مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی
سال چهارم / شماره هفتم/ بهار و تابستان ۱۴۰۰
aistj.areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/AISTJ.2021.355287.1052

نقش چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات در توسعه کشاورزی پیشرفته

مریم رحیمی جهانگیرلو*[۱]، نیکروز باقری[۲]

۱-دانش‌آموخته دکتری فناوری کشاورزی، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- عضو هیئت‌علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷

چکیده

برای دستیابی به افزایش حداکثری تولید و کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی، فناوری‌های اطلاعاتی انقلابی دیگر را رقم زده‌اند. مهم‌ترین تفاوت کشاورزی پیشرفته (یا دقیق، هوشمند و دیجیتال) با کشاورزی سنتی، چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات است. بنابراین، هدف این مقاله معرفی اجزای چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات در کشاورزی پیشرفته است. این چرخه از پنج مؤلفه اصلی تشکیل شده است: ۱) گیاه، ۲) سکوها یا سنجنده‌های سنجش‌ازدور مثل ماهواره‌ها، پهپادها و تجهیزات غیرتماسی مجهز به حسگر، ۳) داده، ۴) تصمیم‌گیری با استفاده از محاسبات هوش مصنوعی و (۵) اجرا و به‌کارگیری دستورات با استفاده از فناوری‌هایی چون فناوری نرخ متغیر. هدف اصلی این چرخه، کسب اطلاعات دقیق از نقاط مختلف یک سامانه کشاورزی برای تصمیم‌گیری هوشمند است. این چرخه امکان جمع‌آوری داده‌های عینی و تصمیم‌گیری هوشمند را برای اجرای کشاورزی پیشرفته فراهم می‌آورد. درواقع، کشاورزی پیشرفته بر پایش و تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مکانی ـ زمانی استوار است و این اصل از وجود ناهمگونی در مزرعه ناشی می‌شود. نقش مؤلفه‌های چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات، شناسایی این ناهمگونی‌ها (تفاوت در شیب زمین، ارتفاع، عناصر مغذی خاک، آفات و علف‌های هرز، رطوبت، شوری (EC)، PH، ماده آلی و یا حتی عملکرد) و کمک به مدیریت آن‌ها به روشی دقیق و هوشمند در بخش‌های مختلف عرصه تولید است.

کلیدواژه‌ها: فناوری کشاورزی، پهپاد، سنجنده، کشاورزی دقیق، مدیریت هوشمند.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک : maryamrahimi204@gmail.com

مقدمه

در قرن حاضر، بخش کشاورزی در حال تحولی شگرف است. بخش زیادی از این تحول را فناوری‌های نوین هدایت می‌کنند. این تحول بسیار امیدوارکننده به‌نظر می‌رسد، زیرا با گذار از این بخش، کشاورزی آینده می‌تواند به بهره‌وری و سودآوری حداکثری در تولید محصولات کشاورزی برسد (سایز روبیو[1] و همکاران، ۲۰۲۰). درواقع، برای دستیابی به افزایش تولید و کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی، بشر در قرن حاضر می‌کوشد با استفاده از فناوری‌های نوین، انقلاب دیگری را رقم بزند.

کشاورزی دقیق[2]، ازجمله مفاهیم قابل‌توجه در عصر حاضر است و تاکید دارد که روش‌های مدیریتی باید براساس مشاهده، اندازه‌گیری و پاسخ متغیرهای درون‌مزرعه‌ای اجرا شوند. کشاورزی دقیق، کشاورزی بر پایه فناوری اطلاعات و در چارچوب اصول توسعه پایدار است که هدف آن افزایش بهره‌وری و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی است. ازاین‌رو می‌کوشد با جمع‌آوری اطلاعات مکانی و ذخیره و پردازش آن، کاربرد بهینه عوامل و نهاده‌های تولید را میسر سازد (باقری و بردبار، ۱۳۹۲). درواقع، هدف از تحقیقات کشاورزی دقیق، تعیین سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری[3] برای مدیریت هر جزء (پیکسل) از مزرعه درراستای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید و دستیابی به افزایش پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی است (میلا[4] و همکاران، ۲۰۱۹). بدین منظور، کشاورزی دقیق با بهره‌گیری از روش‌های تصویربرداری و سنجش‌ازدور می‌تواند از خصوصیات خاک، طبقه‌بندی گونه‌های زراعی، تشخیص تنش خشکی در گیاهان، پایش علف‌های هرز و بیماری‌های زراعی و پیش‌بینی عملکرد، نقشه‌هایی را ارائه دهد و مدیریت کشاورزی را بهبود بخشد. درواقع، سنجش‌ازدور، جزء مهم کشاورزی دقیق است.

کشاورزی هوشمند[5] را کاربرد فناوری‌های اطلاعاتی و داده‌محور برای کمّی‌کردن و ساده‌سازی پاسخ سامانه‌های کشاورزی تعریف کرده‌اند. برخلاف کشاورزی دقیق، کشاورزی هوشمند بر اندازه‌گیری دقیق یا تعیین تفاوت بخش‌های مختلف مزرعه یا میان حیوانات (دام، طیور، آبزیان) تکیه ندارد، بلکه بر دسترسی به داده‌ها و کاربرد آن‌ها و استفاده هوشمندانه از اطلاعات جمع‌آوری‌شده تاکید بیشتری دارد (گیزلر[6]، ۲۰۱۹). کشاورزی هوشمند از ادغام فناوری اطلاعات و ارتباطات در ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی و حسگرها برای استفاده در نظام‌های تولید کشاورزی حاصل می‌آید (باقری و بردبار، ۱۳۹۲). در یک نظام هوشمند، از فناوری‌های مختلف هوش مصنوعی (ازجمله شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، ماشین بینایی، داده‌کاوی و نیز فناوری‌هایی مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی، آدم مصنوعی، سنجش‌ازدور، فناوری‌های موقعیت‌یاب و غیره) استفاده می‌شود. همچنین، فناوری‌های جدیدی مانند اینترنت اشیاء و فضای ذخیره‌سازی ابری نیز برای پیشبرد این حوزه استفاده می‌شود که موجب ورود ربات‌ها و هوش مصنوعی به عرصه کشاورزی شده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۸).

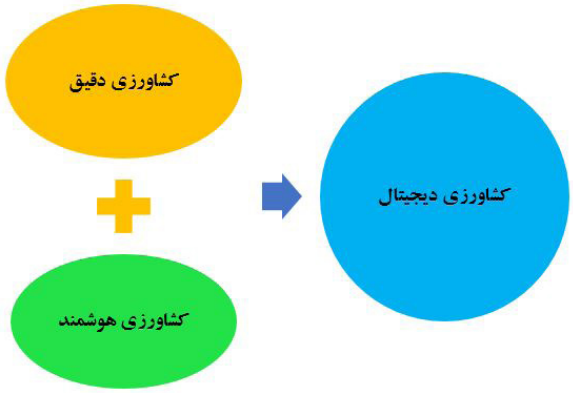
کشاورزی دیجیتال[7] مفهومی است که هر دو نوع کشاورزی دقیق و هوشمند را در خود دارد و از آن‌ها استفاده می‌کند. درواقع، کشاورزی دیجیتال استفاده مداوم از روش‌های کشاورزی دقیق و هوشمند، شبکه‌های داخلی و خارجی مزرعه و استفاده از سامانه عامل‌های داده مبتنی بر وب[8] همراه با تجزیه‌وتحلیل کلان داده[9] است (بریا[10]، ۲۰۲۰). به‌عبارت‌دیگر، در کشاورزی دیجیتال، هدف تعیین ارزش و مفهوم داده‌های به‌دست‌آمده ازطریق سامانه‌های هوشمند برای توسعه هوش عملی و ارزش‌افزوده در یک مجموعه کشاورزی است (گیزلر، ۲۰۱۹).

به‌طورکلی، به هر سه نوع کشاورزی دقیق، هوشمند و دیجیتال، کشاورزی پیشرفته[11] گفته می‌شود و فناوری اطلاعات[12] اساس همه آن‌ها است (شکل ۱). هدف نهایی همه آن‌ها، مدیریت مبتنی بر اطلاعات[1] است (سایز روبیو و همکاران، ۲۰۲۰). فناوری

1. Saiz-Rubio
2. Precision Agriculture
3. Decision Support System (DSS)
4. Milella
5. Smart Agriculture
6. Giesler
7. Digital Agriculture
8. Web-based data platforms
9. Big Data
10. Beriya
11. Advanced agriculture
12. Information Technology (IT)

اطلاعـات به همه فناوری‌هایی اشـاره می‌کند که در شـش حوزه جمع‌آوری، ذخیره‌سـازی، پـردازش، حفاظت، انتقـال و نمایش اطلاعات کاربرد داشـته و اثرگذار هستند و به‌عنوان ابزار بسترساز اطلاع‌رسـانی، بزرگ‌ترین فرصت برای توسـعه بخش کشاورزی است. در شرایط کنونی کشور، استفاده از این فرصت ـ که به ابزار، دانش و مهارت نیاز دارد ـ یکی از اساسـی‌ترین ضرورت‌هاسـت (باقری، ۱۳۹۸).

فناوری کشاورزی[2]، دانش استفاده از فناوری در کشاورزی، باغـداری و پـرورش آبزیان با هدف بهبود عملکـرد، کارایی و سـودآوری اسـت. فناوری کشـاورزی می‌تواند یک محصول، یک خدمت، و یا یک نرم‌افزار یا برنامه کاربردی برای اسـتفاده در سـامانه کشـاورزی باشـد که فرآیندهای مختلـف ورودی/ خروجی را در یک سـامانه بهبود می‌بخشد (فنّاوری کشاورزی، ۲۰۲۰). درواقع، ارائه راهکار، تجهیزات و برنامه برای پیشـرفت کشاورزی، وظیفه متخصصان فناوری کشاورزی است. در سالیان گذشته، این رشته تحصیلی در دنیا معرفی و موردتوجه قرار گرفته اسـت. در سال‌های گذشته در ایران نیز رشته فناوری کشاورزی، به‌عنوان یکی از رشـته‌های گـروه کشـاورزی و منابع طبیعی و زیرمجموعـه زراعت و اصـلاح نباتات معرفی شـده بود. گروه فناوری کشـاورزی دانشگاه هلسـینکی فنلاند، هدف از تحصیل در این رشـته را فراگیری دانش و مهارت استفاده از فناوری‌های نوین در کشـاورزی و انجام زراعت در قالبی فناوری‌محور بیان کرده اسـت. در فنـاوری کشـاورزی و برای افزایـش پایداری زیسـت‌محیطی و اقتصـادی عملیـات کشـاورزی، بـه مباحثی مانند خودکارسازی ماشین‌آلات، سـامانه‌های اطلاعاتی، هوش مصنوعی و کشـاورزی دقیق و هوشـمند تاکید ویژه‌ای می‌شود (ناشناس، ۲۰۲۱). با توجه به موارد مطرح‌شده، هدف از این مقاله بررسـی نقش چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات در توسـعه کشاورزی پیشرفته اسـت. برای آشنایی اولیه با برخی کاربردهـای فناوری سـنجش از دور در کشـاورزی پیشـرفته، پیش‌بینی می‌شـود مطالب ارایه شده بتواند برای استفاده در رشته فناوری کشاورزی مقدمه‌ای را فراهم آورد.

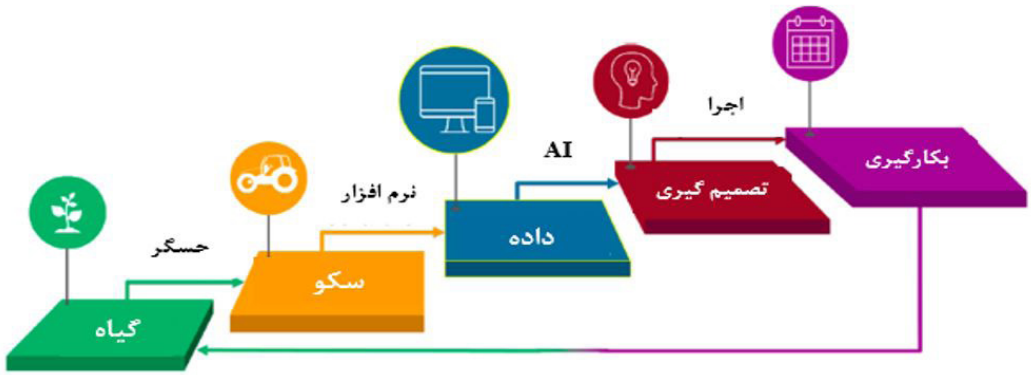


شکل ۱. کشاورزی دیجیتال، ترکیب کشاورزی دقیق و هوشمند

اجزای مختلف چرخه مدیریت مبتنی بر فناوری اطلاعات در کشاورزی پیشرفته (تعاریف، ابزارها و کاربردها)

در شـکل ۲ چرخـه مدیریـت مبتنـی بر فنـاوری اطلاعات در مزرعه نشـان داده شده است. مطابق شـکل ۲، چرخه سامانه تصمیم‌گیری هوشـمند از یک «گیاه» یا یـک «حیوان» مثل دام شـروع می‌شود. پس از انتقال به سـکو به واسطه حسگر، از داده در تصمیم‌گیری و اجرا اسـتفاده می‌شود که در ادامه، هر یک را توضیح خواهیم داد.

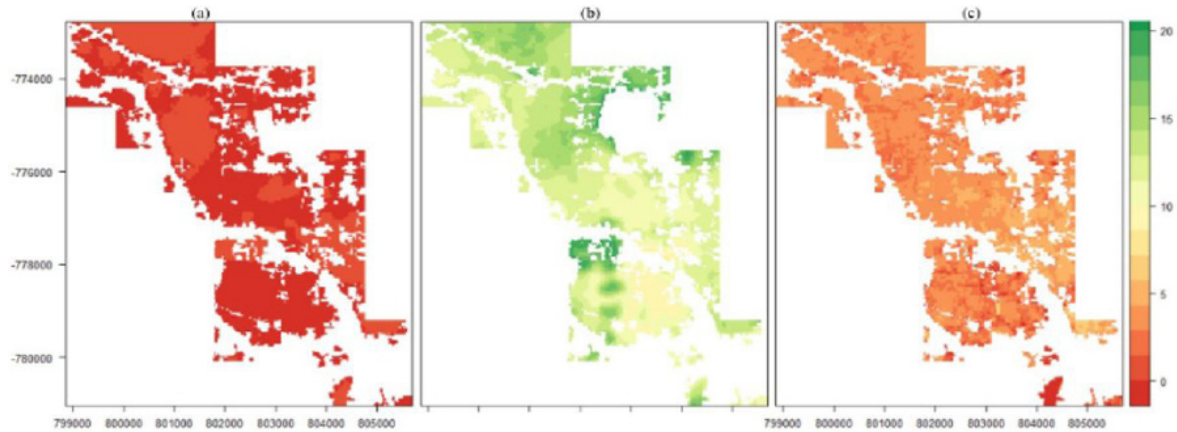
1. Information-based management
2. Agricultural technology or Agrotechnology



شکل ۲. چرخه مدیریت مبتنی بر فناوری اطلاعات در کشاورزی پیشرفته (سایز روبیو و همکاران، ۲۰۲۰)

انتخاب گیاه و منطقه موردبررسی

براســاس شــکل ۲، چرخه ســامانه تصمیم‌گیری هوشمند از «گیاه» شــروع می‌شــود. البته باید تنوع درونــی جامعه گیاهی یا جانوری ـ هم ازنظر زمانی و هم ازنظر مکانی ـ در نظر گرفته شود. در چرخه مدیریت هوشمند کشــت گیاه، تغییرات مکانی برخی عوامل اثرگذار مثل تغییــرات آب‌وهوایی در طول یک فصل یا در طول سال‌ها ـ جدای از چگونگی مدیریت کشت ـ باید در نظر گرفته شوند. درنتیجه، ممکن است به داده‌های متعلق به چند سال نیاز باشــد تا بتوان روند تغییرات متغییرها را تعیین کرد. ازاین‌رو، هر داده محیطی که رشــد گیاه را تحــت تأثیر قرار دهد، ازجمله ورودی‌های مهم این چرخه اســت. اصل پایش رشــد و عملکرد محصــولات از وجــود ناهمگونی در مزرعه ناشــی می‌شــود و ضروری است تا کشاورزان این ناهمگونی را به روشی عملی در حوزه‌های مختلف مدیریت کنند. تفاوت در شیب زمین، ارتفاع، عناصــر مغذی خاک، آفات و علف‌های هرز، رطوبت، شــوری (EC)، PH، مــاده آلی و یا حتی ســطح تولید و عملکرد می‌توانند عامــل ایــن ناهمگونی‌ها باشــند. به‌عنوان‌مثال، مناطــق مدیریتی همگــن[1] می‌توانند در یک زیرمجموعه قرار بگیرند. بنابراین، در این مناطق می‌توان اقدامات میدانی و مدیریتی یکسانی اعمال کرد (سرسی[2]، ۲۰۱۹). در پژوهشی، نقشه تغییرات رطوبت، شوری و pH خاک در شالیزارهای سه منطقه در اندونزی تعیین شد (غزالی و همکاران، ۲۰۲۰). نقشه رطوبتی تهیه‌شده در این مطالعه، در سه دوره قبل از برداشت، پس از برداشت و قبل از کاشت، در شکل ۳ نشان داده شــده است (غزالی و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین در



شکل ۳. وضعیت رطوبت خاک در شالیزارهای سه منطقه منتخب در اندونزی، درست قبل از برداشت (الف)، بلافاصله پس از برداشت (ب)، و قبل از کاشت (ج). رنگ تیره و مقدار زیاد نشان می‌دهد که رطوبت خاک زیاد است. رنگ روشن و مقدار کم نشان می‌دهد که رطوبت خاک کم است. هر دو تصویر از تصاویر لندست ۸ گرفته شده است (a =09/29/2014، b =10/15/2014، c =10/31/2014)، (منبع: غزالی و همکاران، ۲۰۲۰)

1. Homogenous
2. Searcy

پژوهشی دیگر، باقری و همکاران (۱۳۹۰) نقشه تغییرات نیتروژن محصول ذرت علوفه‌ای شهرستان پاکدشت در جنوب استان تهران را تهیه کردند. براساس این نتایج، مزارع در سه سطح نیتروژن زیاد (۳-۲٫۵ درصد)، متوسط (۲٫۵ -۲ درصد) و کم (۲-۱ درصد) طبقه‌بندی شدند. این پژوهشگران اعلام کردند که با توجه به تغییرات زیاد نیتروژن در مزارع، مدیریت دقیق توزیع کود نیتروژن ضروری است.

مرحله دوم: انتخاب سنجنده‌ها

«سنجنده» یک مفهوم فیزیکی است که با استفاده از «حسگر»، اطلاعات دریافت می‌شود. سنجنده دستگاهی است که یک ویژگی فیزیکی را شناسایی یا اندازه‌گیری می‌کند و یا به آن پاسخ می‌دهد و با به دست‌آوردن اطلاعات عینی می‌تواند امکان نظارت بر رشد و عملکرد محصولات را فراهم آورد. تقسیم‌بندی انواع سنجنده‌های مورداستفاده در کشاورزی پیشرفته در جدول ۱ نشان داده شده است. معمولاً سنجنده‌ها به انواع ماهواره‌ای، هوایی و زمینی تقسیم می‌شوند. انواع هوایی به سنجنده‌های باسرنشین و بدون سرنشین (هواپیماها و پهپادها) تقسیم می‌شوند. انواع زمینی سنجنده‌ها، یا در نقاط مختلف مزرعه به‌صورت متحرک مورداستفاده قرار می‌گیرند و یا در ایستگاه‌های هواشناسی محلی در زمین ثابت می‌شوند. درحالی‌که هزینه‌های زیاد و دسترسی محدود به تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در کشاورزی را محدود می‌کند، پهپادها با قدرت تفکیک مکانی بالا می‌توانند جایگزین ارزان‌تر و کاربردی‌تری برای ماهواره‌ها و هواپیماها باشند (باقری، ۱۳۹۹).

جدول ۱. تقسیم‌بندی انواع سنجنده‌ها و کاربرد آن‌ها در کشاورزی پیشرفته

سکو	تعریف	مثال و کاربرد در کشاورزی پیشرفته	دیگر کاربردها
ماهواره ها	ماهواره‌های نوری سنجش‌ازدور ابزاری هستند که با جمع‌آوری انرژی الکترومغناطیس و اشعه مادون‌قرمز منعکس‌شده از سطح زمین، با استفاده از حسگرها و دوربین‌ها (مرئی، چندطیفی و فراطیفی)، اطلاعات مربوط به پدیده‌های مختلف را جمع‌آوری و ثبت می‌کنند.	لندست ۱ (۱۹۷۲-۱۹۷۸): پایش رشد گیاهی لندست تی ام ۵، لندست ۷ و لندست ۸ (۱۹۸۴ تاکنون): پایش عملکرد و رشد گیاه AVHRR (۱۹۷۹ تاکنون): مدیریت مواد مغذی، ایکونوس (۱۹۹۹-۲۰۱۵): پایش خصوصیات خاک، مدیریت تغذیه‌ای و تخمین تبخیر-تعرق	نظارت بر خاک، پوشش برف، خشکسالی، پایش رشد و شاخص‌های گیاهی، سطح و الگوی کشت محصولات، ارزیابی میزان و زمان بارندگی، پایش وضعیت تغذیه‌ای گیاهان، آفات و بیماری‌ها
هوایی	سامانه‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری‌های عمیق‌تر و دقیق‌تر، نسبت به ماهواره‌ها، از قابلیت بیشتری برای نزدیک شدن به هدف برخوردارند و معمولاً تصاویر در دسترس و مقرون به‌صرفه‌تری را در اختیار کاربر قرار می‌دهند. سکوهای باسرنشین همچون هواپیماها و بالگردها، و بدون‌سرنشین همچون وسایل هوایی بی‌سرنشین و هواپیماهای قابل‌کنترل از راه دور ازجمله سامانه‌های سنجش‌ازدور هوایی هستند.	DJI's AGRAS MG-S1 (پهپاد سم‌پاش) Delair UX11Ag و SenseFly eBee SQ (پهپاد نقشه‌بردار) Matrice M210 با Zenmuse XT2 (پهپاد با قابلیت تصویربرداری حرارتی برای پایش تنش خشکی)	گرده‌افشانی و سم‌پاشی محصولات کشاورزی برای کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، محاسبه و ارزیابی شاخص‌های گیاهی همچون سبز بودن گیاه یا زیست توده فعال سبزینه، تنش‌یابی
زمینی (تجهیزات سنجش غیرتماسی[3])	مجموعه فناوری‌هایی هستند که با استفاده از یک حسگر و در تماس نزدیک یا مستقیم با نمونه (خاک، آب، گیاه، هوا) اطلاعات را ثبت می‌کنند و به سه گروه دستی، آزاد ایستا در مزرعه، و سوارشونده بر تراکتور یا ماشین‌آلات مزرعه تقسیم می‌شوند.	حس‌گر خاک هیدروپروب ۲: (اندازه‌گیری دمای خاک، سطح شوری، رطوبت خاک، رسانایی)، Field scout CM1000TM (اندازه‌گیری فتوسنتز)، TPS-2 portable photosynthesis (اندازه‌گیری فتوسنتز، رطوبت گیاه، CO2)، SPAD (اندازه‌گیری غیرتخریبی شاخص سبزینگی یا غلظت سبزینه)	اندازه‌گیری دما، رطوبت و فشار هوا، سرعت باد، سطح هیدروژن در گیاه،

باقری، ۱۳۹۹؛ سیشودیا[4] و همکاران، ۲۰۲۰؛ شفیع و همکاران، ۲۰۱۹

1. Unmanned Aerial Vehicles
2. Remotely-Piloted Aircrafts
3. Proximal sensing
4. Sishodia

یکی از مهم‌ترین چالش‌های فناوری کشاورزی در چند سال آینده، تهیه طیف وسیعی از حسگرها با قابلیت اندازه‌گیری غیرتخریبی[1] است که می‌توانند در حال حرکت اندازه‌گیری کنند. زیرا این حسگرها می‌توانند به سنجنده‌های خودکار و ربات‌ها متصل شوند. درحال حاضر، نمی‌توان همه شاخص‌های موردنیاز در مزرعه را به شکل غیرتخریبی و با فاصله از هدف اندازه‌گیری کرد. بااین‌حال، برخی از فناوری‌ها مانند تصویربرداری چندطیفی[2] یا فراطیفی[3] پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند. سنجنده‌های نوری غیرتماسی[4] یک روش کارآمد، غیرتخریبی و ارزان برای ارزیابی سریع و دوره‌ای وضعیت رشد محصولات هستند. یکی از مهم‌ترین سنجنده‌های غیرتماسی مورداستفاده، دستگاه اسپد است. وقتی حسگرهای این دستگاه در تماس با محصول یا نزدیک آن قرار می‌گیرند، می‌توانند به‌طور غیرمستقیم و ازطریق ارزیابی برخی شاخص‌ها مانند اندازه‌گیری بازتاب طیف فلورسانس، محتوای سبزینه یا جذب نور را تخمین بزنند. ازاین‌رو، به وضعیت نیتروژن در گیاه حساس هستند (پادیلا[5] و همکاران، ۲۰۱۹).

مرحله سوم: جمع‌آوری داده‌ها

«داده‌ها» عناصری هستند که مستقیماً از شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده از محصول، خاک یا محیط به‌دست می‌آیند. داده، جزء اصلی و لاینفک تصمیم‌گیری دقیق در کشاورزی پیشرفته است. به روش‌هایی مثل قراردادن کارت حافظه در شکاف تعبیه‌شده، استفاده از نرم‌افزارهای اینترنت اشیا[6] با قابلیت هماهنگ شدن با سکو و غیره می‌توان داده‌ها را از حسگرها دریافت کرد (رویرا- ماس[7]، ۲۰۱۹). در مرحله تصمیم‌گیری و با استفاده از محاسبات هوش مصنوعی[8]، فرآیند پالایش[9] داده انجام می‌شود تا بتوان با تبدیل داده به اطلاعات، به «تصمیم‌گیری» صحیح کارشناسان زراعی و «به‌کارگیری» این اطلاعات در مدیریت محصول کمک کرد (سایز روبیو و همکاران، ۲۰۲۰). با استفاده از داده‌های چندمرحله‌ای و چندساله از اجزای مختلف یک سامانه کشاورزی و ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پردازش داده، می‌توان عملکرد محصول را با دقت زیاد پیش‌بینی کرد. داده‌های ورودی موردنیاز در کشاورزی دقیق، در چهار مجموعه داده‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و جغرافیایی/ مکانی طبقه‌بندی شده‌اند که در شکل ۴ به اختصار نشان داده شده است (یوزری[10] و همکاران، ۱۹۹۵، سایز روبیو و همکاران، ۲۰۲۰). بهترین و رایج‌ترین روش برای نمایش داده‌های کشاورزی، ارائه آن‌ها در قالب نقشه‌ها است. بااین‌حال، هدف از تولید نقشه، نمایش اطلاعات زراعی در ساختاری زیبا نیست: نقشه‌ها باید برای تصمیم‌گیری مفید باشند. آن‌ها باید در پاسخ دادن به پرسش کمک کرده و اطلاعات مکانی را تفسیر کنند (براس[11]، ۲۰۰۶). هدف از تولید نقشه‌ها، دستیابی به چند منطقه مدیریتی با شاخص‌های تعریف شده است تا بتوان از آن برای ارائه یک راه‌حل استفاده کرد. برای دستیابی به مناطق مدیریتی قابل‌قبول، از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود (بوتافوکو و لوکا[12]، ۲۰۱۶). هم‌چنین ازجمله برنامه‌های کاربردی مدیریت داده در مزرعه می‌توان به نرم‌افزارهای فارمبریت[13] تولیدی شرکت فاربریت از کلرادو آمریکا، و فارم کامند[14] محصول شرکت فارمرز اج[15] مانیتوبا در کانادا اشاره کرد. در پژوهش سایز روبیو و همکاران (۲۰۲۰)، مجموعه کاملی از سامانه‌های کاربردی مدیریت داده گزارش شده است.

1. Non-invasive
2. Multispectral
3. Hyperspectral
4. Proximal optical sensors
5. Padilla
6. Internet of Things (IoT)
7. Rovira-Más
8. Artificial Intelligence (AI)
9. Filtering routines
10. Usery
11. Brasse
12. Buttafuoco and Lucà
13. Farmbrite
14. Farm command
15. Farmers Edge

شکل ٤. داده‌های ورودی اصلی موردنیاز در کشاورزی دقیق (یوزری و همکاران، ۱۹۹۵، سایز روبیو و همکاران، ۲۰۲۰)

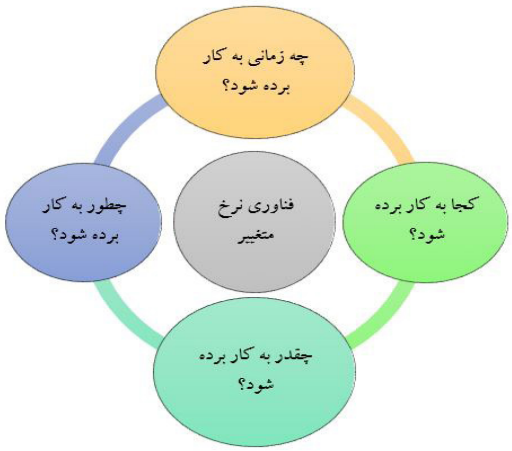
مرحله چهارم: تصمیم‌گیری

در کشاورزی پیشرفته، کشاورزان با مجموعه پیچیده‌ای از داده‌ها روبرو هستند که برای تفسیر و تصمیم‌گیری براساس آن‌ها باید از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری استفاده کنند. با استفاده از روش‌هایی مثل یادگیری عمیق یا شبکه‌های عصبی، منطق فازی، محاسبات ژنتیکی یا سامانه‌های خبره[1]، هوش مصنوعی در چنین مواردی می‌تواند راهگشا باشد. هوش مصنوعی، با قابلیت‌های مدل‌سازی و استدلال خود، می‌تواند در کشاورزی نقش مهمی داشته باشد و به داده‌ها و روابط ریاضی موجود معنی بخشد. سامانه‌های خبره، برنامه‌های هوشمندی هستند که شیوه تفکر یک متخصص در یک زمینه خاص را شبیه‌سازی می‌کنند. درواقع این نرم‌افزارها، الگوهای منطقی که یک متخصص براساس آن‌ها تصمیم‌گیری می‌کند را شناسایی کرده و براساس آن الگوها، همانند انسان‌ها تصمیم‌گیری می‌کنند (سایز روبیو و همکاران، ۲۰۲۰). براساس تحقیقات انجام‌شده، بیشترین کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه کشاورزی پیشرفته، استفاده از آدم مصنوعی کشاورزی مانند پهپادها، پایش ویژگی‌های خاک، گیاهان و تنش‌یابی، و نیز پیش‌بینی تأثیر عوامل محیطی همچون تغییرات آب و هوایی بر رشد و عملکرد محصولات بوده است (الی-چوکو[2]، ۲۰۱۹).

مرحله پنجم: به‌کارگیری و اجرا

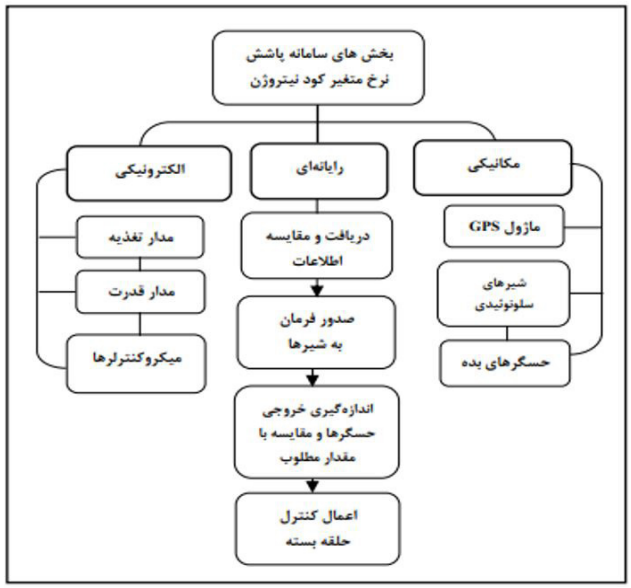
همان‌طور که پیش‌ازاین نیز اشاره شد، در کشاورزی پیشرفته، هدف به‌دست آوردن اطلاعات زراعی با استفاده از فناوری‌های هوشمند و تولید داده های فراوان نیست بلکه داده‌ها باید بتوانند در سطح عملیاتی و در راستای کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش عملکرد محصول استفاده شوند. درنتیجه، آخرین مرحله از چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات، مرحله عمل و اجرای برخی اقدامات درخصوص محصول مرتبط به آن است. این مرحله می‌تواند برخط (آنلاین) یا برون‌خطی (آفلاین) اجرا شود. در این مرحله، برای اجرایی کردن تصمیمات ازسوی کشاورزان، به تجهیزات پیشرفته‌ای نیاز است که بتوانند از یک واحد کنترل رایانه‌ای دستورات را دریافت کنند (توپ[3]، ۲۰۱۹). فناوری نرخ متغیر یکی از اجزای استفاده شده در کشاورزی پیشرفته است. فناوری نرخ متغیر به فناوری کاربرد متغیر نهاده‌ها ازسوی دستگاه اطلاق می‌شود. امروزه از فناوری نرخ متغیر برای تعیین میزان استفاده از کود و آهک، سم‌پاشی سموم دفع آفات یا سایر مواد شیمیایی، پخش کود و بذر مزارع زراعی، زراعت، تعیین نیاز به آبیاری و تشخیص علف‌های هرز یا محصولات بیمار استفاده می‌شود (احمدی و مهدی، ۲۰۱۸). فناوری نرخ متغیر با پاسخگویی به چهار پرسش اساسی (شکل ۵) در استفاده از یک نهاده، علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، به افزایش سودآوری اقتصادی سامانه‌های کشاورزی نیز کمک می‌کند.

1. Expert system
2. Eli-Chukwu
3. Tobe



شکل ۵. چهار عمل اصلی یک فناوری نرخ متغیر برای مدیریت مصرف نهاده‌های زراعی در کشاورزی پیشرفته

به‌عنوان مثال، یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نرخ متغییر، کاربرد سموم براساس منطقه، مکان و شرایط خاک منطبق با ویژگی‌های مهمی مانند تغییر در آلودگی و تراکم علف‌های هرز و در کاربرد علف‌کش‌ها پیش و پس از رشد این علف‌ها است. فناوری نرخ متغییر به کشاورزان امکان می‌دهد تا علف‌های هرز را با کارایی بیشتر و بدون استفاده کمتر یا بیشتر از علف‌کش‌ها، کنترل کرده و خطرات زیست‌محیطی را کاهش دهند (دا کاستا لیما و مندس[1]، ۲۰۲۰). سامانه‌های فناوری نرخ متغییر از بسیاری جهات می‌توانند متفاوت باشند، اما دارای اجزای مشترکی هستند. بخش اصلی این سامانه‌ها از پنج مؤلفه یا جزء تشکیل شده است: گیرنده جی پی اس برای مکان‌یابی و جهت‌گیری ماشین‌آلات در زمان استفاده، رایانه‌ای که پردازش داده را انجام می‌دهد، نرم‌افزاری با قابلیت برقراری ارتباط با داده‌های جمع‌آوری‌شده در منطقه و تعیین دوز مصرفی علاوه بر کنترل‌کننده‌هایی که وظیفه تغییر جریان و فشار مخزن اسپری را بر عهده خواهند داشت (گریسو و الی[2]، ۲۰۱۱). در شکل ۶، بخش‌های اصلی یک سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع، که باقری و همکاران (۱۳۹۱) آن را طراحی و ساخته‌اند نشان داده شده است.



شکل ٦. بخش‌های اصلی سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع، طراحی و ساخت توسط باقری و همکاران، (۱۳۹۱)

1. da Costa Lima and Mendes
2. Grisso and Alley

جمع‌بندی نهایی

در قرن حاضر، بخش کشـاورزی به دلیل اسـتفاده از فناوری اطلاعات در حال تحولی شگرف است. هدف فناوری اطلاعات، تهیـه داده‌هـای دقیـق از نقاط مختلف یک سـامانه کشـاورزی و مدیریـت آن‌ها بر مبنـای چرخه مدیریت زراعی با اسـتفاده از فناوری اطلاعات اسـت. این چرخه امـکان جمع‌آوری داده‌های عینی و تصمیم‌گیری هوشـمند را برای کشاورزان فراهم می‌آورد و از پنج مؤلفه اصلی تشـکیل شـده اسـت: گیاه، سـنجنده‌های ماهواره‌ای، هوایی و زمینی مجهز به حسگر، داده، تصمیم‌گیری با استفاده از الگوریتم‌هایی مثل هوش مصنوعی و اجرا و به‌کارگیری دسـتورات با اسـتفاده از فناوری‌هایی مثل فناوری نرخ متغیر. در سـال‌های گذشته سنجنده‌هایی چون ماهواره‌ها و پهپادها، به یکی از مهم‌ترین عناصر کشـاورزی پیشرفته مبدل شده‌اند. درحالی‌که هزینه‌های زیاد و دسترسی محدود به تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در کشـاورزی را محدود می‌کنـد، پهپادها با قدرت تفکیک مکانی بالا می‌توانند جانشـین ارزان‌تـر و کاربردی‌تـری برای ماهواره‌هـا و هواپیماها باشـند. براسـاس این چرخه و ابزارهای آن همچون پهپادها و دوربین‌های چندطیفی و فراطیفی، سـامانه‌های هوشمند می‌توانند محصولات را به روشی بهینه مدیریت کنند. مهم‌ترین دستاورد آن‌ها، کاهش اثرات زیسـت‌محیطی مصرف نهاده‌ها و افزایش عملکرد ازطریق تعیین میزان و زمان دقیق مصرف است. آشنایی با مؤلفه‌های چرخه مدیریت مبتنی بر فناوری اطلاعات می‌تواند مقدمه‌ای بر آشنایی با این فناوری‌ها و توسعه به‌کارگیری آن‌ها در پژوهش‌های فناوری کشـاورزی برای بهینه‌سازی و هوشمندسازی روش‌های مدیریت زراعی و حرکت به‌سوی کشاورزی پیشرفته در کشور باشد.

منابع

باقری، ن. (۱۳۹۸). فناوری اطلاعات بسترساز توسعه کشاورزی هوشمند. *مجله علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی*. دوره دوم. شماره اول. بهار و تابستان ۱۳۹۸.

باقری، ن. (۱۳۹۳). امکان‌سنجی کاربرد کشاورزی دقیق در ایران. *فصلنامه مهندسی زیست سامانه*. جلد ۳، شماره ۱.

باقری، ن. (۱۳۹۹). کاربرد پهپادها در کشاورزی. *فصلنامه مروّج*. بهار ۱۳۹۹.

باقری، ن. احمدی، ح. امید، م. علوی پناه، س. ک. (۱۳۹۰). تهیه نقشه تغییرات نیتروژن محصول ذرت علوفه‌ای مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای. *مجله مهندسی بیوسیستم*. دوره ۴۲. شماره ۱. ۱۱۱-۱۰۳.

باقری، ن.، احمدی، ح، علوی‌پناه، س. ک.، امید، م. گرامی، ک.(۱۳۹۱). طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع نقشه-مبنا. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. دوره ۱۳. شماره ۴.

Ahmad, L., & Mahdi, S. S. (2018). Variable rate technology and variable rate application. In *Satellite Farming* (pp. 67-80). Springer, Cham.

Anonymous, (2020). List of Agriculture Sensors, Advantages of Agriculture Sensors. Available at: https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/agrotechnology.

Anonymous, (2021). AGROTECHNOLOGY (Environmental Technology in Agriculture and Agricultural Engineering). Available at: https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/agrotechnology.

Beriya, A. (2020). Precision Agriculture to Digital Agriculture: A Literature Review. Information and Communication Technologies (ICT). India.

Brasse, T. Precision Agriculture, 1st ed.; Thomson Delmar Learning: Clifton Park, NY, USA, 2006.

Buttafuoco, G., & Lucà, F. (2016). The Contribution of Geostatistics to Precision Agriculture. *Ann. Agric. Crop Sci*, 1, 1008-1009.

da Costa Lima, A., & Mendes, K. F. (2020). Variable Rate Application of Herbicides for Weed Management in Pre-and Postemergence. In Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production. IntechOpen.

Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. Engineering, Technology & Applied Science Research, 9(4), 4377-4383

Ghazali, M. F., Wikantika, K., Harto, A. B., & Kondoh, A. (2020). Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. Information Processing in Agriculture, 7(2), 294-306.

Giesler, S. (2019). Digitization in agriculture-from precision farming to farming 4.0. Available at: https://www.biooekonomie-bw.de/en/articles/dossiers/digitisation-in-agriculture-from-precision-farming-to-farming-40.

Grisso, R. D., Alley, M. M., Thomason, W. E., Holshouser, D. L., & Roberson, G. T. (2011). Precision farming tools: variable-rate application.

Milella, A., Reina, G., & Nielsen, M. (2019). A multi-sensor robotic platform for ground mapping and estimation beyond the visible spectrum. Precision agriculture, 20 (2), 423-444.

Oliver, M. A., & Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena,* 113, 56-69.

Padilla, F. M., de Souza, R., Peña-Fleitas, M. T., Grasso, R., Gallardo, M., & Thompson, R. B. (2019). Influence of time of day on measurement with chlorophyll meters and canopy reflectance sensors of different crop N status. Precision Agriculture, 20(6), 1087-1106.

Rovira-Más, F. (Coordinator). VineScout European Project. Available online: www.vinescout.eu.

Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. agronomy, 10(2), 207.

Searcy, S.W. Precision Farming: A New Approach to Crop Management. Available online: http: //agpublications.tamu.edu/pubs/eng/l5177.pdf (accessed on 21 November 2019).

Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S. A., Zaidi, S. A. R., & Iqbal, N. (2019). Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. *Sensors,* 19(17), 3796.

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing,* 12(19), 3136.

Tobe, F. The Ultimate Guide to Agricultural Robotics. Available online: https://www.roboticsbusinessreview.

Usery, E. L., Pocknee, S., & Boydell, B. (1995). Precision farming data management using geographic information systems. Photogrammetric engineering and remote sensing, 61(11), 1383-1392.

Agricultural Information sciences and Technology
Number 7,Volume 4, Spring and Summer 2021
aistj.areeo.ac.ir

The role of information technology-based crop management cycle in the development of advanced agriculture

Maryam Rahimi Jahangirlou[1], **Nikrooz Bagheri**[2*]
1-*PhD graduate in Agrotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.*
2-Associate professor, Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Karaj. Iran.

Abstract

In the present century, the development of information technology (IT) is bringing another revolution to achieve the maximum increase in crop production and efficiency of using agricultural inputs. The greatest role of IT in advanced agriculture (precision, smart and digital) is through the IT-based crop management cycle. So, this paper aims to introduce the components of IT-based crop management cycle and their role in advanced agriculture. IT-based crop management cycle consists of five main components including (1) crop, (2) remote sensing platforms supporting sensors such as satellites, drones and proximal equipment (3) data, (4) decision-making through algorithms such as artificial intelligence and (5) the actuation through variable rate technology. The main purpose of this cycle is to obtain accurate information from every pixels of a farm for smart decision making. This cycle enables the collection of objective data for the implementation of advanced agriculture. In fact, advanced agriculture is based on the principle of monitoring and preparing maps and spatio-temporal information, and this principle arises from the existence of heterogeneity in the field. The role of IT-based crop management cycle components is identifying these heterogeneities (differences in land slope, altitude, soil nutrients, pests and weeds, moisture, salinity (EC), pH, organic matter or even crop yield) for helping to perform precision and smart field management in different parts of the production field.

Keywords: Agrotechnology, Precision Agriculture, Sensor, Smart Farm Management, UAV

* Corresponding author: maryamrahimi204@gmail.com