سال پنجم، شماره ۲، ۱۳۹۷، صفحات ٦١ تا ۷۰
نشریه آب و توسعه پایدار

2019, Vol.5, No.2, Pages 61 to 70
Journal of Water and Sustainable Development

کشاورزی و آبیاری دقیق

فاطمه عطارزاده[۱*]، رسول پردل نوقابی[۲]

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: f.attarzade@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۱

چکیده

بخش کشاورزی سهم عمده‌ای در مصرف منابع محدود آب دارد، بنابراین سیاست‌گذاری در مدیریت بهینه مصرف آب امری ضروری می‌باشد. برای تحقق این امر بهبود طراحی و استفاده از فناوری‌های مبتکرانه و شیوه‌های پیشرفته‌ی مدیریت لازم است. آبیاری دقیق یك هماهنگی بین مدیریت پیشرفته آبیاری، قرائت و پایش اطلاعات، مدل‌سازی و کنترل ایجاد می‌کند. هدف چنین سامانه‌ای آن است که برای حداکثر نمودن کارایی آبیاری به‌طور خودکار و مداوم میزان کاربرد آب در مزرعه را حسب شرایط زمانی یا مکانی نیاز آبی گیاه، تنظیم و تعدیل نماید. در این مقاله آخرین فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در آبیاری دقیق چه در مقیاس مزرعه و چه در مقیاس‌های بزرگتر از قبیل نگاشت رطوبتی خاک، شبکه حسگر بی‌سیم و مدیریت آبیاری دقیق توصیف می‌شود و روندهای احتمالی فناورانه برای آبیاری را ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری دقیق، داده‌های به‌هنگام، کارایی مصرف آب.

Precision Agriculture and Irrigation

F. Attarzade [1*], R. Pordel Noghabi[2]

1,2- PhD student & MSc in Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*(Corresponding author Email: f.attarzade@yahoo.com)

Received: 02-01-2018
Accepted: 22-05-2018

Abstract

Agriculture uses a significant portion of water consumption. Therefore, the policy of optimal management of water consumption is essential. To achieve this, it is necessary to improve the design and use of advanced technologies and management. Precision irrigation creates coordination between advanced irrigation management, monitoring and investigation of data, modeling, and control. The purpose of this system is to automatically and continuously adjust the irrigation application system to a desired performance, and account for any variability (temporal or spatial) in crop water requirements or water intake across the field. This article describes the latest hardware and software technologies for precision irrigation on both farm-scale and larger regional scales, such as soil moisture mapping, wireless sensor networks, and precision irrigation management. Finally, trends for advanced irrigation technologies are presented.

Keywords: Precision irrigation, Rael-time data, Water-use efficiency.

DOI: 10.22067/jwsd.v5i2.69880

مقدمه

هم‌زمان با رشد جمعیت، محدودیت منابع آب شیرین جهان موجب کاهش آب تخصیصی به آبیاری شده است. علاوه‌براین رشد تقاضاهای دیگر برای آب (ساخت‌وساز، تولید برق و مصارف خانگی) به‌دلیل افزایش استانداردهای زندگی، تأمین نیازهای آینده را باتوجه‌به افزایش دو میلیارد نفری جمعیت تا سال ۲۰۵۰ به چالش می‌کشد. در چنین شرایطی تأمین غذا نیازمند استفاده از فناوری‌های جدید آبیاری به‌منظور ارتقا بهره‌وری است. همچنین لازم است از طریق برنامه‌ریزی آبیاری افزایش ۵۰ درصدی توان تولیدی غذا در دنیا صورت پذیرد. بخش کشاورزی با برداشت تقریباً سه چهارم کل آب شیرین قابل استفاده بزرگترین مصرف‌کننده آب شیرین است. در بسیاری از کشورها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت آب استفاده شده در کشاورزی بالاتر از ۸۰ درصد برداشت‌ها است. تلاش برای کاهش مصرف آب آبیاری تنها معطوف به فواید مستقیم کشاورزی و رشد درآمد نمی‌باشد؛ بلکه باید به اثرات گسترده اکولوژیکی، اهداف اجتماعی و پایداری زیستی در مقیاس محلی و منطقه‌ای نیز توجه شود. پیاده‌سازی این رویکرد منجر به لحاظ نمودن سهمی از آب برای حفاظت محیط‌زیست و سهمی برای پایداری منابع آب شیرین در قوانین و ضوابط دولتی می‌شود، با این حساب رقابت بر سر آب افزایش خواهد یافت.

در شرایط محدودیت شدید آبی تغییر راهبردهای تأمین و تخصیص آب و مدیریت تقاضا در بخش کشاورزی در اولویت قرارگرفته است. در این راستا راه‌حل‌هایی از ارتقا بازده[1] آبیاری تا بهره‌وری[2] آب مدنظر قرارگرفته است. بهره‌وری سنجه‌ای برای کارایی عملکرد است که به‌صورت نسبت ستانده به نهاده بیان شده و می‌تواند برای یک نهاده/ستانده یا تمامی نهاده‌ها/ستانده‌ها استفاده شود. در سیستم‌های کشاورزی نهاده‌ها می‌توانند آب، زمین، سرمایه، نیروی کار و کود باشند. بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی تابع مدیریت مزرعه بوده و تنها مرتبط با کاربرد آب کشاورزی نیست بلکه سایر اقدامات مدیر مزرعه از حفظ حاصلخیزی خاک و مبارزه با آفات تا جلوگیری از اتلاف محصول از روز برداشت تا روز تحویل به مصرف‌کننده در این امر دخیل و مؤثرمی‌باشند. راهکار دیگر برای ارتقا بهره‌وری آب کشاورزی انتخاب صحیح روش آبیاری (سطحی/بارانی/موضعی) است. بازده، کفایت[3] و یکنواختی[4] آبیاری در مزرعه به میزان زیادی تابع روش و مدیریت آبیاری است. بازده آبیاری (راندمان) در دو دهه اخیر موضوعی جنجالی بوده که بر اساس آن بخش کشاورزی متهم به کاربرد مسرفانه آب و هدردادن منابع آب شده است. دلیل توجه بیش‌ازحد به مفهوم بازده آبیاری تصور غلط از تلفات آب[5] آبیاری در مزرعه بوده است. آبی که از دسترس یک مزرعه خارج می‌شود قابل بازیافت نیست؛ درحالی‌که آب برگشتی از مزرعه در نهایت به منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌پیوندد (درگاه شبکه مطالعات سیاست‌گذاری عمومی،۱۳۹۴).

به‌طورکلی برای رسیدن به بهره‌وری مناسب فناوری‌های نوآورانه‌ای در آبیاری مورد نیاز است. در این تحقیق ضمن بررسی آخرین فناوری‌های موجود برای بهبود کاربرد آب آبیاری در مقیاس مزرعه و در مقیاس‌های بزرگتر (منطقه یا شبکه‌ی آبیاری)، آخرین پیشرفت‌ها از قبیل ابزار دقیق (سنجش از دور) ارائه شده است. در نهایت نیازها و روندهای احتمالی فناورانه برای آبیاری در آینده مطرح شده است. درحال‌حاضر روش‌های سنتی آبیاری (اعم از سطحی و تحت فشار) فناوری‌های تاریخ گذشته‌ای هستند که در بهترین حالت باز هم دارای کارایی محدود می‌باشند. دستاوردهای بیشتر در آینده از طریق بهبود طراحی و استفاده از فناوری‌های مبتکرانه و شیوه‌های پیشرفته‌ی مدیریت به‌ویژه بااستفاده‌از سامانه کنترل تطبیقی[6] به‌دست‌می‌آید. هدف چنین سامانه‌ای این است که برای حداکثر نمودن کارایی آبیاری به‌طور خودکار و مداوم میزان کاربرد آب در مزرعه را حسب شرایط زمانی یا مکانی و نیاز آبی گیاه تنظیم و تعدیل نماید.

آبیاری سطحی

روش‌های گوناگون آبیاری سطحی (فارو[7]، نواری[8] و کرتی[9]) هر دو منظور آبیاری (رساندن آب به سراسر زمین تحت آبیاری و نفوذ دادن آب) را برآورده می‌نمایند. خصوصیات نفوذ خاک که شامل تغییرات زمانی (از یک آبیاری تا آبیاری بعدی) و مکانی (در سراسر مزرعه) است، تاثیرگذارترین عامل برای تعیین میزان عملکرد و یا بهره‌وری قابل دسترس آبیاری سطحی می‌باشد. در آبیاری سطحی تنوع نفوذپذیری باعث غیریکنواختی در سرعت جذب آب و سرعت حرکت آب در شیار می‌شود. از طرفی تغییرپذیری خصوصیات خاک به‌عنوان یک محدودیت فیزیکی عمده در رسیدن به بالاترین سطح کارایی آب در زمین‌های تحت آبیاری شیاری شناسایی شده است. لازم به ذکر است بازده آبیاری شیاری تابع واریانس جریان ورودی به شیارها (از شیاری به شیار دیگر) می‌باشد. به‌این‌دلیل در یک مزرعه که به روش آبیاری شیاری، آبیاری می‌شود، انتخاب یک شیار به‌عنوان شاهد یا نمونه بسیار دشوار است. بنابراین ارزیابی خصوصیات نفوذ بر پایه اندازه‌گیری از یک شیار، برآورد دقیقی از بازده آبیاری نخواهد داشت. سامانه‌های آبیاری سطحی دقیق که به‌درستی طراحی و مدیریت می‌شوند تغییرات مکانی و زمانی نفوذ خاک را در تخصیص آب آبیاری لحاظ خواهند کرد. این خصوصیت می‌تواند در شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و مدیریت انطباقی آبیاری (یا کنترل به‌هنگام) استفاده شود.

• شبیه‌سازی آبیاری سطحی

بسته‌های نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی هیدرولیکی آبیاری سطحی توسعه یافته است که با استفاده از آن عمق آب نفوذ یافته شبیه‌سازی خواهد شد. دو مدل مرسوم SIRMOD و WinSRFR به‌دلیل در دسترس بودن بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های مشابه

دیگر برای این‌منظور نیز شامل BORDEV و FURDEV می‌باشند. نرم‌افزارها مشابه نرم‌افزارهای مذکور عموما بر پایه حل عددی معادلات کامل هیدرودینامیک (سنت‌ونانت) و یا نمونه کوتاه شده این معادله (تقریب اینرسی صفر) در مدل WinSRFR می‌باشند. دقت این مدل‌ها در شبیه‌سازی تابع دقت پارامترهای ورودی به‌خصوص پارامترهای نفوذ خاک و پارامترهای زبری می‌باشند. در مدل‌سازی، خصوصیات نفوذ متوسط برای فارو یا کرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییرات پارامترهای نفوذ در مقیاس کوچک باعث می‌شود نفوذ در قسمت‌های زیادی از زمین کم یا بیش‌برآورد شود. اغلب پارامترهای مدل از طریق اندازه‌گیری (جریان ورودی، پیشروی، عمق نفوذ و رواناب) در طول رویداد آبیاری واسنجی و پس از تعیین آن‌ها مدل آماده شبیه‌سازی می‌شود.

با استفاده از بسته نرم‌افزاری IRRIMATE شبیه‌سازی بهبود کارایی آبیاری سطحی انجام خواهد شد (Smith و همکاران،۲۰۰۵). این بسته شامل یک فرآیند پیوسته از اندازه‌گیری میدانی، شبیه سازی، ارزیابی و بهینه‌سازی می‌باشد که از داده‌های اندازه‌گیری شده آبیاری استفاده می‌کند وبا استفاده از آن کارایی آبیاری ارزیابی خواهد شد، همچنین این بسته توصیه‌هایی برای بهترین مدیریت آبیاری در آینده ارائه خواهد داد. این بسته از زیرروال IPARM برای تعیین پارامترهای نفوذ با استفاده از اندازه‌گیری پیشروی آبیاری و رواناب استفاده می‌نماید، که این پارامترها با انتخاب بهترین شدت جریان آبیاری یا زمان قطع جریان در مدل شبیه‌سازی SIRMOD در هر بهینه‌سازی استفاده می‌شوند. Gillies و همکاران (۲۰۱۰) مدل شبیه‌سازی واسنجی و بهینه‌سازی SISCO را توسعه دادند و در ارزیابی آبیاری کرتی به‌کار بردند. این مدل با استفاده از بخش وسیعی از داده‌های اندازه‌گیری شده شامل پیشروی آبیاری، رواناب، پس‌رفت و داده‌های عمق آب خود واسنجی کرده و با حل معکوس پارامترهای نفوذ را برآورد می‌کند. برای بهینه‌سازی آبیاری براساس اهداف تعریف شده توسط کاربر (ترکیبی از سنجه‌های مختلف کارایی) شبیه‌سازی انجام می‌شود. درک تغییرات مکانی-زمانی نفوذ و استفاده از آن در شبیه‌سازی آبیاری شیاری یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد مدل SISCO است. براین‌اساس مدل می‌تواند شدت جریان آبیاری و زمان قطع جریان را که بهترین بازده آبیاری را برای تمام شیارها ارائه می‌دهد تعیین نماید.

• خودکارسازی و کنترل آبیاری سطحی

خودکارسازی و کنترل تطبیقی به‌هنگام، برای لحاظ نمودن تغییرات زمانی نفوذ پیشنهاد شده است. این عملیات موجب ارتقا عملکرد آبیاری نسبت به رویه‌ی مرسوم در آبیاری و کاهش قابل‌توجه در نیروی انسانی مورد نیاز خواهد شد. سامانه‌های کنترلی برای مدیریت آبیاری سطحی می‌تواند به‌صورت کنترل دستی و یا خوکار اجرا شوند. انواع متنوعی از کنترل خودکار از ساده تا پیشرفته در دسترس هستند. اگرچه برای دستیابی به آبیاری سطحی کارآمد خودکارسازی ضروری نیست اما این اقدام سهولت مدیریت، کاهش نیاز به نیروی انسانی و اطمینان بیشتر در کنترل آبیاری را به‌دنبال خواهد داشت.

استفاده از داده‌های مزرعه برای تعیین زمان آبیاری بر اساس اطلاعات رطوبتی خاک و یا کنترل به‌هنگام آبیاری سطحی خواهد بود. لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌ها و پردازش آن‌ها در طول یک رویداد آبیاری برای اصلاح و بهینه‌سازی همان رویداد آبیاری استفاده خواهند شد. در این حالت پیشروی آب در طول فارو یا کرت به‌صورت به‌هنگام اندازه‌گیری شده و با شبیه‌سازی بهترین مقادیر متغیرهای مدیریتی (دبی جریان و زمان قطع/وصل یا کاهش دبی) تعیین می‌شود و در همان رویداد آبیاری متغیرها اصلاح می‌شوند. چنین کنترلی که در آن سازگاری به‌هنگام آبیاری شیاری با تغییرات زمانی-مکانی نفوذ، رطوبت خاک، زبری و افزایش بازده آبیاری همراه خواهد بود کنترل تطبیقی نامیده می‌شود.

سامانه‌های کنترل بازخورد خودکار[10] برای وضعیت‌های مختلف آبیاری سطحی به‌کار گرفته شده است (Niblack و Sanchez، ۲۰۰۸). در این موارد دریافت پاسخ مربوط به پیشروی آب به سمت پایین مزرعه با استفاده از ابزارهای تماسی یا غیر تماسی صورت پذیرفته است.

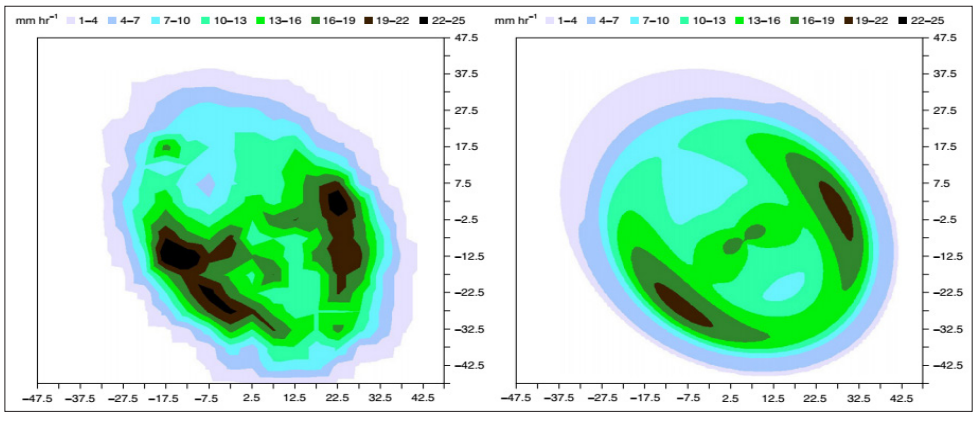
چالش بزرگ در کنترل آبیاری سطحی به‌دست‌آوردن داده‌های مورد نیاز توسط سامانه کنترل در زمان کافی می‌باشد. در همه موارد شکلی از کنترل تطبیقی که پاسخ دریافتی آن پیشروی آب در پایین‌دست مزرعه و خروجی آن عمق آب به‌کار رفته است، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اساس کنترل عملی به‌هنگام آبیاری شیاری عبارتند از: الف) اندازه‌گیری پیوسته جریان از طریق اندازه‌گیری‌های فشار در سامانه عرضه، ب) اندازه‌گیری پیشروی آب در پایین‌دست فارو در یک نقطه‌ی واحد در وسط شیار در هر آبیاری، ج) تخمین به‌هنگام کمبود رطوبت خاک و پارامترهای متداول نفوذپذیری از طریق مشاهده پیشروی آب آبیاری، د) شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به‌هنگام آبیاری برای انتخاب زمان قطع که موجب ماکزیمم عملکرد برای آبیاری خواهد بود (Khatri و Smith، ۲۰۰۷). سامانه کنترل آب مزرعه ترکیبی از تله‌متری رادیویی کوتاه‌برد، ارتباطات راه دور، محاسبات ابری در اینترنت و با تأمین انرژی از طریق پنل‌های خورشیدی می‌باشد، که این تمرکز سامانه‌ها بر روی کنترل رویداد آبیاری در یک قطعه زمین است. اگرچه این امر نقش مهمی در بهبود تأمین آب مورد نیاز گیاه دارد اما برای مدیریت شبکه کافی نیست. سامانه جامع مدیریت آبیاری باید دربرگیرنده‌ی یک سامانه پشتیبانی تصمیم باشد، این سامانه پشتیبانی در مدیریت آب فصلی (بهترین تخصیص به هر گیاه) و حداکثر نمودن بهره‌وری آب در شبکه نقش اساسی خواهد داشت.

سامانه‌های آبیاری بارانی

سامانه‌های آبیاری بارانی در مقایسه با سامانه‌های آبیاری سطحی نیاز به منبع انرژی برای حرکت دارند. این سامانه‌ها برای توزیع مکانی و مقادیر عمق آب به‌کار رفته کنترل بیشتری فراهم می‌آورند.

پیش‌بینی چگونگی هم‌پوشانی آبپاش‌های مجاور (الگوی پاشش) با بررسی الگوی پاشش نازل‌های مختلف تحت‌فشارهای متفاوت و با هدف طراحی مؤثر سامانه‌های آبیاری بارانی (ماکزیمم یکنواختی عمق آب آبیاری) ضروری می‌باشد. طراحی سیستم آبیاری با استفاده از فاصله آبپاش‌ها از زمین، سرعت باد (شکل ۱) و اندازه نازل و فاصله آبپاش‌ها براساس ماکزیمم یکنواختی عمق آب آبیاری صورت می‌گیرد.

در دو دهه اخیر شبیه‌سازی الگوهای پاشش آبیاری بارانی در شرایط باد رشد جدی داشته است. به‌این‌منظور به طور عمده دو روش زیر استفاده می‌شود: ۱- روش قطعی، این روش تئوری بالستیک کلاسیک[11] را به‌منظور محاسبه برد پاشش قطرات آب به‌کار می‌برد. ۲- روش‌های تجربی، این روش شامل برون‌یابی الگوی اندازه‌گیری شده توزیع پاشش نازل برای سرعت و جهت مختلف باد در فشار و زاویه‌ی پاشش‌های متفاوت می‌باشد. یکی از روش‌های تجربی به‌کار گرفته شده مدل TRAVGUN[12] می‌باشد که در آن از شش عامل تجربی برای تعیین الگوی پاشش آبپاش در شرایط باد استفاده شده است. خروجی مدل شامل وضعیت یکنواختی پاشش تحت پارامترهای طراحی مختلف (زاویه قطاع خیس شده[13]، فاصله‌ی لترال‌ها، جهت جابه‌جایی دستگاه، و سرعت و جهت باد) می‌باشد. کاربر می‌تواند پارامترهای طراحی را به‌منظور یافتن بهترین طراحی (حداکثر یکنواختی پاشش) تغییر دهد. در مقابل، مدل SIRIAS[14] (Carrion و همکاران، ۲۰۰۱؛ Montero و همکاران، ۲۰۰۱) در شبیه‌سازی الگوی پاشش بر اساس تئوری بالستیک قطره‌های بارانی عمل می‌نماید. از آنجاکه الگوی پاشش، اثر باد را شبیه‌سازی می‌کند، برای واسنجی این مدل به الگوی شعاعی پاشش اندازه‌گیری شده در هوای آرام نیاز است؛ الگوهایی که توسط مدل SIRIAS پیش‌بینی شده است، می‌توانند در برنامه‌های طراحی آبیاری بارانی استفاده شوند. در مدل mBOSS (Foley، ۲۰۱۱) که از مدل SIRIAS برگرفته شده است، به‌عنوان یک مدل پیشرفته هم‌پوشانی الگوهای تحت تأثیر باد مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱- الگوی پاشش اندازه‌گیری شده برای آبپاش تفنگی با سرعت باد ۳/۵۸ متر بر ثانیه (سمت چپ) و الگوی پاشش پیش‌بینی شده برای همان آبپاش و سرعت باد (سمت راست) (Smith و همکاران، ۲۰۰۸)

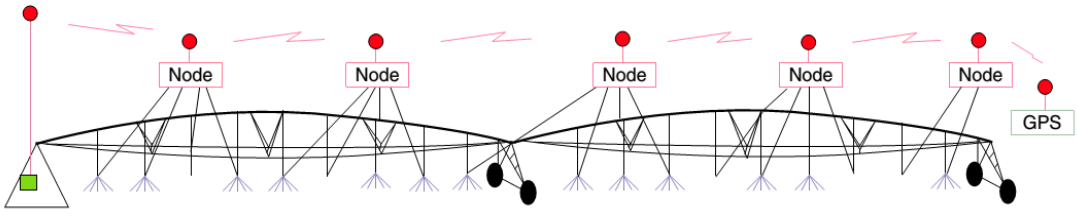
• سامانه‌های آبیاری بارانی سنترپیوت و لینیر با پاشش متغیر مکانی

توسعه سامانه‌های آبیاری بارانی متحرک با اجرای برنامه‌های کاربرد متغیر مکانی آبیاری سازگار هستند. برترین کارایی این سامانه‌های آبیاری با به‌کارگیری فناوری دقیق کاهش انرژی[15] (LEPA) به‌دست خواهد آمد (Lyle و Bordovsky، ۱۹۸۳). در سامانه LEPA پاشش آب به زمین از طریق آبپاش‌ها و یا بابلرهای بسیار کم فشار در نزدیکی سطح خاک صورت می‌پذیرد. کارآیی این سیستم از طریق کاهش بادبردگی قطرات، کاهش برگاب و تبخیر بهبود می‌یابد. اولین پژوهش بر روی آبیاری دقیق با سامانه‌های بارانی در اوایل دهه ۱۹۹۰ در ایالات متحده آمریکا شروع شد. این پژوهش در راستای اصلاح سامانه‌های آبیاری بارانی سنترپیوت و لینیر برای کاربرد متغیر مکانی آب آبیاری و توزیع دقیق کود ازت آغاز شد. به این منظور توزیع آب (یا کود) براساس داده‌های مکانی ذخیره شده در پایگاه داده و اطلاعات جمع‌آوری شده قبلی تنظیم می‌شود.

سامانه‌های آبیاری نرخ متغیر[16] (VIR) برای اعمال خاص مکانی آب و به‌منظور تطبیق با تغییرپذیری منطقه، استفاده می‌شوند. این سامانه‌ها قابلیت کنترل و اعمال آب بر اساس رطوبت واقعی خاك، اطلاعات تبخیر از سطح مزرعه و یا شبکه مرجع آب و هوایی را دارد. فناوری‌های مختلفی برای برنامه آبیاری نرخ متغیر استفاده شده است که عبارتند از: الف- آبپاش‌های متعدد و با نرخ‌های ثابت متفاوت: این آبپاش‌ها در ترکیب با یکدیگر عمق‌های کاربرد آب آبیاری مختلف را می‌توانند تأمین نمایند ب- آبپاش‌های با نرخ ثابت و جریان متناوب: به‌منظور فراهم کردن عمق‌های متفاوت کاربرد آب آبیاری میزان پاشش تابع فرکانس قطع و وصل جریان می‌باشد ج- آبپاش‌های با روزنه متغیر[17] که با زمان اندازه روزنه کنترل و تغییر داده می‌شود.

سامانه آبیاری دورانی Farmscan ۷۰۰۰ VRI (در استرالیا) و سامانه آبیاری دقیق (نیوزلند) (Precision Irrigation، ۲۰۱۴)

نمونه‌هایی از سامانه‌های موجود در بازار برای آبیاری متغیر مکانی می‌باشند. همچنین سامانه نیوزلندی که دارای کنترل آبپاش‌ها به‌صورت منفرد می‌باشد با استفاده از بیسیم و فناوری GPS در سال ۲۰۰۸ به بازار آمد (شکل ۲).



شکل ۲- دیاگرام شماتیک کنترل آبپاش‌ها به‌صورت منفرد با استفاده از GPS و بی‌سیم

سامانه‌های آبیاری موضعی

سامانه‌های آبیاری موضعی برای مرطوب کردن بخشی از خاک که توسط ریشه گیاه اشغال شده است و با استفاده از گسیلنده‌هایی که به فواصل مناسب در طول خط لوله قرار دارند طراحی شده است. حفظ رطوبت خاک منطقه ریشه نزدیک به رطوبت بهینه، هدف این سامانه‌ها می‌باشد. کاهش تبخیر از سطح خاک، کاهش رشد علف هرز و بهبود یکنواختی آبیاری از مزایای آبیاری موضعی می‌باشد که با کنترل دقیق کاربرد آب در هر مکان صورت خواهد پذیرفت. قابلیت کاربرد آبیاری در مقادیر کم از دیگر مزایای آبیاری موضعی می‌باشد، آبیاری با مقادیر کم و فواصل کوتاه می‌تواند موجب حفظ رطوبت خاک در حد معینی برای بخش یا تمام فصل رشد گیاه شود. تحت چنین سامانه‌ای و با مدیریت صحیح می‌توان اثربخشی بارش در طول فصل آبیاری را افزایش داد.

کارایی بالقوه سامانه‌های آبیاری موضعی بیش از ۹۰ درصد است، در این روش به دلیل کوچک بودن سطوح مرطوب شده تلفات تبخیر کمتر بوده و معمولاً رواناب سطحی وجود ندارد. در سامانه‌های آبیاری موضعی به دلیل پایین بودن نرخ کاربرد، تلفات رواناب کم می‌باشد. در تمامی سامانه‌های آبیاری بازده آبیاری تابع مدیریت و خصوصیات فیزیکی سامانه، تأثیر کمتری بر بازده آبیاری دارند. در عمل و در ارزیابی‌های میدانی مقادیر بازده از ۲۵ تا ۱۰۰ درصد اندازه‌گیری شده است که مقادیر کوچک بازده مربوط به عدم مدیریت صحیح بوده است، درحالی‌که آبیاری موضعی قابلیت دستیابی به بازده تا ۱۰۰ درصد را دارد (Schache، ۲۰۱۱). لازم به ذکر است چیدمان لوله‌های آبیاری موضعی در راندمان سیستم مؤثر خواهد بود و دلیل عمده غیریکنواختی توزیع آب تحت سامانه‌های آبیاری موضعی، تغییرات فشار در طول خطوط لوله لترال، کیفیت ساخت و انسداد گسیلنده‌ها می‌باشد. یکنواختی توزیع بالا برای به‌کار گرفتن سامانه آبیاری در یک برنامه آبیاری دقیق، ضروری می‌باشد. سامانه‌های آبیاری موضعی برای تحویل دقیق‌تر آب نسبت به سامانه‌های دیگر پتانسیل بیشتری دارند. این سامانه‌ها به سهولت کنترل می‌شوند و خودکارسازی آن‌ها براساس زمان، رطوبت خاک یا براساس زمان-دما انجام می‌شود. همچنین این سامانه‌ها برای کنترل تطبیقی مناسب بوده و پتانسیل آبیاری با توزیع متغیر مکانی در مقیاس‌های متعدد (از لاترال‌ها تا گسیلنده‌های منفرد) دارند. علاوه‌براین کنترل‌کننده‌هایی با توانایی تصمیم‌گیری، ویژه سامانه‌های آبیاری موضعی به‌منظور اعمال نرخ متغیر آبیاری براساس اطلاعات به‌هنگام دریافت شده از حسگرهای رطوبتی خاک در دسترس می‌باشند. پیاده‌سازی آبیاری دقیق مستلزم استفاده مشترک از کنترل کننده‌های «نرخ متغیر» و «متغیر مکانی» همراه با برخی تنظیمات اضافی است.

فناوری‌های پیشرفته در مدیریت آبیاری

سامانه‌های فناوری پیشرفته آبیاری در این بخش نیازمند سامانه‌های پشتیبانی تصمیم DSS می‌باشند. چنین سامانه‌ای با دریافت اطلاعات از شبکه بی‌سیم حسگرها[۱۸]، در زمان معین سامانه آبیاری را راه‌اندازی و مقدار معین آب را در هر مکان تخلیه می‌نماید. هدف به حداکثر رساندن سود به‌دست‌آمده است که باید توجیه کننده‌ی سرمایه‌گذاری در این فناوری پیشرفته باشد. زیرا به کمک تجهیزات جدید و روش‌های به‌روز و کارآمد امکان بهینه‌سازی (زمان آبیاری، تعیین تغییرات مکانی آبیاری و میزان کاربرد آب آبیاری) فراهم خواهد شد، به‌این‌دلیل سامانه پشتیبانی تصمیم در کنار تجهیزات پیشرفته قرار داده می‌شود. بنابراین هدف برنامه‌ریزی پیشرفته آبیاری تعیین مکان دقیق و مقدار بهینه آبیاری به‌ویژه در دوره‌های بحرانی می‌باشد که براساس نیاز آبی گیاه و خصوصیات رطوبتی خاک تعیین می‌شود. فناوری‌های جدید سنجش رطوبت خاک (حسگرها) داده‌های مورد نیاز برنامه‌ریزی پیشرفته آبیاری را با قابلیت تأمین وضوح زمانی و مکانی بالا فراهم می‌نمایند. اگرچه اطلاعات نیاز آبی روزانه گیاه مفید است اما پایش رطوبت خاک ابزار اصلی برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر در زمینه فناوری‌های WSN و دسترسی تجاری به آن‌ها برای پایش مکانی متناسب با مزرعه، ابزار لازم را ارائه می‌نمایند. نتیجه حاصل از این پیشرفت‌ها ترکیب هوشند حسگرها، گره‌های بی‌سیم (برای برقراری

ارتباط)، اینترنت، انتقال از طریق تلفن همراه تحت پروتکل‌های پردازش و گزارش می‌باشد.
عبارت «آبیاری دقیق» بازتابی از مفهوم کلان کشاورزی دقیق است که با کمک GPS و حسگرها برای تعیین مکان، زمان و مقدار مناسب آبیاری داده‌های لازم را فراهم می‌آورد. کشاورزی دقیق با پایش تغییرات مکانی نهاده‌ها که تا قبل از دهه ۱۹۸۰ نادیده گرفته می‌شد ابزار مناسبی برای مدیریت آبیاری دقیق، به همراه فناوری‌های جدید GPS فراهم نموده است.

• پیشرفت در برنامه‌ریزی آبیاری

اساس کار در طراحی سامانه‌ها آبیاری نیاز آبی فصلی و دوره‌ای گیاه است و براساس نیاز آبی دوره بحرانی و دبی پیک حداکثر سطح کشت تعیین می‌شود. به کمک ابزارهای برنامه‌ریزی آبیاری تغییرات تبخیر-تعرق روزانه هر گیاه نسبت به مقادیر فصلی برآورد و براساس آن برنامه آبیاری مجدداً تنظیم و تدقیق می‌شود که ملاک آبیاری خواهد بود.
فناوری‌های پیشرفته برای ارزیابی تلفات تبخیر تعرق منطقه‌ای شامل سنجش از دور توسط ماهواره‌ها یا پویشگرهای هوایی[19] می‌باشد. از دهه ۱۹۷۰ ماهواره‌های چند طیفی مانند رادیومترهای پیشرفته با وضوح بسیار بالا مانند مودیس[20] و لندست به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق استفاده شدند. بااین‌حال رشد فناوری طیف‌سنجی تصویری همراه با افزایش دسترسی به عکس‌های هوایی فرصت‌های جدیدی را برای افزایش دقت برآورد تبخیر-تعرق توسط سنجش از دور هوایی فراهم می‌نمایند. ناسا برای تعبیر طیف‌نگاری‌های تصویری، استانداردی تدوین نموده که در آن دامنه طیف مرئی و مادون قرمز به ۲۲۴ باند با عرض ۱۰ نانومتر تقسیم شده است. عکس‌های هوایی تهیه شده توسط این طیف‌نگارها برای تعیین تبخیر و تعرق و درک فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مناسب هستند. اگر چه آن‌ها از نظر گستره پوشش محدود و برای برآوردهای منطقه‌ای نامناسب و برای برآوردهای مزرعه‌ای (نقطه‌ای) مناسب هستند.
برنامه‌ریزی آبیاری روزانه بر اساس مدل‌های بیلان آب خاک می‌باشد که کمبود رطوبت خاک را به‌صورت روزانه و با استفاده از ورودی‌های خاک، گیاه، آب و هوا و عرض جغرافیایی به‌وسیله مقدار تبخیر تعرق روزانه‌ی محاسبه شده تعیین می‌نمایند. در این رویکرد عامل تعیین کننده در آغاز هر آبیاری و تعیین زمان‌بندی آبیاری، رسیدن رطوبت خاک به مقدار بحرانی (تخلیه مجاز رطوبتی) می‌باشد. ابزارهای مدل‌سازی مرسوم بسیار مفید هستند اما در تشخیص تغییرات مکانی درون مزرعه دچار کاستی می‌باشند و نمی‌توانند شبیه‌ساز مناسبی برای شرایط متغییر مزرعه (غرقاب شدن، تراز سطح آب بالا، رشد متغیر گیاه به هر دلیل و ...) باشند. ابزارهای برنامه‌ریزی پیشرفته‌ی آبیاری نیازمند اطلاعاتی در خصوص تغییرات مکانی عوامل مؤثر در آبیاری می‌باشند تا براساس آن بتواند پهنه‌بندی این عوامل در مزرعه را از نظر رطوبت خاک به دقت برآورد نماید. عوامل مؤثر در طراحی آبیاری شامل توپوگرافی، عمق خاک، بافت خاک و قابلیت ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد. همچنین بهره‌وری مزرعه نه تنها تابع آبیاری بلکه تابع مدیریت سایر عوامل، شامل خاک‌ورزی، حاصلخیزی، کنترل بیماری‌ها و آفات و ویژگی‌های سامانه‌های آبیاری مختلف است. همچنین اعمال سناریوهای آبیاری دقیق وابسته به سطح فناوری و زیرساخت آبیاری مزرعه است. سنجش تنش آبی گیاهان به‌عنوان روشی برای برآورد نیاز آبی گیاه می‌باشد. به‌عنوان مثال Peters و Evett (۲۰۰۸) روش «درجه حرارت- زمان- آستانه» را استفاده کردند، آن‌ها در این روش دمای برگ گیاهان را با استفاده از دماسنج‌های ترموکوپل مادون قرمز که متصل به خرپاهای محور سامانه آبیاری سنترپیوت شده بود به‌صورت خودکار اندازه‌گیری کردند و براساس این داده‌ها شاخص تنش گیاه را برای سطح مزرعه محاسبه نمودند. روش دیگر برای تعیین تنش آبی گیاه از طریق اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک است. در این روش تنش آبی با میزان تخلیه روزانه رطوبت خاک مرتبط فرض شده است. ابزارهای سنجش رطوبت خاک مرسوم‌ترین ابزارها برای راه‌اندازی خودکار سامانه و برنامه‌ریزی آبیاری هستند. درحال حاضر انواع متعددی از سنسورها جدید و پیشرفته برای پایش آب، خاک دردسترس می‌باشند (Cardenas-Lailhacar و همکاران، ۲۰۱۰). بهبود دقت سنسورهای رطوبت خاک با واسنجی آن‌ها (با خاک و شرایط مزرعه) و اطمینان از تماس کامل ان سنسورها با خاک محقق می‌شود.
خودکارسازی در آبیاری سطحی با آبیاری تحت فشار متفاوت است زیرا معمولاً در آبیاری سطحی دور و مقدار آب دریافتی برای آبیاری ثابت است، تحت چنین شرایطی برنامه‌ریزی آبیاری به شدت محدود می‌شود. علاوه‌براین امکان اعمال آبیاری مکان خاص[21] در آبیاری سطحی وجود ندارد. بنابراین تعریف کشاورزی دقیق در آبیاری سطحی به «ارائه بهترین زمان‌بندی آبیاری قطعات» تقلیل می‌یابد. اما به دلیل اینکه کنترل و مانور دقیق سازه‌های تنظیم و توزیع آب توسط کنترل‌گرهای خودکار نادیده گرفته شده است، ابزارهای برنامه‌ریزی در مقیاس‌های ورای قطعه (مزرعه، شبکه و ...) نیز اهمیت پیدا می‌کند. افزونه‌های GIS ابزار مناسبی برای مدیریت آبیاری دقیق در این مقیاس بوده که موجب تأمین منصفانه آب آبیاری می‌شوند. بهترین زمان‌بندی آبیاری قطعات متأثر از الف- تفاوت‌های خاک (بافت و ...)، گیاه و تحویل آب به مزارع از کانال اصلی یا چاه، ب- نبود یا محدودیت مخازن ذخیره‌سازی و ج- نابرابری در توزیع آب به کانال‌های درجه سوم است (Rowshon و همکاران، ۲۰۰۹). آبیاری دقیق برای آبیاری سطحی شامل سه مرحله است: ۱- پیش‌بینی تقاضای آب برای آبیاری هر واحد ۲- شبیه‌سازی و بهینه‌سازی و ۳- توصیه بهترین استراتژی تأمین آب واحدهای متقاضی (اردمه، ۱۳۹۴)

• نگاشت رطوبت خاک[۲۲]

اخیراً پیشرفت‌های فناوری در کاربرد سنجش‌های زمین‌مبنا توأم با ثبت موقعیت (GPS) امکان نگاشت سریع و مقرون‌به‌صرفه اطلاعات کاربری اراضی، خاک و گیاه را برای اخذ تصمیم‌های آگاهانه در مدیریت آبیاری فراهم می‌آورند. برخی از ابزارهایی که اطلاعات رطوبت خاک را در مساحت‌های بزرگ ارائه می‌کنند شامل امواج ماکروویو در سنجش از دور (شامل تصاویر هوایی و ماهواره‌ای) و تجهیزات راداری فعال می‌باشد، که به زبری سطح (پوشش گیاهی) بسیار حساس هستند و بهترین نتایج آن‌ها مربوط به شرایط زمین مسطح و بدون پوشش گیاهی می‌باشد (Jonard و همکاران، ۲۰۱۱؛ Kseneman و همکاران، ۲۰۱۲) که عدم تأثیرپذیری آن‌ها از پوشش ابر مزیت این دو روش می‌باشد. کاربری امواج ماکروویو و روش‌های راداری با کمک تجهیزات زمینی نیز مرسوم است. این تجهیزات که بر روی وسایل نقلیه برای نقشه‌برداری رطوبت خاک نصب شده است جهت مدیریت آبیاری متغیر مکانی استفاده می‌شوند. لازم به ذکر است این روش‌ها نیازمند واسنجی در مزرعه می‌باشند. توموگرافی مقاومت الکتریکی[۲۳] و TDR دو نمونه از روش‌های مرسوم و با دقت مناسب در اندازه‌گیری رطوبت خاک می‌باشند اما ثابت بودن ابزارهای تعبیه شده در زمین ضعف هر دو روش است (Kelly و همکاران، ۲۰۱۱). مزیت عمده استفاده از این روش‌ها تولید داده‌ها و اطلاعات دیجیتالی است. داده‌های دیجیتالی به راحتی در کامپیوترها پردازش شده و اطلاعات به‌هنگام دقیقی از میزان تبخیر-تعرق گیاه و یا رطوبت خاک، به‌صورت نقشه در اختیار کاربران قرار می‌دهند. علاوه‌برآن داده‌های دیجیتالی در بستر شبکه‌های کابلی و یا بی‌سیم انتقال داده وارد شده و برای افراد مختلف در هر قسمتی از دنیا قابل مشاهده هستند. این اطلاعات می‌توانند ورودی‌های سامانه‌های پشتیبانی تصمیم (حلقه باز و یا حلقه بسته) را فراهم نموده و به‌عنوان ابزار اتخاذ تصمیم‌های دقیق، صحیح و سریع توسط مدیران مزرعه مورد استفاده قرار گیرند. در بهترین حالت کامپیوتر می‌تواند آبیاری دقیق مزرعه را هوشمندانه و به‌صورت خودکار مدیریت نماید.

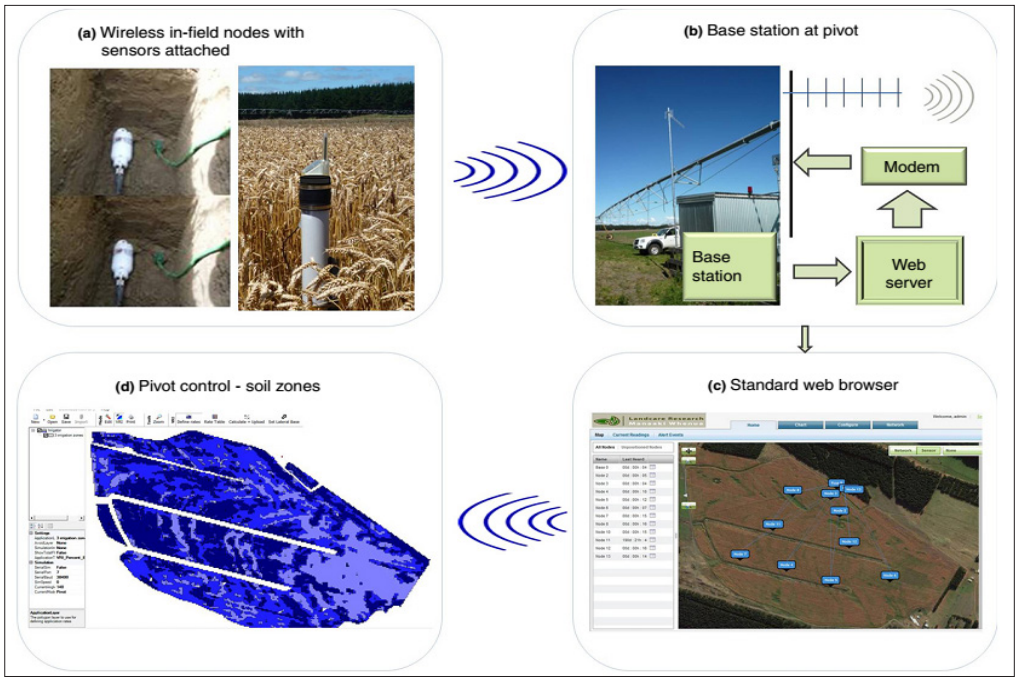
• نقش اینترنت در آبیاری دقیق

نوآوری‌های اخیر در سنسور کم ولتاژ و فناوری‌های بی‌سیم هم‌زمان با پیشرفت در اینترنت و فناوری‌های ارتباطی تلفن همراه فرصت‌هایی را برای توسعه و کاربرد سامانه‌های مدیریت به‌هنگام آبیاری دقیق فراهم آورده است (Evans و همکاران، ۲۰۱۲). مدیریت آبیاری دقیق به شدت وابسته به داده‌های متغیر مکانی و رزولوشن این داده‌ها است. رزولوشن بالای مکانی می‌تواند به کمک حسگرهای متصل به اینترنت[۲۴] (SWE) با دسترسی به شبکه GPS و با فناوری‌های هوشمند WSN اصلاح و تکمیل شود.

سنسورهای بی‌سیم با ارسال سیگنال به درگاه تبادل اطلاعات به اینترنت مرتبط می‌شوند. سپس این داده‌ها به وب-سرور انتقال داده شده و بر روی پایگاه داده ذخیره و نگهداری خواهند شد. اکنون هر کامپیوتر شخصی متصل به اینترنت می‌تواند با دسترسی پایگاه داده و یا وب-سرور از داده‌های ذخیره شده و از جریان داده‌های به‌هنگام برای تحلیل وضعیت رطوبت خاک و یا ... استفاده نماید. تجمیع اطلاعات سنسورها در سطحی وسیع (تعداد زیاد سنسورهای متنوع و با پروتکل‌های انتقال اطلاعات متمایز) و ایجاد پایگاه ابرداده[۲۵] نیازمند یک زیرساخت منسجم و مستقل از بسترهای[۲۶] تولید داده برای یکسان سازی فرمت داده‌ها و تسهیل تبادل اطلاعات می‌باشد. استاندارد OGC برای چنین امری فراهم شده است که به‌عنوان واسط بین سرویس گیرنده و داده‌های سنسور عمل می‌کند (Broring و همکاران، ۲۰۱۱). باتوجه‌به کاهش قیمت روزافزون فناوری‌های بی‌سیم و دیجیتال این فناوری‌ها در حال تجاری شدن برای استفاده در مقیاس مزرعه و در ترکیب با سامانه‌پشتیبانی‌تصمیم‌می‌باشند. این‌ترکیب‌فرصت‌اتخاذ‌تصمیم‌های بهینه را حتی از راه دور به آسانی فراهم می‌آورد که ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب منجر به تولید بیشتر می‌شود. نصب حسگرهای بی‌سیم (WSN‌ها) توجیه‌پذیرتر از به‌کارگیری حسگرهای سیمی موجود است به‌ویژه هنگامی که فراهم آوردن داده‌ها با رزولوشن مکانی بالاتر مورد نیاز باشد. زیرا رزولوشن بالا نیازمند نصب سنسورها با تراکم بیشتر است. تمایز سیگنال‌های حسگرهای بی‌سیم از یکدیگر به کمک علائم همراه شده با فرکانس رادیویی (FM، بلوتوث، ...) ممکن خواهد شد. در شکل (۳) مراحل استفاده از WSN در برنامه‌ریزی آبیاری دقیق نمایش داده شده است. امروزه سامانه آبیاری دقیق با استفاده از فناوری شبکه حسگر در ترکیب با سامانه عامل اندروید/IOS توسعه یافته است. داده‌ها از طریق Wi-Fi به‌صورت به‌هنگام از حسگرها به تلفن‌های همراه منتقل می‌شوند (Isık و همکاران، ۲۰۱۷).

• مدیریت آبیاری دقیق

ابزارهای خاصی برای مدیریت آبیاری دقیق توسعه یافته است. یکی از مهم‌ترین این ابزارها نقشه‌برداری EM است که می‌تواند با مانیتورینگ متغیر مکانی داده‌های به‌هنگام رطوبت خاک را برای مدیریت آبیاری دقیق فراهم نماید. در یک تجربه خاص از آبیاری متغیر مکانی، علاوه‌بر تغییرات خاک در سطح مزرعه از نقشه EM و نقشه اراضی تحت کشت برای برآورد ظرفیت نگهداری آب استفاده می‌شود و با داشتن نوع خاک، میزان رطوبت در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی این پارامتر برآورد می‌شود. نوع گیاه کشت شده عمق ریشه (در طول دوره رشد گیاه) را تعیین می‌کند. اکنون برای هر نوبت آبیاری براساس نقشه EM برای هر نقطه از مزرعه میزان آب آبیاری تعیین می‌شود. این لایه‌ها به‌منظور مدیریت آبیاری دقیق در اختیار کشاورز قرار می‌گیرد و با استراتژی آبیاری دقیق به هر میزانی که درجه تغییرپذیری‌ها (خاک و گیاه و رطوبت و ...) بیشتر شود فرصت برای صرفه‌جویی بیشتر آب و افزایش بازده و بهبود عملکرد تولید و در نهایت بهره‌وری فراهم می‌شود.



شکل ۳- مراحل کاربرد WSN در برنامه‌ریزی آبیاری دقیق (Hedley و همکاران، ۲۰۱۳)

• اهمیت مقیاس در آبیاری دقیق

مقیاس مناسب برای پیاده‌سازی آبیاری دقیق در اصل وابسته به توجیه اقتصادی آن است یعنی در اثر راه‌اندازی آبیاری دقیق چه میزان منفعت حاصل می‌شود و آیا این منفعت از هزینه آبیاری دقیق بیشتر است یا کمتر؟ واضح است در حالتی‌که منفعت بیشتری به‌دست‌آید استراتژی آبیاری دقیق دنبال خواهد شد. لازم است قبل از تصمیم‌گیری در مورد به‌کارگیری آبیاری دقیق با استفاده از شبیه‌سازی، برآوردی از میزان اثربخشی آن به‌دست آید و در صورت توجیه‌پذیر بودن (باتوجه‌به عدم قطعیت‌ها) اقدام شود، نتایج واقعی ممکن است انطباق کاملی بر نتایج مدل شده نداشته باشد. در کشاورزی سنتی قطعه زمین‌های تحت آبیاری بسیار کوچک هستند به‌این‌دلیل میزان تفاوت مکانی (خاک) در آن ناچیز است و درصورتی‌که اراضی یکپارچه مدیریت شوند این تفاوت مکانی را می‌توان بررسی نمود. در اراضی بسیار بزرگ این استدلال که به دلیل تنش‌های آبی تولید ناهمسان محصول در سطح مزرعه به‌وجود خواهد آمد کاری ناممکن می‌باشد لذا نمی‌توان توجیه‌پذیری آبیاری دقیق را بررسی نمود.

• نقش دماسنج گرمایی و دوربین‌ها در آبیاری دقیق

از دهه ۱۹۹۰ مشخص شد که گرمانگاری نسبت به مشاهدات بصری می‌تواند نتیجه بهتری برای تشخیص زود هنگام بیماری گیاه دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که عکس‌های مربوط به دوربین مادون قرمز گرمایی با استفاده از GPS و امکانات GIS قادر به تشخیص تنش‌های زیستی (پوسیدگی ریشه) و تنش‌های غیرزیستی (خشکسالی) هستند (Falkenberg و همکاران، ۲۰۰۷). داده‌های مربوط به عکس‌های گرمایی قادر هستند نقشه‌هایی با مساحت بزرگ که نشان دهنده موقعیت گیاهانی با تنش آبی هستند را تعیین کنند. دمای پوشش تاج درخت را می‌توان با استفاده از روش‌هایی شی‌گرا استخراج کرد که مانع از ترکیب پیکسل‌های خاک و پوشش گیاهی می‌شود (Gonzalez-Dugo و همکاران، ۲۰۱۳). دماسنج‌های مادون قرمز یک ناحیه کوچک از مزرعه را در هر زمان ارزیابی می‌کنند. اگر دماسنج‌های مادون قرمز روی سامانه آبیاری متحرک نصب شوند و داده‌ها به‌صورت پیوسته جمع‌آوری شوند اطلاعات در مکان و زمان فراهم خواهد شد. سنسورهای عکس‌برداری مرئی نسبت به عکس‌برداری مادون قرمز گرمایی کم‌هزینه‌تر هستند و توانایی تشخیص و شدت رنگ با استفاده از مولفه‌های RGB[۲۷] پیکسل‌ها را دارند. سنسورهای عکس‌برداری مرئی قابل دسترس به نور نزیک، به امواج مادون قرمز و نور ماوراء بنفش حساس هستند. همچنین در صورتی‌که پردازش تصویر خودکار شود عکس‌های دیجیتالی برای تصمیم‌گیری در مدیریت آبیاری دقیق می‌تواند مفید باشد. مزیت عکس‌های دیجیتالی این است که با استفاده از عکس‌های دیجیتالی داده‌ها به فرمتی که دیده شود قابل تبدیل هستند می‌توانند به آسانی ارزیابی شوند. عکس‌های دیجیتالی (طیف مرئی، مادون قرمز و بالاتر) با استفاده از روش‌های مختلف پردازش می‌شوند که عکس را به پیکسل‌ها تفکیک و به شدت طیف در باندهای مختلف در یک پیکسل تبدیل و اطلاعات مربوط به وضعیت گیاه را تولید می‌کند.

• فناوری پهپاد در آبیاری دقیق

با فراوان شدن پهپادها در بازار و مقرون‌به‌صرفه شدن هزینه‌ی آن‌ها دریچه دیگری به‌روی آبیاری دقیق (و یا حتی مدیریت مزرعه دقیق) گشوده شده است. فناوری‌های سنجش از دور در دو دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است. ترکیب دو فناوری نصب دوربین مناسب بر روی پهپادها و استفاده از آن برای پایش مزرعه (ازجمله رطوبت خاک و ...) تحول عظیمی در شیوه مدیریت کشاورزی (به‌ویژه آبیاری) فراهم آورد. درحالی‌که ممکن است اطلاعات به‌دست‌آمده از تعدادی از باندهای سنجنده‌های چندطیفی برای متمایز کردن گیاهان از پدیده‌های غیرگیاهی مفید باشند تفکیک گونه‌هایی که بازتابندگی مشابه هم دارند از یکدیگر مشکل خواهند بود که این مسئله نیاز به تصاویر با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالاتر دارد. برای تحقق این امر از پهپادها استفاده می‌شود که هم‌زمان با توسعه این پهپادها سنجنده‌های تصویربرداری با ابعاد کوچکتر و سبک‌تر طراحی و ساخته شده است. تصویربرداری هوایی نسبت به تصویربرداری ماهواره‌ای قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی بهتری را ارائه خواهد کرد. تحولات و پیشرفت‌های اخیر در ساخت پرنده‌های بدون سرنشین، سکوها، سامانه‌های عامل، سنجنده‌ها و تکنیک‌های پردازش تصویر موجب توسعه بیشتر علم سنجش از دور شده است. پهپادها با استفاده از یک سکو کوچک مجهز به یک سنجنده RGB چندطیفی، ابرطیفی، تصویربرداری حرارتی و لیزر اسکنرها اطلاعات مفید و به روزی ارائه می‌کنند.

تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر «کامران داوری» به دلیل راهنمایی و نیز همکاری بی‌دریغ ایشان جهت پیشبرد این مقاله سپاسگزاریم.

جمع‌بندی

باتوجه‌به اینکه سهم عمده‌ای از منابع محدود آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود سیاست‌گذاری برای مدیریت بهینه مصرف آب امری ضروری بوده و به‌این‌دلیل تحقیقات اخیر محققان به‌منظور افزایش بازده آبیاری و کارایی مصرف آب در راستای خودکارسازی (آبیاری دقیق) بوده است. آبیاری دقیق قابل انطباق بر کلیه‌ی روش‌های آبیاری و گیاهان در هر زمان و مکان است. در آبیاری دقیق یك هماهنگی واحد بین مدیریت پیشرفته آبیاری و قرائت و پایش اطلاعات، مدل‌سازی و کنترل وجود دارد. این مفهوم بازتابی از مفهوم کلان کشاورزی دقیق است که با کمک GPS و حسگرها داده‌های لازم برای تعیین مکان، زمان و مقدار مناسب آبیاری را ارائه می‌کند. در این مقاله آخرین فناوری‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری موجود برای بهبود کاربرد آب در آبیاری در مقیاس مزرعه و مقیاس‌های بزرگتر از قبیل ابزاردقیق و یا سنجش از دور و شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شد. باتوجه‌به مطالعات بررسی شده در این تحقیق اولین قدم در بحث کشاورزی دقیق در ایران شناسایی توانایی‌ها و قابلیت‌های بالقوه می‌باشد که محلی شدن این فناوری را به دنبال خواهد داشت. از طرفی اطلاعات و آموزش و به‌کارگیری فناوری‌های مرتبط با کشاورزی دقیق امری مهم در توسعه و اجرای آن می‌باشد.

پی‌نوشت

1-Efficiency
2-Productivity
3-Sufficiency
4-Uniformity
5-Water Wastage
6- Adaptive control systems
7- Furrows Irrigation
8- Border dykes Irrigation
9- Basin Irrigation
10- Automated feedback control systems
11-Traditional Ballistic Theory
12-Travelling gun irrigation
۱۳- زاویه قطاعی که در آبیاری با دستگاه‌های بارانی تفنگی، زمین در آن محدوده خیس می‌شود.
14- SImulaciÓn de RIego por ASpersiÓn
15-Low-Energy Precision Application
16-Variable Rate Irrigation
17-Variable-Aperture Sprinklers
18-Wireless Sensor Networks (WSNs)
19-Airborne Scanner
20-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
21- Site-specific irrigation
22-Soil Moisture Mapping
23-Electrical Resistivity Tomography
24-Sensor Web Enablement
25-Metadata
26-Platform
27-Red, Green and Blue

منابع

اردمه، م.ر. ۱۳۹۴. طراحی و ساخت یک سامانه‌ی اتوماسیون آبیاری شیاری به‌صورت به‌هنگام به کمک میکروکنترلرهای AVR و ارزیابی عملکرد آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران.

درگاه شبکه مطالعات سیاست‌گذاری عمومی. ۱۳۹۴.

http://npps.ir/ArticlePreview.aspx?id=61518

Broring A., Echterhoff J., Jirka S. and et al., 2011. New generation sensor web enablement. Sensors, 11: 2652–2699.

Cardenas-Lailhacar B., Dukes M.D. and Miller G.L. 2010. Sensor-based automation of irrigation on bermudagrass during dry weather conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136(3): 161–223

Carrion P., Tarjuelo J.M. and Montero J. 2001. Sirias: A simulation model for sprinkler irrigation 1, Description of the model. Irrigation Science, 20(2): 73–84.

Evans R.G., Iversen W.M. and Kim Y. 2012. Integrated decision support, sensor networks, and adaptive control for wireless site-specific sprinkler irrigation.Applied Engineering in Agriculture, 28(3): 377–387.

Falkenberg N.R., Piccinni G., Cothren J.T., Leskovar D.I. and Rush C.M. 2007. Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton. Agriculture Water Management, 87: 23–31.

Foley J. 2011. Performance improvement of centre pivots and lateral moves. PhD Dissertation, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.

Gillies M.H., Smith R.J., Williamson B. and Shanahan M. 2010. Improving performance of bay irrigation through higher flow rates. Australian Irrigation Conference and Exhibition .Irrigation Australia Limited. Mascot, NSW, Sydney.

Gonzalez-Dugo V., Zarco-Tejada P., Nicolas, E. and et al. 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. Precision Agriculture, 14(6): 660–678.

Hedley C.B., Roudier P., Yule I.J., Ekanayake J. and Bradbury S. 2013. Soil water status and water table modelling using electromagnetic surveys for precision irrigation scheduling. Geoderma, 199: 22–29

IŞık M.F., Sönmez Y., Yılmaz C., Özdemir V. and Yılmaz E.N. 2017. Precision Irrigation System (PIS) Using Sensor Network Technology Integrated with IOS/Android Application. Applied Sciences, 7(9): 891.

Jonard F., Weihermuller L., Jadoon K.Z. and et al. 2011. Mapping field-scale soil moisture with L-band radiometer and ground-penetrating radar over bare soil. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49: 2863–2875.

Kelly B.F.J., Acworth R.I. and Greve A.K. 2011. Better placement of soil moisture point measurements guided by 2D resistivity tomography for improved irrigation scheduling. Soil Research, 49: 504–512.

Khatri K.L. and Smith R.J. 2007. Toward a simple real-time control system for efficient management of furrow irrigation. Irrigation and Drainage, 56(4): 463–475.

Kseneman M., Gleich D. and Potocnik B. 2012. Soil-moisture estimation from TerraSAR-X data using neural networks. Machine Vision and Applications, 23: 937–952.

Lyle W.M. and Bordovsky J.P. 1983. LEPA irrigation system evaluation. Transactions of the ASAE, 26: 776–781.

Montero J., Tarjuelo J.M. and Carrion P. 2001. Sirias: A simulation model for sprinkler irrigation 2. Calibration and validation of the model. Irrigation Science, 20(2): 85–98.

Niblack M. and Sanchez C.A. 2008. Automation of surface irrigation by cut-off time or cut-off distance control. Applied Engineering in Agriculture, 24(5): 611–614.

O'Shaughnessy S.A. and Rush, C. 2014. Precision agriculture: irrigation.

Peters R.T., Evett S.R. 2008. Automation of a centre pivot using the temperaturetime-threshold method of irrigation scheduling. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 134: 286–291.

Precision Irrigation. 2014. Available at: http://www.precisionirrigation.co.nz/ (accessed 14.01.14).

Rowshon M.K., Amin M.S.M., Lee T.S., Shariff R.M. 2009. GIS-integrated rice irrigation management information system for a river-fed scheme. WaterResources Management, 23: 2841–2866.

Schache M. 2011. Identifying best management practice through irrigation benchmarking: Would you like probes with your drippers? In: Irrigation Australia, Irrigation & Drainage Conference, Launceston, Tasmania. Mascot, NSW, Sydney: Irrigation Australia Limited.

Smith R.J., Raine S.R. and Minkovich J. 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. Agricultural Water Management, 71(2): 117–130.

Smith R.J., Gillies M.H., Newell G. and Foley J.P. 2008. A decision support model for travelling gun irrigation machines. Biosystems Engineering, 100(1): 126–136.