climate smart agriculture (CSA)

از اطلاعات دقیق، به‌موقع و کارآمد، بهره‌وری افزایش یافته و مقاومت محصول در برابر تغییرات اقلیمی بیشتر شود. کشاورزی هوشمند اقلیم مفهوم نسبتاً نوپایی است که باهدف پاسخ به این مسئله درحال‌توسعه است.

کشاورزی هوشمند اقلیم، رویکردی برای تغییر و جهت‌دهی مجدد سامانه‌های کشاورزی برای حمایت از امنیت غذایی در برابر تغییرات آب‌وهوایی است. هدف اصلی این طرح، ایجاد الگویی قابل‌اجرا در سطح جهانی در شرایط تغییرات آب‌وهوایی برای مدیریت امنیت غذایی است که می‌تواند از سیاست‌ها و توصیه‌های سازمان‌های چندجانبه‌ای مانند فائو پشتیبانی کند. کشاورزی هوشمند اقلیم با تزریق دانش تغییرات اقلیمی به بدنه راهبردهای اجرایی کشاورزی پایدار، از مواجهه با گزینه باخت-باخت جلوگیری کرده و در پاسخ به تغییرات اقلیمی، راهکارهای مبادله و اشتراک مساعی بین امنیت غذایی، سازگاری و کاهش خطرات تغییر اقلیم ـ به‌عنوان مبنایی برای سازمان‌دهی و تغییر سیاست‌گذاری‌ها از سطح مزرعه تا سطح جهانی ـ را شناسایی و پیشنهاد می‌کند. در این روش، با تلفیق گیاه، دام و زراعت جنگلی[1]، بهبود مدیریت آفات و بیماری‌ها، مدیریت جنگل‌ها و مراتع، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند کم خاک‌ورزی، استفاده از گونه‌ها و نژادهای متنوع، تلفیق درختان درون سامانه‌های زراعی، احیای زمین‌های تنزل‌یافته، بهبود کارایی مصرف آب و نهاده‌ها، بهبود عملکرد کود شامل استفاده از تجزیه‌کنندگان بی‌هوازی و غیره، در تلاش است تا تنوع زیستی، کارایی، خودبسندگی، خودتنظیمی و خوداتکایی را به سامانه‌های کشاورزی اعمال کند و از این طریق انعطاف‌پذیری را ارتقا داده و خطر ناامنی غذایی را کاهش دهد (ماتیولی و دیگران، ۲۰۲۱). به‌عبارت ساده‌تر، کشاورزی هوشمند اقلیم رویکردی است که به کشاورزان کمک می‌کند تا خود را با تغییر شرایط آب‌وهوایی سازگار کنند. این رویکرد سه هدف اصلی زیر را پیگیری می‌کند:

- افزایش پایدار بهره‌وری کشاورزی و بهبود درآمد کشاورزان؛
- ایجاد انعطاف‌پذیری و سازگاری با تغییرات اقلیمی؛
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای.

و این مهم با ایجاد سازگاری در ۱) سلامت خاک، ۲) حفظ آب، ۳) تنوع‌بخشی به محصول و ۴) نهادهای محلی قابل‌دستیابی خواهد بود.

مزایای کشاورزی هوشمند اقلیم

مطالعات موردی نشان می‌دهند که برای مقابله با تهدیدهای اقلیمی، کشاورزی با رویکرد هوشمند اقلیم روشی مؤثر و کارآمد است. نتایج موفقیت‌آمیز طرح‌های موجود نشان می‌دهند که کشاورزان، سیاست‌گذاران ملی، سازمان‌های بین‌المللی و غیره همه به استفاده از شیوه‌های توصیه‌شده با این روش در توسعه کشاورزی علاقه‌مند هستند. این مطالعات در موقعیت‌های جغرافیایی مختلفی مانند آفریقا، آسیا، آسیای مرکزی، اروپا، آمریکای لاتین، جزایر کارائیب و آفریقای شمالی و شرقی انجام‌شده است (دی پینتو و دیگران، ۲۰۲۰). به‌عنوان‌مثال در سال ۲۰۱۲ میلادی، گروه مشاوره تحقیقات بین‌المللی کشاورزی[2] طرح کشاورزی هوشمند اقلیم را در روستای ایالت هاریانا هندوستان به‌صورت آزمایشی اجرا کرد. آن‌ها با استفاده از دستگاه‌های تسطیح لیزری زمین توانستند علاوه بر حفظ منابع آبی، مصرف آب را نیز بسیار کاهش دهند.

مطالعه دیگری در کشور بوروندی[3] در آفریقا انجام شد. این کشور در منطقه گرم و خشک قرار دارد و احتمالاً گرم‌تر هم خواهد شد. البته در فصول بارندگی با بارش زیادی روبه‌رو است. بنابراین، صنعت کشاورزی باید خود را با این تغییر اوضاع وفق دهد و در دمای بیش‌تر و در زمینی که بارندگی شدید آن را از بین می‌برد، غذا تولید کند. این طرح از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ میلادی و در محدوده رودخانه کاگرا، مشترک بین بوروندی، روآندا، اوگاندا و جمهوری متحد تانزانیا، انجام شد. در این طرح

1.Agroforestry
2. Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR)
3. Burundi

و با استفاده از ابزار لادا ـ ووکت[1]، میزان تخریب زمین در نواحی خشک ارزیابی شد. سپس، با روش جذب کربن و استفاده از تنوع زیستی کشاورزی به روشی پایدار، زمین‌های تخریب‌شده بازسازی و درنتیجه با تغییرات آب‌وهوایی سازگار شدند. یک گروه مجهز، نقشه‌ها را تهیه کردند و برای تجزیه‌وتحلیل پوشش گیاهی، تنوع زیستی و کیفیت آب، اطلاعات را جمع‌آوری کردند. نتایج حاصل از این تجزیه‌وتحلیل مناطق اصلی کشاورزی را شناسایی و برای مدیریت پایدار زمین زراعی[2] مدل‌هایی ارائه شد (باراسا و دیگران، ۲۰۲۱).

علاوه‌براین، طرح‌های مختلفی در زامبیا، نیجریه، فیلیپین، بنگلادش، بالکان غربی، قرقیزستان و آمریکای مرکزی انجام‌شده است. تولید مناطق آماده کشت، افزایش بازدهی تولید و استفاده بهینه‌تر از منابع آب، حاصل انجام طرح‌ها در مناطق یادشده است.

کشاورزی هوشمند اقلیم از دیدگاه علوم رایانه

اگر از دید یک متخصص حوزه علوم رایانه به این موضوع نگاه شود، درواقع کشاورزی هوشمند اقلیم عبارت است از ارائه چارچوبی برای توسعه سامانه‌های تصمیم‌ساز در سطح مزرعه، طوری که در یک فرآیند یادگیری، سامانه بتواند برای استفاده بهینه‌تر از منابع، راهکارهای مؤثری ارائه دهد (جوشی و دیگران، ۲۰۱۹). برای دستیابی به چنین الگویی، باید با استفاده از رایانه‌های پیشرفته و کلان‌داده‌ها، تحلیل‌های هوشمندی ارائه شود. به عبارت دقیق‌تر، علم هوش مصنوعی باید در کنار فناوری‌های مرتبطی چون رایانش ابری، داده‌کاوی، کلان‌داده‌ها، و الگوسازی‌های ریاضی ارائه‌شده در حوزه کشاورزی هوشمند اقلیم قرار گیرد. خروجی دلخواه و موردانتظار از این سامانه، نه تولید اطلاعات، بلکه دانش است و این دانش در زمان مناسب، یک یا چند تصمیم را به کشاورز ارائه خواهد کرد. درواقع، داده‌های گردآوری‌شده پس از یک مرحله پردازش به اطلاعات و پس از اعمال پس‌پردازش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به پایگاه دانش منتقل خواهند شد. رکن اصلی این نوع از الگوسازی‌ها، یادگیری ماشینی است. در ادامه، هوش مصنوعی و فناوری‌های مرتبط با آن به‌اختصار معرفی خواهد شد.

هوش مصنوعی و کلان‌داده

هوش مصنوعی شاخه‌ای از علوم رایانه است که هدف اصلی آن طراحی و توسعه ماشین‌هایی است که بتوانند وظایفی را انجام دهند که هوش انسانی انجام می‌دهد. به‌طورخلاصه هوش مصنوعی بر سه اصل اساسی استوار است: یادگیری، استدلال، و ادراک. برای نیل به اهداف تعریف‌شده به حجم وسیعی از داده‌ها با عنوان کلان‌داده[2] نیاز است. کلان‌داده مجموعه‌ای بسیار بزرگ از داده‌ها است که از منابع متعددی گردآوری می‌شود. این داده‌ها می‌توانند نتایج ارزیابی عملکرد یک سازمان یا تعاملات مخاطبان آن در شبکه‌های اجتماعی باشند. جمع‌آوری، ذخیره، تحلیل و درک کلان‌داده معمولاً به روش‌های آماری و ابزارهای تحلیلی پیشرفته نیاز دارد و فراتر از توان ابزارهای مرسوم است. تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها می‌تواند بینشی ایجاد کند که به تصمیم‌گیری‌های بهتر و کشف مسیرهای راهبردی بهینه بیانجامد. به‌عنوان‌مثال، ماهواره‌ها و حسگرهای آب‌وهوایی که در مناطق مختلف کره زمین مستقر هستند، روزانه حجم عظیمی از داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند. از این داده‌ها می‌توان در پیش‌بینی آب‌وهوا، مطالعه گرمایش زمین، یافتن آب قابل شرب، درک الگوهای بلایای طبیعی و آمادگی‌های لازم در شرایط بحران در سراسر جهان استفاده کرد.

به‌دلیل حجم بالای داده‌های قابل‌دسترس نیست که کلان‌داده اهمیت دارد، بلکه اهمیت کلان‌داده به استفاده‌ای است که قرار است با این حجم از داده‌ها انجام شود. این داده‌ها می‌توانند از منابع مختلفی تأمین شوند. خروجی عملیات درنهایت باید به ۱) کاهش هزینه، ۲) کاهش زمان صرف شده، ۳) توسعه محصول جدید، ۴) ارائه پیشنهادهای بهینه، و ۵) تصمیم‌گیری هوشمندانه

1.LADA-WOCAT
2. Big-Data

بیانجامد (سانتوس و دیگران، ۲۰۱۸).

کلان‌داده و کاربرد آن در کشاورزی هوشمند اقلیم

از سال ۲۰۱۵ میلادی توجه به تغییرات آب‌وهوایی در مجامع بین‌المللی جدی‌تر شد. نخست توافق‌نامه پاریس باهدف کاهش گازهای گلخانه‌ای تدوین شد که هدف از آن، حفظ دمای متوسط جهانی در حد کمتر از ۲ درجه سلسیوس بیش از دمای متوسط زمین پیش از صنعتی شدن و حفظ دمای متوسط جهانی به‌اندازه کمتر از ۱/۵ درجه سلسیوس بیش از دمای متوسط زمین پیش از صنعتی شدن بود. در سال ۲۰۱۶ میلادی نیز طرحی با عنوان «اقدام فوری برای مبارزه با آب‌وهوا و اثرات آن» با ۱۷ هدف در سازمان ملل تعریف و تبیین شد (سباستین و دیگران، ۲۰۲۱).

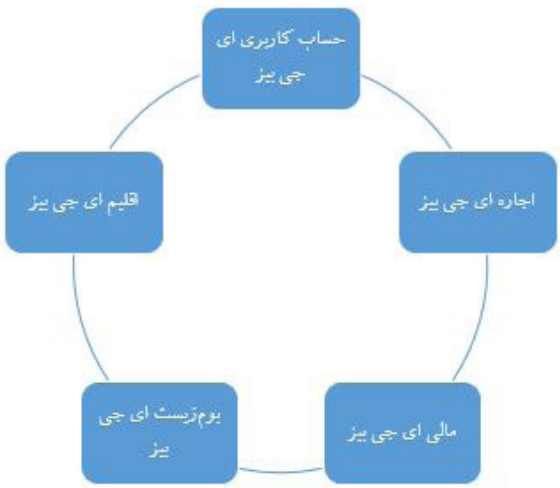
برای نیل به این اهداف، باید اطلاعات دقیق و لحظه‌به‌لحظه‌ای از داده‌های آب‌وهوایی در حجم بسیار بالا گردآوری و سپس تحلیل شود. در این رویکرد باید الگوهای بسیار پیچیده‌تری ارائه شود که در قالب کلان‌داده‌ها توسعه داده شده‌اند. درحال‌حاضر، باهدف ردگیری، درک و مدیریت ضرر و زیان در حوزه تغییرات آب‌وهوایی، ابزارهای کلان‌داده‌ای زیادی توسعه داده شده‌اند که به کمک آن‌ها می‌توان به اهداف زیر دست یافت:

- تحلیل و توصیف رابطه پویای بین طبیعت و جوامع انسانی؛
- الگوسازی عدم‌قطعیت‌ها؛
- شناسایی ویژگی‌های مرتبط با میزان آسیب‌پذیری سامانه‌های اجتماعی-محیطی؛
- تعریف حدومرزهای علمی مربوط به تغییرات اقلیمی؛
- توسعه سامانه‌های تصمیم‌ساز در راستای تطبیق بیشتر جوامع با تغییرات اقلیمی.

به‌طورکلی کلان‌داده با دو حوزه «اینترنت اشیاء[1]» و «رایانش ابری» ارتباط تنگاتنگی دارد. رایانش ابری، ذخیره‌سازی و پردازش حجم وسیعی از داده‌ها را امکان‌پذیر می‌کند و اینترنت اشیاء نیز امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری موردنیاز برای دریافت و ارسال اطلاعات از محیط‌های مختلف را فراهم می‌آورد. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین دو بال اصلی حوزه کلان‌داده هستند که با تجزیه‌وتحلیل داده‌ها امکان ارائه تصمیمات بهینه را در فضای عدم قطعیت ممکن می‌سازند (سباستین و دیگران، ۲۰۲۱).

معرفی سامانه ای‌جی. بیز[2]

ای‌جی. بیز سامانه‌ای از ابزارهای تصمیم‌ساز مبتنی بر هوش مصنوعی در حوزه کشاورزی است. این سامانه می‌تواند از تأثیرات نسبی سازگاری با تغییر، اطلاعات بهتری به کشاورزان ارائه دهد طوری که تغییر شرایط آب‌وهوایی، تغییر در سیاست‌های آینده، قیمت‌ها و هزینه‌ها در آن لحاظ شده باشد. همچنین، پژوهشگران با استفاده از این سامانه می‌توانند از چگونگی تأثیر تصمیم‌های تولیدی سامانه تصمیم‌ساز بر وضعیت نهایی کشت درک بهتری داشته باشند. شکل ۱ پنج بخش این سامانه را نشان می‌دهد که انجمن شرکت‌های کشاورزی آفریقا برای حل مسئله کشاورزی هوشمند اقلیم ارائه داده است. در ادامه کاربرد و شرح این بخش‌ها به تفکیک ارائه می‌شود.



شکل ۱. پنج بخش سامانه پیشنهادی شرکت‌های کشاورزی آفریقا برای حل مسئله کشاورزی هوشمند اقلیم

1.Internet of things (IOT)
2. AgBiz

آب‌وهوای ای‌جی. بیز: سامانه پشتیبانی تصمیم در سطح مزرعه و درعین‌حال یک ابزار ارزیابی علمی و فنی برای پژوهشگران و سازمان‌های دولتی است تا بتوانند چگونگی تغییرات آب‌وهوا و سیاست‌های تغییر آب‌وهوایی که می‌تواند بر بخش‌های مختلف کشاورزی منطقه‌ای تأثیر بگذارد را تعیین کنند.

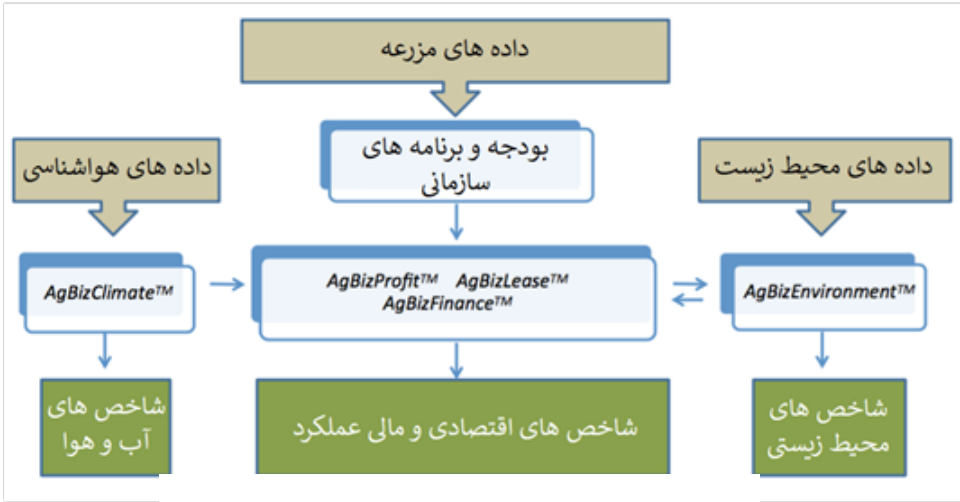
بوم‌زیست ای‌جی. بیز: با این سامانه امکان لحاظ کردن اثرات زیست‌محیطی در تجزیه‌وتحلیل تصمیمات مالی فراهم می‌شود.

حساب کاربری ای‌جی. بیز: با اندازه‌گیری مؤثر سودآوری سرمایه‌گذاری، تصمیمات مناسب برای سرمایه‌گذاری کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت را ارائه می‌کند.

اجاره ای‌جی. بیز: این سامانه امکان راه‌اندازی سامانه اجاره‌های عادلانه محصولات و دام را فراهم می‌آورد.

امور مالی ای‌جی. بیز: خروجی این سامانه ارائه تصمیمات صحیح سرمایه‌گذاری و مالی در حوزه کشاورزی است.

در شکل ۲ ساختار کلی فرآیندها، ورودی و خروجی‌های سامانه پیشنهادی نمایش داده شده است:



شکل ۲. ساختار کلی، فرآیندها و ورودی و خروجی‌های سامانه ای جی‌بیز

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، سامانه آب‌وهوای ای‌جی. بیز، داده‌های هواشناسی را پردازش می‌کند و نتایج آن را به همراه داده‌های دریافتی از مزرعه و پس از پردازش در سامانه بوم‌زیست ای‌جی. بیز و ارائه شاخص‌های زیست‌محیطی در اختیار سه زیرسامانه دیگر (حساب کاربری ای‌جی. بیز، اجاره ای‌جی. بیز، و امور مالی ای‌جی. بیز) قرار می‌دهد. باتوجه به اهداف تعریف‌شده کشاورزی هوشمند اقلیم برای دستیابی به تصمیمات بهینه، این فرآیند می‌تواند اطلاعات کافی و موردنیاز را فراهم کند. به عبارت دقیق‌تر، این سامانه با بهره‌گیری از توان محاسباتی سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و همچنین داده‌های دریافتی از محیط، می‌تواند برای دستیابی به اهداف تعریف‌شده در کشاورزی هوشمند اقلیم، در زمان مناسب تصمیمات بهینه‌ای را ارائه کند.

روش اجرا: در ابتدا گروه توسعه، اطلاعات موردنیاز را از داده‌های محیطی، آب‌وهوایی، و داده‌های سنجش ازراه‌دور استخراج می‌کند. سپس، با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی و داده‌کاوی، رابطه بین عملکرد کشاورزان و شاخص‌هایی چون میزان محصول، بازدهی، سوددهی و غیره به دست می‌آید. نتایج حاصل می‌تواند در پیش‌خوان‌های وبی نمایش داده شود. درنهایت، راهکارها در قالب توصیه‌هایی برای مدیریت بهینه مزارع در سامانه هوشمند ارائه می‌شود. پس از پیاده‌سازی کامل سامانه‌های مبتنی بر کشاورزی هوشمند اقلیم،

انتظار می‌رود سامانه بتواند بروندادهای زیر را تولید کند:

- عوامل تعیین‌کننده الگوهای بهره‌وری؛
- شاخص‌های کشاورزی هوشمند اقلیم همچون بازدهی و تاب‌آوری؛
- مثبت و منفی انحراف از میانگین؛
- میزان تولید گازهای گلخانه‌ای.

پس از انجام تحلیل‌های پیچیده، حاصل جمع این موارد به یک سامانه پشتیبان تصمیم[1] ارائه می‌شود. این سامانه درنهایت یک یا مجموعه‌ای از راهکارها را در اختیار کشاورز قرار خواهد داد.

نمونه‌های اجراشده: به‌عنوان نمونه در کلمبیا، مرکز تحقیقات بین‌المللی گرمسیری[2] داده‌های بلندمدت درباره برداشت برنج را در طول ۲۰ سال گردآوری کرده است. سپس با ترکیب الگوهای آب‌وهوایی و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها، سامانه‌ای را طراحی کرد که قادر است درباره نحوه کاشت برنج تصمیمات بهینه‌ای بگیرد. در این شیوه داده‌های آب‌وهوایی در کنار داده‌های برداشت محصول قرار می‌گیرد. سپس ماشین یادگیر با مرتبط کردن هر برداشت به‌توالی آب‌وهوایی متناظر آن در یک دوره ۱۲۰ روزه (از کاشت تا برداشت) و انجام محاسبات مربوط، امکان دستیابی به تصمیمات بهینه را فراهم می‌آورد. این موضوع با کشف همبستگی بین شاخص‌های آب‌وهوایی و متغیرهای مربوط به محصول حاصل می‌آید. متغیرهای مورداستفاده در این شیوه عبارت‌اند از:

- حداقل و حداکثر دما؛
- میزان بارش؛
- رطوبت نسبی خاک؛
- میزان تابش خورشید.

داده‌ها به کمک روش‌های یادگیری ماشینی مثل شبکه‌های عصبی مصنوعی[3]، جنگل تصادفی[4]، و روش‌های خوشه‌بندی پردازش می‌شوند. خوشه‌بندی[5] داده‌های ۱۲۰ روزه آب‌وهوایی با پنج متغیر، حدود ۱۷ نوع توالی آب‌وهوایی قابل‌تمییز و متفاوت را آشکار کرد. از تطبیق این خوشه‌ها با داده‌های محصول به‌دست‌آمده متناظر با هر خوشه و الگوسازی رابطه بین آن‌ها، می‌توان آب‌وهوای خوب و آب‌وهوای بد را از هم مجزا کرد. سپس، با پیش‌بینی آب‌وهوای فصلی، سامانه می‌تواند تاریخ بهینه کاشت برنج و حتی نوع برنج را مشخص کند. ساختار به‌کاررفته در این سامانه را به‌راحتی می‌توان برای انواع دیگر محصولات کشاورزی نیز توسعه و تعمیم داد.

جمع‌بندی و توصیه‌ها

در عصر حاضر، کشاورزان در مواجهه با پدیده تغییرات اقلیمی و آب‌وهوایی، به روش‌های بهتری برای تصمیم‌گیری درباره زمان و مکان کاشت نیاز دارند. برای دستیابی به روش‌های بهینه در حوزه کشاورزی، استفاده از ابزارهای نوین هوش مصنوعی می‌تواند بسیار پرفایده باشد. سودمندی این روش‌ها هر دو جنبه زیست‌محیطی و اقتصادی را دربر می‌گیرد. با توجه به اینکه در کشور ما ایران، بیشتر مزارع کوچک‌مقیاس هستند و درآمد حاصل از کار کشاورزی بخش عمده درآمد خانواده‌های دارای مالکیت زمینه‌ای کوچک‌مقیاس را تشکیل می‌دهد، لذا توصیه می‌شود در پیاده‌سازی سیاست‌های کشاورزی هوشمند اقلیم هم‌زمان دو مسئله افزایش درآمد و افزایش بهره‌وری در کنار هم تابع اهداف موردانتظار ما را الگوسازی کند. وقتی کشاورز از مزایای استفاده از این سامانه‌ها بهره‌مند شده و به‌کارگیری این سامانه‌ها را بپذیرد، در گام‌های بعدی می‌توان شاخص‌های مربوط به چالش‌های زیست‌محیطی و افزایش گازهای گلخانه‌ای را نیز به آن افزود. نکته مهم دیگر اینکه پیاده‌سازی شیوه‌های کشاورزی هوشمند اقلیم به کمک هوش مصنوعی می‌تواند مشکلات عدم‌قطعیت مربوط به رخدادهای آب‌وهوایی را به

1.Decision support system (DSS)
2. International Center for Tropical Agriculture (CIAT)
3. Artificial neural networks
4. Random forest
5. Clustering methods

شـــکلی قابل‌توجه کاهش دهد. در ارتباط با این موضوع دسترسی و اســـتفاده برخط از ســـامانه‌های خدمـــات آب‌وهوایی از اهمیت زیادی برخوردار اســـت. از جنبه بهره‌وری، اصلی‌ترین هدفی که در توصیه‌های کشـــاورزی هوشـــمند اقلیم دنبال می‌شـــود، مسئله مدیریت بهتر منابع آب است. این موضوع به‌ویژه در ایران، به‌دلیل کاهش بارندگی‌های اخیر، اهمیتی دوچندان دارد. با پیاده‌ســـازی این فن‌آوری می‌توان از منابع آب کشور استفاده بهینه کرد.

در راســـتای پیاده‌ســـازی اهداف تعریف‌شـــده در کشاورزی هوشـــمند اقلیم، در این مطالعه تلاش شـــد تا نمونـــه‌ای از این نوع ابزارها معرفی شـــود. به‌عنوان اقـــدام بعدی و در امتداد این فعالیت پژوهشـــی، جزئیات فنی و نحوه اســـتفاده عملیاتی از این ســـامانه اســـت که می‌تواند بررسی و پژوهش شود. هم‌چنین، می‌توان این ســـامانه و سامانه‌های مشابه را مقایسه کرد و نقاط قوت و ضعف و ویژگی‌های خاص هر یک را تعیین کرد.

منابع

Barasa, P. M., Botai, C. M., & Botai, J. O. (2021). *A Review of Climate-Smart Agriculture Research and Applications in Africa.*

CCAFS, & CIMMYT. (2014). *Climate-Smart Villages in Haryana, India.*

de Pinto, A., Cenacchi, N., Kwon, H. Y., Koo, J., & Dunston, S. (2020). *Climate smart agriculture and global food-crop production*. PLoS ONE, 15(4), 1–19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231764.

AO. (2011). *The State of the World's Land and Water Resources (SOLAW)–Managing Systems at Risk*. In,. http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf

Gupta, J. (2010). A history of international climate change policy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1*(5), 636–653. https://doi.org/10.1002/wcc.67

Joshi, H., Rani, B., Meena, D., & Mundra, S. L. (2019). *Climate smart agriculture (CSA) -building resilience to climate change. 8*(5), 124–127.

Lipper, L., McCarthy, N., Zilberman, D., Asfaw, S., & Branca, G. (2018). Climate Smart Agriculture Building Resilience to Climate Change. *In Natural Resource Management and Policy, Springer* (Vol. 52). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5_13

Matteoli, F., Schnetzer, J., & Jacobs, H. (2021). Climate-Smart Agriculture (CSA): An Integrated Approach for Climate Change Management in the Agriculture Sector. In J. M. Luetz & D. Ayal (Eds.), *Handbook of Climate Change Management: Research, Leadership, Transformation* (pp. 409–437). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57281-5_148

Olhoff, A., & Christensen, J. M. (2020). *Emissions Gap Report 2020. UNEP DTU Partnership.*

Olsson, L., Opondo, M., Tschakert, P., Agrawal, A., Eriksen, S. H., Ma, S., Perch, L. N., Zakieldeen, S. A., Cutter, S., Piguet, E., & Kaijser, A. (2015). Livelihoods and poverty. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*, 793–832. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.018

Santos, A. F. C., Teles, Í. P., Siqueira, O. M. P., & de Oliveira, A. A. (2018). Big data: A systematic review. *Advances in Intelligent Systems and Computing,* 558, 501–506. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54978-1_64

Sebestyén, V., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2021). The Applicability of Big Data in Climate Change Research: The Importance of System of Systems Thinking. *Frontiers in Environmental Science, 9*(March), 1–26. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.619092

Zipper, L., & Zilberman, D. (2018). A Short History of the Evolution of the Climate Smart Agriculture Approach and Its Links to Climate Change and Sustainable Agriculture Debates. In *Natural Resource Management and Policy* (Vol. 52, Issue SpecialIssue, p. 630). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5.

Agricultural Information sciences and Technology
Volume 5, Issue 2, Serial Number 10, Fall and Winter 2022
jaist.areeo.ac.ir

Application of artificial intelligence in climate smart agriculture

Vahid K. Aliloo[1], Bahareh Jamshidi[2]

1. Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran.

(Corresponding author) Email: v.alilou@areeo.ac.ir

2. Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran.

Email: *b.jamshidi@areeo.ac.ir*

Abstract

Climate changes caused by global warming have created very serious challenges for humans. One of the approaches that can reduce the negative effects of the crisis caused by climate change, especially in the issue of food security, is the implementation of climate-smart agriculture policies. This topic has attracted the attention of the scientific community in recent years. Artificial intelligence can help solve complexities surrounding this topic. In this article, along with explaining the concept of climate smart agriculture and introducing artificial intelligence and its related technologies, an attempt has been made to investigate the use of artificial intelligence in the implementation of climate smart agriculture by presenting some practical and operational examples. Specifically, in this paper, Ag biz is introduced as a decision-making tool based on artificial intelligence, the purpose of which is to implement climate-smart agriculture in order to increase the farmer's profit and increase productivity by considering weather and environmental variables. The results confirm the fact that using this tool, the farmer can be put on the right path towards the goals defined in climate smart agriculture in order to achieve the expected results.

Keywords: :Climate Smart Agriculture, Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, Ag biz.