مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی
سال سوم / شماره ششم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۹
aistj.areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/AISTJ.2021.356748.1054

نقش فناوری سنجش‌ازدور در پیشرفت کشاورزی هوشمند

نیکروز باقری
دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. کرج. ایران
پست الکترونیک : n.bagheri@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

چکیده

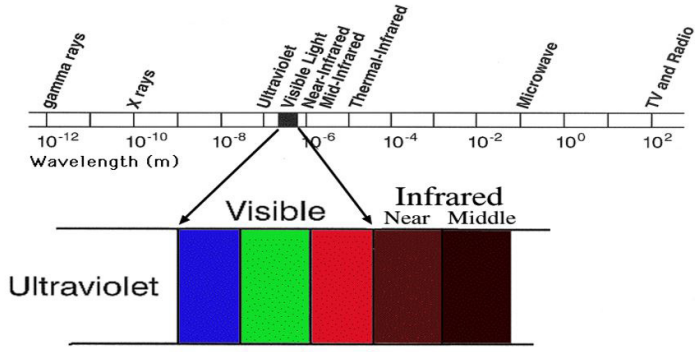
در قرن حاضر، لزوم تأمین امنیت‌غذایی جمعیت روزافزون کشور، اهمیت حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست و نیز لزوم افزایش مستمر بهره‌وری نهاده‌ها، کاربرد فناوری‌های نوین در فرآیند تولید محصولات کشاورزی را بیش‌ازپیش ضروری ساخته است. ازجمله فناوری‌های نوین، کشاورزی هوشمند است. در این مقاله سعی شده است تا اهمیت فناوری سنجش‌ازدور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ارکان کشاورزی هوشمند یعنی جمع‌آوری و ثبت داده ارائه شود. همچنین، انواع سامانه و سنجنده در مطالعات سنجش‌ازدور معرفی‌شده و کاربردهای آن‌ها در کشاورزی و مزایا و محدودیت‌های هریک از روش‌ها بیان شده است.

کلیدواژه‌ها: پهپاد، سنجش‌ازدور، کشاورزی دقیق، کشاورزی هوشمند، ماهواره.

مقدمه

تأمین امنیت‌غذایی با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، تغییر اقلیم، آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش مهاجرت روستاییان به شهرها، نیاز به تغییر روش‌ها و رویکردها در تولید محصولات کشاورزی دارد (کفاشان و باقری، ۱۳۹۷). این موضوع، کاربرد فناوری‌های نوین را در عرصه مدیریت تولید کشاورزی بیش‌ازپیش ضرورت بخشیده است. ازجمله این فناوری‌ها، کشاورزی هوشمند[1] است. کشاورزی یک حوزه پیچیده برای مدیریت و کنترل است؛ زیرا از پدیده‌های متعدد اقلیمی و محصولی متأثر است و با نظام‌های زنده سروکار دارد و کنترل آن دشوار است. برای غلبه بر پیچیدگی، عدم‌قطعیت در کشاورزی و حل مسائل کشاورزی در این شرایط، سامانه‌های هوشمند راه‌حل مناسبی هستند (فانتون و کژی[2]، ۱۹۹۹). براساس تعریف ایزو (۱۹۹۵) کشاورزی هوشمند، استفاده از سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی است که مانند انسان قابلیت یادگیری و استدلال دارند. یک سامانه هوشمند از بخش‌هایی مانند واحد جمع‌آوری داده‌ها، واحد انتقال داده‌ها، واحد ذخیره‌سازی داده‌ها، واحد تحلیل اطلاعات و تصمیم‌سازی (هوش مصنوعی) و واحد عملگر تشکیل شده است (چیدامباراناتان[3] و همکاران، ۲۰۱۸).

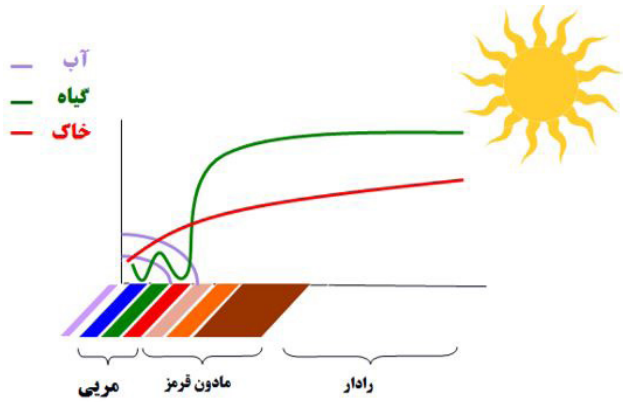
یکی از روش‌های جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده در کشاورزی هوشمند، فناوری سنجش‌ازدور است (پیوتو[4] و همکاران، ۲۰۱۸). سنجش‌ازدور، علم و فناوری دریافت اطلاعات از یک شیء بدون تماس با آن شیء است (علوی‌پناه، ۱۳۸۵). به‌عبارت‌دیگر، سنجش‌ازدور عبارت است از اندازه‌گیری غیرتماسی امواج بازتابی، عبوری و یا جذبی از سطح خاک، آب و گیاه (ملا[5]، ۲۰۱۳). چنین تعریفی از سنجش‌ازدور، گسترهٔ وسیعی از حسگرها، دوربین‌ها، سامانه‌های داده‌برداری و تصویربرداری زمینی، هوایی و ماهواره‌ای را دربر می‌گیرد. سنجش‌ازدور بر مبنای اصول امواج الکترومغناطیسی و تحلیل طیفی عمل می‌کند. محدوده‌های طیفی ماوراءبنفش نزدیک[6] (۳۰۰ نانومتر)، نور مرئی[7] (۷۰۰–۴۰۰ نانومتر)، مادون‌قرمز نزدیک[8] (۱۳۰۰–۷۰۰ نانومتر)، مادون‌قرمز میانی[9] (۳۰۰۰–۱۳۰۰ نانومتر)، مادون‌قرمز دور[10] (۱۰۰۰۰–۳۰۰۰۰ نانومتر) و امواج ماکروویو[11] (۱میلی‌متر–۱متر)، محدوده‌هایی از امواج الکترومغناطیسی هستند که در سنجش‌ازدور مطالعه می‌شوند. در شکل ۱ محدودهٔ طیفی موردمطالعه در سنجش‌ازدور نشان داده شده است (علوی‌پناه، ۱۳۸۵).



شکل ۱. محدوده طیفی موردمطالعه در سنجش‌ازدور

1. Smart Agriculture (Intelligent Agriculture)
2. Fantun and Kezhi
3. Chidambaranathan
4. Pivoto
5. Mulla
6. Ultra Violent
7. Visible
8. Near Infrared (NIR)
9. Middle Infrared (MIR)
10. Far Infrared (FIR)
11. Micro Wave

امـواج الکترومغناطیـس هنگام برخورد با پدیده‌های سـطح زمین دچار سـه حالت بازتابش، جذب یا عبور می‌شـوند. نسبت انـرژی بازتابش‌یافته، جذب‌شـده و عبوریافته بـرای پدیده‌های مختلف در یک طول‌موج مشـخص تفاوت داشـته و به نوع ماده و شـرایط آن بستگی دارد. وجود این اختلافات، اساس تشخیص پدیده‌هـای مختلف در تصویر اسـت (وارن و مترنیچ[1]، ۲۰۰۵). تشخیص این تغییرات می‌تواند پیش از بروز علایم قابل‌تشخیص برای چشـم انسـان باشـد (مالتیوس و مادریا[2]، ۱۹۹۳). نمونه‌ای از تفـاوت بازتاب طیفی پدیده‌هـا در طول‌موج‌های متفاوت در شکل ۲ نشـان داده شده است. بر اساس این شکل، منحنی طیفی آب، گیاه و خاک با یکدیگر کاملاً متفاوت است. به‌عنوان‌مثال، گیـاه در محدوده طیفی نور سـبز و مادون‌قرمز نزدیک بازتابش بالایی داشته، درحالی‌که در محدوده طیفی نور قرمز، بازتاب آن کاهش می‌یابد. آب نیـز در محدوده طیفی آبی، بازتابش بالایی داشـته و با افزایش طول‌موج به سـمت مادون‌قرمز نزدیک، این بازتاب کاهش می‌یابد (علوی‌پناه، ۱۳۸۸).



شکل ۲. تفاوت بازتاب طیفی پدیده‌ها در طول‌موج‌های متفاوت

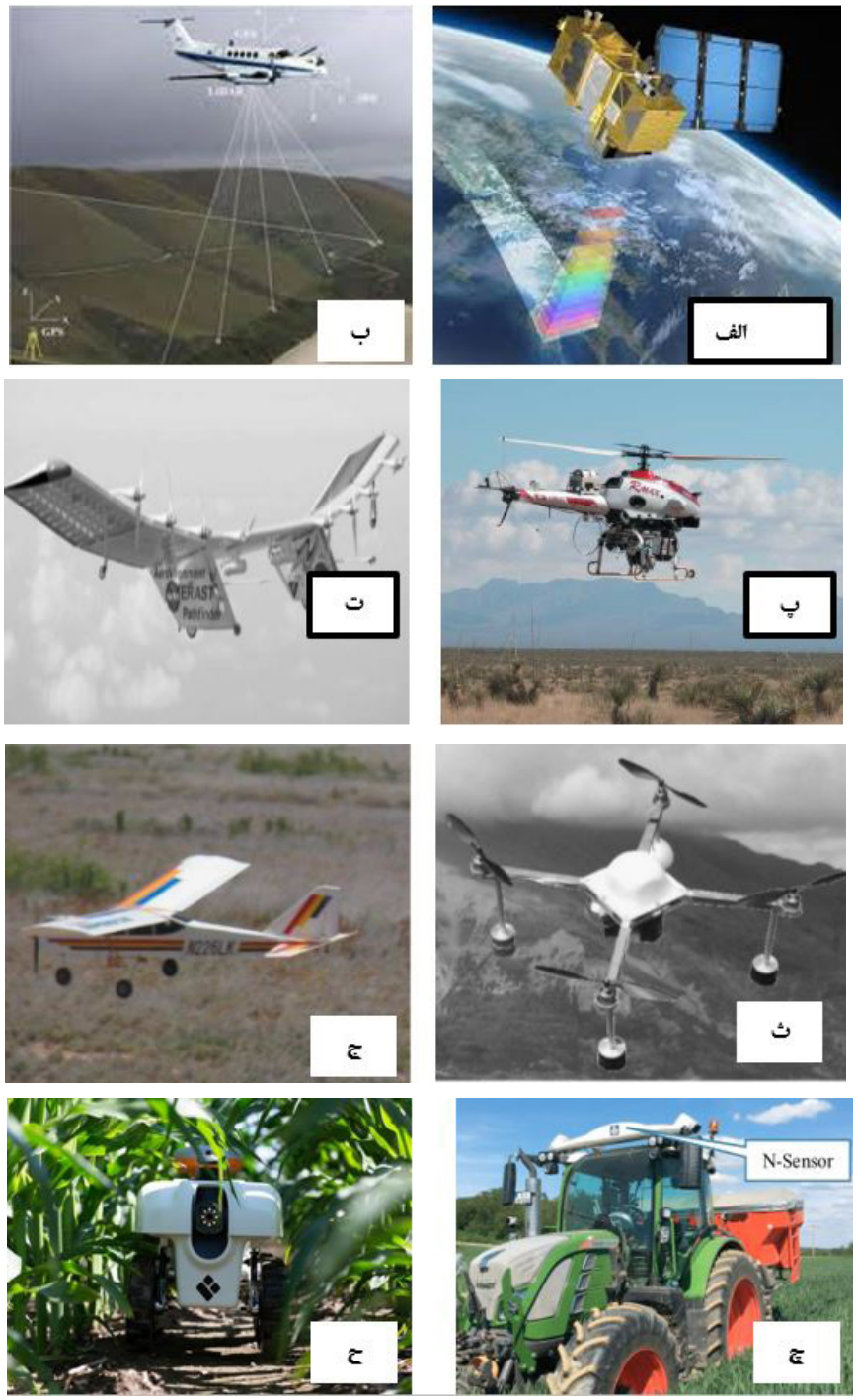
سامانه سنجش‌ازدور

یک سـامانه سـنجش‌ازدور از دو بخش اصلی شامل سامانه برداشـت داده/تصویر و سـنجنده (ابزار برداشـت داده/تصویر) تشکیل شده است.

انواع سامانه در سنجش‌ازدور

سـامانه‌های سـنجش‌ازدور شـامل سـامانه‌های زمینـی (ایسـتگاه‌های ثابت، ماشـین‌های کشـاورزی، ربات‌ها)، هوایی (پهپـاد، بالگرد، هواپیماهای سـبک) و ماهواره‌ها هسـتند. انواع سـامانه‌های سـنجش‌ازدور در شـکل ۳ نشان داده شـده است. سامانه‌های ماهواره‌ای از اولین سامانه‌ها برای داده‌برداری و انجام مطالعات کشاورزی بوده‌اند. داشتن پوشش وسیع از ویژگی‌های تصویربـرداری با اسـتفاده از این سامانه‌هاسـت (باقری، ۱۳۹۰). سامانه‌های زمینی معمولاً ماشین‌های کشاورزی و ربات‌ها هستند کـه حسـگرها و دوربین‌های موردنظر روی آن‌ها نصب‌شـده و با حرکـت در مزرعه/ بـاغ داده‌های موردنیـاز را ثبت و ذخیره می‌کنند. انواع هواپیماهای سـبک و فوق سـبک، بالگرد، و نیز پهپادها ازجمله انواع سامانه‌های هوایی هستند. در گذشته از انواع بالن، پاراگلایدر و کایت نیز اسـتفاده می‌شـد اما به دلیل ضعف در کنترل سـامانه و کیفیت پایین تصاویر برداشت‌شـده، در حال حاضر کمتر استفاده می‌شوند.

1. Warren and Metternicht
2. Malthus and Maderia



شکل۳. انواع سامانه‌های داده‌برداری و تصویربرداری در سنجش‌ازدور

الف: ماهواره،

ب تا ج به ترتیب: هواپیما، بالگرد، کایت، کوادکوپتر[1] و هواپیمای بدون سرنشین فوق سبک،

چ: تراکتور،

ح: ربات پایش وضعیت

1. Quadcopter

استفاده از ماهواره‌ها برای کاربردهای سنجش‌ازدور به اوایل دهۀ ۱۹۷۰ میلادی و زمانی بازمی‌گردد که ماهواره لندست[1] در سال ۱۹۷۲ میلادی به فضا پرتاب شد. این سنجنده، در باندهای سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک و با قدرت تفکیک ۸۰ متر و فاصلۀ زمانی هر ۱۸ روز یک بار، تصاویر را دریافت و ارسال می‌کرد. برای اولین بار و در تفکیک مزارع ذرت و سویا با دقت ۸۳ درصد، از این تصاویر استفاده شد. سپس ماهواره‌های دیگری ساخته شد و در مدار زمین قرار گرفت. از سال ۱۹۷۲ به بعد، تحولات زیادی در حوزۀ سنجش‌ازدور رخ داده است. به‌عنوان‌مثال، قدرت تفکیک تصاویر از هشتاد متر به زیر یک متر بهبود یافته است. همچنین فاصله زمانی بین برداشت دو تصویر از یک موقعیت خاص، از ۱۸ روز به ۱ روز کاهش یافته است. تعداد باندهای طیفی در دسترس نیز، از چهار باند با عرض باند بزرگ‌تر از ۶۰ نانومتر به بیش از ۸ باند با عرض بیشتر از ۴۰ نانومتر بهبود یافته است (ملأ، ۲۰۱۳). هزینه زیاد تهیه تصاویر با قدرت تفکیک زیاد، کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای را در کشاورزی محدود کرده است.

از میان تصاویر سنجش‌ازدور، تصاویر ماهواره‌ای بیش از همه در دسترس هستند و بیشتر برای مناطق وسیع کاربرد دارند. تصاویر ماهواره‌ای باوجود قابلیت‌های فراوان، محدودیت‌هایی نیز دارند که کاربرد آن‌ها را برای مطالعات کشاورزی مشکل کرده است. ازجمله: زمان‌بر بودن تهیه تصاویر ماهواره‌ای و بالا بودن قیمت تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد، محدود بودن تعداد برداشت تصویر در طول فصل رشد گیاه، نیاز به انجام تصحیحات اتمسفری، دشواری هم‌زمانی برداشت تصویر و نمونه‌برداری زمینی. تصویربرداری هوایی نیز به‌طورمعمول با استفاده از هواپیماها و بالگردها انجام می‌شود که افزون بر هزینه‌های زیاد تصویربرداری و پیچیدگی دستگاه‌ها، امکان انجام عملیات در زمان و مکان موردنظر با توجه به نیاز به باند پرواز و مجوزهای مخصوص محدود می‌شود.

در سال‌های اخیر از پرنده‌های هدایت‌پذیر بدون سرنشین[2] (پهپادها) به‌عنوان سامانه‌ی تصویربرداری برای مطالعات کشاورزی استفاده می‌شود. برای مدیریت و پایش محصول به‌ویژه در مزارع کوچک و تهیه تصاویر آنی[3] و با هزینه کم، این دستگاه‌ها می‌توانند با کیفیت مکانی بالا[4] تصویربرداری کنند (باقری، ۱۳۹۳). به علت در دسترس بودن، قابلیت تنظیم زمان برداشت تصاویر در زمان لازم، قدرت تفکیک مکانی بیشتر، نیاز به اصلاح کمتر و تحت تأثیر پوشش ابری نبودن، پهپادها به دستگاه‌های ماهواره‌ای و هوایی دیگر برتری دارند (باقری، ۱۳۹۳).

در آینده، صنعت کشاورزی کاملاً به ماهواره‌ها، پهپادها، حسگرها و سامانه‌های هوشمند وابسته خواهد بود تا اطلاعات مرتبط با وضعیت محصولات را در هرلحظه فراهم کنند. این اطلاعات به همراه پایگاه داده‌های هواشناسی و اقلیمی و کشت محصول، به کشاورز در تصمیمات روزانه‌اش کمک خواهند کرد. این تصمیمات گسترده، مسائل فنّی، اقتصادی و بازار محصول را در بر می‌گیرد (گرامی‌طیبی، ۱۳۹۶).

انواع سنجنده در سنجش‌ازدور

سنجنده‌ها در سنجش‌ازدور معمولاً حسگرهای اپتیکی و دوربین‌های طیفی هستند. سنجنده‌ها ازنظر تعداد باندها و عرض هر باند به سنجنده‌های چندطیفی[5] و فراطیفی[6] تقسیم می‌شوند (علوی‌پناه، ۱۳۸۸؛ جانگ[7] و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین می‌توان حسگرها را به دو دسته حسگرهای فعال[8] و غیرفعال[9] تقسیم کرد. برای انتقال انرژی الکترومغناطیسی به شیء، حسگرهای فعال از یک منبع الکتریکی و حسگرهای غیرفعال از نور خورشید

1. Landsat
2. Unmanned aerial Vehicle (UAV)
3. Real-time
4. High Spatial Resolution
5. Multispectral Imaging
6. Hyperspectral
7. Jang
8. Active
9. Passive

استفاده می‌کنند (جانگ و همکاران، ۲۰۲۰). ازنظر قدرت تفکیک مکانی نیز سنجنده‌ها به سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی کم (بیش از ۱۰ متر)، متوسط (۱۰-۱ متر) و زیاد (کمتر از ۱ متر) تقسیم می‌شوند. اگرچه کاربران همواره تصاویری با قدرت تفکیک طیفی، مکانی و زمانی بیشتر را ترجیح می‌دهند اما مناسب‌ترین قدرت تفکیک طیفی و مکانی در سنجش‌ازدور به عواملی مانند نوع پدیده موردمطالعه، وسعت منطقه، و بودجه بستگی دارد.

اغلب سنجنده‌های سنجش‌ازدور بر فناوری نوری استوار هستند. بااین‌وجود، اخیراً سنجنده‌های راداری مانند SAR [1] و LiDAR [2] با تاباندن امواج ماکروویو به پدیده‌ها و تحلیل فاصله از شیء، برای تهیهٔ نقشه‌های تفکیک محصولات مختلف، برآورد عملکرد، سطح عملیات خاک‌ورزی، نقشه بقایای محصول و تعیین رطوبت خاک قابلیت خوبی از خود نشان داده‌اند (ویلا[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

سنجنده‌های مرئی

بیشتر سامانه‌های سنجش‌ازدور (به‌ویژه سنجنده‌های هوایی و زمینی) به دوربین‌های مرئی (RGB[4]) مجهز هستند. این دوربین‌ها در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (باندهای آبی، سبز و قرمز) کار می‌کنند. بیشتر برای دریافت اطلاعات کلی از منطقه تصویربرداری از این دوربین‌ها استفاده می‌شود. همچنین، این دوربین‌ها برای مرزبندی مناطق زیرکشت، تفکیک محصولات مختلف، اندازه‌گیری سطح زیرکشت، تهیه نقشه از منطقه کشت، تفکیک گونه‌های گیاهی و بررسی سطح خسارت نیز کاربرد دارند (باقری، ۱۳۹۹).

سنجنده‌های چندطیفی

دوربین‌های چندطیفی می‌توانند بازتابش پوشش گیاهی را در تعداد معدودی باند طیفی (بین ۳ تا ۱۲ باند) ثبت کنند (جانگ و همکاران، ۲۰۲۰). اغلب دوربین‌های مورداستفاده در حوزه کشاورزی، دارای حسگرهایی در محدوده طیفی نور مرئی و مادون‌قرمز نزدیک هستند. با استفاده از توانایی بازتاب طیفی برگ در محدوده مادون‌قرمز نزدیک، می‌توان اطلاعات مفیدی از ویژگی‌های کمّی (پایش وضع رشد) و کیفی محصول (تشخیص مقدار مواد آلی، تشخیص انواع بیماری‌های گیاهی پیش از بروز چشمی) (باقری، ۲۰۲۰)، برآورد نیاز کودی و آبی، برآورد عملکرد محصولات زراعی و باغی (بوشونگ[5] و همکاران، ۲۰۱۶) و تعیین سطح و مقدار خسارت‌ها (زارکوتجادا[6] و همکاران، ۲۰۱۴) به دست آورد.

سنجنده‌های فراطیفی

دوربین‌های فراطیفی می‌توانند بازتابش پوشش گیاهی را با تعداد باند بیشتر و عرض باند کمتری نسبت به دوربین‌های چندطیفی ثبت کنند. معمولاً دوربین‌های فراطیفی علاوه بر دارا بودن محدوده طیفی نور مرئی و مادون‌قرمز نزدیک، محدوده مادون‌قرمز میانی را نیز پوشش می‌دهند و دامنه طیفی آن‌ها معمولاً از ۳۶۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر یا ۳۵۰ نانومتر تا ۲۵۰۰ نانومتر است. عرض باندها در این دوربین‌ها ۱۰-۵ نانومتر و تعداد باندها بیش از ۱۰۰ باند است. دوربین‌های فراطیفی معمولاً سنگین‌تر از دوربین‌های چندطیفی و بسیار گران‌تر هستند. بنابراین، برای نصب روی سامانه‌های هوایی به‌ویژه پهپادهای کوچک با وزن بار قابل‌حمل محدود مناسب نیستند. کاربردهای دوربین‌های فراطیفی مشابه دوربین‌های چندطیفی است با این تفاوت که این دوربین‌ها دقت بالاتری در تشخیص دارند (جانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

سنجنده‌های حرارتی

دوربین‌های حرارتی مانند دوربین‌های مرئی و طیفی براساس ثبت بازتابش امواج الکترومغناطیسی عمل نمی‌کنند، بلکه دمای سطح را اندازه‌گیری و ثبت می‌کنند. دمای سطح گیاه تابعی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن است. این دوربین‌ها در محدوده

1. Synthetic Aperture Radar (SAR)
2. light detection and ranging sensor
3. Villa
4. Red Green Blue Camera
5. Boshung
6. Zarco-Tejada

طیفی مادون‌قرمز حرارتی (۰/۷۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) عمل می‌کنند (علوی‌پناه، ۱۳۸۸). از کاربردهای این دوربین‌ها می‌توان به تعیین نیاز آبی گیاه، تشخیص تنش آبی، تشخیص انواع آفات، تشخیص بیماری‌های گیاهی و دامی، و تشخیص زودهنگام آتش‌سوزی در جنگل‌ها اشاره کرد (جانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

سامانه موقعیت‌یابی در سنجش‌ازدور

یکی از ارکان اصلی در سنجش‌ازدور، ثبت موقعیت جغرافیایی پدیده‌هاست که با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی[1] انجام می‌شود. برای زمین ـ مرجع کردن تصاویر سنجش‌ازدور و نیز برای رجوع دوباره به نقطه موردنظر، استفاده از سامانه موقعیت‌یابی ضروری است. با استفاده از این سامانه می‌توان نقشه‌های مختصات‌دار مختلفی مانند نقشه‌های خاک و نقشه عملکرد محصول را تولید کرد. کشاورز با استفاده از این فناوری و در طول دوره رشد محصول می‌تواند با پایش مزرعه/ باغ و شناخت مناطق دارای مشکلات، مراقبت‌های کشت مناسب را اعمال کند (رادوگلو-گراماتیکیس[2] و همکاران، ۲۰۲۰).

چالش‌های سنجش‌ازدور در کشاورزی

درحال‌حاضر بیشتر فناوری‌های سنجش‌ازدور برای کشاورزان در دسترس هستند. اما در شرایط واقعی از این فناوری‌ها به‌اندازه کافی استفاده نمی‌شود که دلایل آن به شرح زیر است:

- اطلاع کم از کارایی سنجش‌ازدور و انواع تجهیزات آن؛
- کم‌اطلاعی از منافع فنی و اقتصادی ناشی از به‌کارگیری این فناوری (که موجب عدم قربت سرمایه‌گذار می‌شود)؛
- دسترسی محدود به ابزارهای پشتیبان تصمیم‌ساز مبتنی بر داده‌های سنجش‌ازدور؛
- گران بودن تجهیزات و تصاویر با قدرت تفکیک زمینی و طیفی بالا؛
- محدودیت پهپادها ازنظر وزن قابل‌حمل و مداومت پروازی (خانال[3] و همکاران، ۲۰۲۰)؛
- خرد بودن اغلب واحدهای بهره‌برداری کشاورزی در کشور (که استفاده از فناوری‌ها را غیراقتصادی می‌کند)؛
- عدم قطعیت در فعالیت‌های کشاورزی به‌دلیل تغییرات آب‌وهوا و مدیریت راهبردها (هوانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۸).

نتیجه‌گیری

اولین رکن از ارکان کشاورزی هوشمند، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده است. فناوری سنجش‌ازدور به‌عنوان یکی از روش‌های جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده/ تصویر می‌تواند به پیشرفت صنعت هوشمندسازی در کشاورزی کمک کند. بنابراین، یکی از الزامات اصلی توسعه کشاورزی هوشمند، توسعه فناوری سنجش‌ازدور است. با توجه به تنوع سامانه‌ها و سنجنده‌های سنجش‌ازدور و مزایا و محدودیت‌های هریک از روش‌ها، تصمیم‌گیری برای انتخاب و بهره‌برداری از هر نوع سنجنده و سامانه به دانش تخصصی نیاز دارد و این اقدام باید با مطالعه و بررسی انجام شود. ملاحظاتی مانند اندازه واحدهای بهره‌برداری کشاورزی کشور، پدیده موردمطالعه، بودجه و تجهیزات در اختیار باید در نظر گرفته شوند. توسعهٔ کشاورزی هوشمند به‌استفاده از طیف گسترده‌ای از تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری نیازمند است. همچنین، با توجه به تولید مداوم داده ازسوی فناوری سنجش‌ازدور و در پی آن حجم زیاد داده‌ها، ایجاد پایگاه‌های داده دائمی برای ثبت و تحلیل و تصمیم‌سازی بر اساس کلان‌داده‌های[5] سنجش‌ازدور کشاورزی در مقیاس محلی و ملّی پیشنهاد می‌شود.

1. Global Positioning System (GPS)
2. Radoglou-Grammatikis
3. Khanal
4. Huang
5. Big Data

منابع

باقری، ن. (۱۳۹۰). *طراحی و توسعه سیستم پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای*. رساله دکتری. دانشگاه تهران.

باقری، ن. (۱۳۹۳). *توسعه و ارزیابی عمودپرواز بدون سرنشین ویژه تصویربرداری چندطیفی از مزارع کشاورزی*. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

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

کفاشان، ج. باقری، ن. (۱۳۹۷). *کاربرد مهندسی مکاترونیک در توسعه فناوری ماشین‌آلات کشاورزی صنعتی (چالش‌ها و راه‌کارها)*. فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی. شماره ۳۱. بهار ۱۳۹۷.

گرامی‌طیبی، م. (۱۳۹۶). *مزارع و کشاورزی آینده: کوچک و هوشمند*. از http://ayandehpajoohi.com/articles/futuresstudies.. تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۳.

علوی‌پناه، س.ک. (۱۳۸۵). *کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین*. تهران: دانشگاه تهران.

علوی پناه، س.ک. (۱۳۸۸). *اصول سنجش‌ازدور نوین*. تهران: دانشگاه تهران

Bagheri, N. (2020). *Application of aerial remote sensing technology for detection of fire blight infected pear trees. Computers and Electronics in Agriculture,* 168, 105147.

Bushong, J. T., Mullock, J. L., Miller, E.C., Raun, W. R., Klatt, A. R., Arnall, D. B. (2016). *Development of an in-season estimate of yield potential utilizing optical crop sensors and soil moisture data for winter wheat. Precision Agriculture* 17: 451–469.

Chidambaranathan, C. M., Hand, S.S., Ramanamurthy, M. V. (2018). *Development of smart farming -a detailed study. International Journal of Engineering & Technology* 7(2.4): 56-58.

Fantun, X., Kezhi, Q. (1999). *Intelligent systems and its application in agriculture*. 14th Triennial World Congress. Beijing, China.

Huang, Y., Zhong-xin, Ch., Tao, Y., Xiang-zhi, H., Xing-fa, Gu. 2018. **Agricultural remote sensing big data: Management and applications**. Journal of Integrative Agriculture 2018, 17(9): 1915–1931.

ISO/IEC 2382-28. (1995). Information technology-Vocabulary -Part 28: Artificiaintelligence - Basic concepts and expert Systems.

Jang, G., Kim, J., Yu, J-K., Kim, H-J., Kim, Y., Kim, D-W., Kim, K-H., Lee, Ch-W., Suk Chung, Y. 2020. *Cost-effective unmanned aerial vehicle (UAV) platform for field plant breeding application*. 12, 998; doi:10.3390/rs12060998.

Khanal, S., KC, K., Fulton, J. P., Shearer, S., Ozkan, E. 2020. *Remote Sensing in Agriculture—Accomplishments, Limitations, and Opportunities*. Remote Sens 12, 3783; doi:10.3390/rs12223783

Malthus, T. J., Maderia, A. C. (1993). *High resolution spectroradiometry: Spectral reflectance of field bean leaves infected by Botrytis fabae*. Remote Sensing of Environment: 45, 107–116.

Mulla, D. J. (2013). *Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps*. Biosystems Engineering 114: 358-371.

Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Spanhol, C.P., Finocchio, C.P.S., Corte, V. F. D., Mores, G. V. (2018). *Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil*. Information processing in agriculture 5: 21–32.

Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., Moscholios, I. 2020. *A compilation of UAV applications for precision agriculture.* Computer Networks 172: 107148.

Villa, P., Stroppiana, D., Fontanelli, G., Azar, R. Brivio. P.A. (2015). *In-Season Mapping of Crop Type with Optical and X-Band SAR Data: A Classification Tree Approach Using Synoptic Seasonal Features.* Remote Sensing 7: 12859-12886.

Warren, G., Metternicht, G. (2005). *Agricultural applications of high-resolution digital multispectral imagery: Evaluating within-field spatial variability of canola (Brassica napus) in Western Australia*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 71: 595–602.

Zarco-Tejada, P. J. Hubbard, N., Loudjani, P. (2014). *Precision agriculture: An opportunity for EU farmers-potential support with THE CAP 2014-2020*. Policy department structural and cohesion policies. European Parliament. PE 529.049.

Agricultural Information sciences and Technology
Number 6,Volume 3, Fall and Winter 2021
aistj.areeo.ac.ir

The role of remote sensing technology in the development of intelligent agriculture

Nikrooz Bagheri
Associate professor, Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Karaj. Iran.

Abstract

In the present century, the need to provide food security for the growing population of the country, the importance of maintaining human health and the environment, as well as the need to continuously increase the productivity of inputs, has made the use of new technologies in the production of agricultural products more necessary. One of the new technologies is intelligent agriculture. This paper has tried to present the importance of remote sensing technology as one of the most important parts of intelligent agriculture, namely data collection and recording. Also, the types of platforms and sensors that have been introduced in remote sensing studies and their applications in agriculture, as well as the advantages and limitations of each method are described.

Keywords: Intelligent Agriculture, Precision Agriculture, Remote Sensing, Satellite, Unmanned Aerial Vehicle