# آبیاری هوشمند روشی نوین در کشاورزی آبی

سحر افضلی
دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، تهران

## اهمیت آبیاری

کاربرد مصنوعی آب برای زمین‌های کشاورزی را آبیاری گویند. عملیات آبیاری در مناطق خشک و یا فصولی که میزان بارندگی کافی نباشد، ضروری است. آبیاری و مدیریت آب در مزرعه در عین سادگی هنوز هم از پیچیده‌ترین و مشکل‌ترین عملیات کشاورزی به‌شمار می‌رود. بسیاری از متخصصین کشاورزی آبیاری را یک هنر می‌دانند تا علم و برخی آن‌را یک فن قلمداد می‌کنند. در این میان انتخاب روشی مناسب برای آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. اساسی‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب روش‌های آبیاری را می‌توان بافت خاک، آماده بودن زمین، اندازه مزرعه، شوری خاک، قابلیت دسترسی به آب، کیفیت آب و گیاهان الگوی کشت دانست. هرچند که قابلیت دسترسی به انرژی، کیفیت و میزان محصولات، وضعیت آب‌وهوا، هزینه آب و حتی مسائل فرهنگی و اجتماعی از سایر عوامل مهم و تأثیرگذار در روش‌های آبیاری است. در سطح جهان، ۷۰ درصد منابع آب برای آبیاری گیاهان زراعی به‌کار برده می شود، بنابراین آبیاری اراضی کشاورزی بزرگترین و مهم‌ترین بخش مصرف‌کننده منابع آبی محسوب می‌شود؛ به‌طوری که بالغ بر ۸۰ درصد برداشت آب‌های تازه در کشورهای در حال توسعه برای آبیاری به‌کار برده‌می‌شود. کشاورزی آبی ۴۰ درصد نیاز غذایی جهان را از کمتر از ۲۰ درصد زمین‌های زیر کشت تأمین می‌کند و این موضوع اهمیت آبیاری را در امنیت غذایی سراسر جهان برجسته می‌سازد.

بیشتر از ۲۷۵ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی دنیا به‌صورت آبی مدیریت می‌شوند و تخمین زده می‌شود این میزان سالانه ۱/۳ درصد افزایش یابد. تغییر اقلیم جهانی نیاز به آب آبیاری را به‌دلیل تغییر میزان بارش‌های سالیانه افزایش خواهدداد تولید غذا در جهان، به‌خصوص در جنوب، جنوب‌غرب و غرب آسیا در حال حاضر وابسته به آبیاری است، کل اراضی زیر کشت آبی در آسیا، ۲۳۰ میلیون هکتار است که نماینده بیشتر از ۷۰ درصد سطح زیر کشت آبی در سراسر جهان است.

تخمین زده شده که سالانه ۲۶۳۰ کیلومترمکعب آب از منابع سطحی و زیرزمینی برای آبیاری محصولات کشاورزی استخراج می‌شود. عدم وجود منابع آب سطحی در برخی جوامع موجب افزایش فشار به منابع آب زیرزمینی خواهدشد. در نتیجه برداشت بی رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی، کمبود منابع آب در سطح جهان پیش‌بینی شده‌است، مگر اینکه اقداماتی جهت بهبود مدیریت آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب انجام شود. عملیات کشاورزی متداول آب را به‌صورت یکنواخت برای تمام قسمت‌های مزرعه بدون در نظر گرفتن غیریکنواختی مکانی در خاک و نیاز آبی گیاهان زراعی به‌کار می‌برد، این موضوع منجر به آبیاری بیش از حد نیاز برخی قسمت‌های مزرعه شده در حالی که قسمت‌هایی از مزرعه به میزان کافی آبیاری نشده‌اند. آبیاری بیش از حد نیاز موجب ایجاد رواناب سطحی، نفوذ عمقی و شستشوی نیترات و عناصر غذایی است، این موارد منجر به کاهش کمی و کیفی عملکرد و استفاده ناکارآمد از کود و دیگر نهاده‌های مورد نیاز گیاه زراعی می‌شود. فرآیند آبیاری نیازمند سطح بالایی از دقت به‌منظور بهینه‌سازی کاربرد آب و پاسخ گیاه زراعی همراه با کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی است.

امروزه، کشاورزی دقیق (Precision Irrigation) ابزاری برای بهبود پایداری کشاورزی آبی، افزایش راندمان مصرف آب و بهبود کیفیت زیست‌محیطی مزارع کشت آبی است. در سال‌های اخیر تکنولوژی‌های آبیاری هوشمند یا دقیق (Intelligent Irrigation) برای آبیاری مزارع به‌کار برده شده است که می‌تواند جایگزین روش‌های سنتی آبیاری محصولات کشاورزی شود.

**تعریف و فلسفه آبیاری هوشمند یا دقیق**

آبیاری هوشمند روشی از کشاورزی دقیق است که آب را به میزان مطلوب و مورد نیاز هر قسمت از مزرعه به‌کار می‌برد. در واقع در این روش واحدهای مختلف از یک زمین زراعی با سطوح مختلفی از آب به‌عنوان نهاده‌ی ورودی مدیریت می شود. مدیریت بستگی به پتانسیل عملکرد گیاه زراعی در منطقه مورد نظر دارد که برای انجام این کار به فناوری‌های پیشرفته‌ای نیاز است. سیستم‌های آبیاری هوشمند نسل جدید سیستم‌های نوآورانه‌ای هستند که کمبود رطوبت خاک و عملیات آبیاری را مانیتور می‌کنند. فلسفه و علت اصلی استفاده از روش آبیاری دقیق وجود غیریکنواختی مکانی (Spatial Variability) درون مزرعه است که میزان نیاز آبی گیاه زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. غیر یکنواختی در نیاز آبی گیاه زراعی ممکن است بر عملکرد کمی و کیفی گیاه زراعی و کیفیت محیط مزارع آبی تأثیر مستقیم بگذارد. غیریکنواختی نیاز آبی گیاه با وضعیت توپوگرافی و ویژگی‌های خاک مرتبط می‌باشد. از جمله خصوصیات خاکی که بیشترین تأثیر را بر غیریکنواختی دارند می‌توان به میزان رس (بافت خاک)، محتوای ماده آلی خاک و روش شخم اشاره نمود. وجود غیریکنواختی مکانی در میزان نگهداری آب در خاک، با عدم یکنواختی در بافت خاک کل مزرعه همبستگی بالایی دارد، به‌طوری که قسمت‌هایی از مزرعه که خاک سنگین‌تری دارند (درصد رس بیشتری دارند) از ظرفیت نگهداری آب بالاتری در مقایسه با قسمت‌هایی که خاک سبک‌تر (درصد شن بیشتر) دارند برخوردار هستند. همچنین غیریکنواختی میزان عملکرد قسمت‌های مختلف مزرعه با میزان آب در دسترس برای گیاه زراعی همبستگی دارد. غیریکنواختی عملکرد تابعی از تعادل و برهم‌کنش بین عوامل مختلف مؤثر بر عملکرد از جمله تنش آبی، عناصر غذایی، همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت وجود غیریکنواختی مکانی در مزرعه، میزان نیاز آبی گیاه زراعی را تحت تأثیر قرار داده و نیاز آبی متفاوت گیاهان قسمت‌های مختلف مزرعه در نهایت عملکرد را متأثر می سازد، بنابراین استفاده از آبیاری دقیق که آب را با توجه به نیاز قسمت‌های مختلف مزرعه و به میزان مورد نیاز گیاه (نه بیشتر و نه کمتر) به‌کار می‌برد می‌تواند از کاهش و نوسانات عملکرد بکاهد.

**منطقه مدیریتی (Management Zone)**

یک روش کاربرد غیریکنواخت آب در مزرعه استفاده از مناطق مدیریتی است، یک منطقه مدیریتی در آبیاری دقیق زیر مجموعه‌ای از کل مزرعه است که بیان‌کننده ترکیب نسبتاً یکنواختی از عوامل محدودکننده عملکرد است. در آبیاری دقیق، مدیریت مزرعه به‌صورت مناطق مدیریتی برای افزایش کارآیی نهاده‌هایی مانند آب می باشد. برای توصیف مناطق مدیریتی از سنسورها و خصوصیات مورفولوژیکی استفاده می‌شود. استفاده از واحدهای مدیریتی موجب بهینه‌سازی مدیریت آبیاری در مقیاس مکانی و در فواصل زمانی می‌شود و پاسخ‌های بیولوژیک گیاه زراعی را به کاربرد آب افزایش داده و کاهش اتلاف نهاده‌ها را نیز به همراه دارد.

**سیستم های آبیاری دارای پتانسیل کاربرد در آبیاری دقیق**

**الف- سنترپیوت**

آبیاری سنترپیوت و دیگر سیستم‌های متحرک خطی پتانسیل بیشتری برای فراهم نمودن سکویی جهت نصب سنسورها به منظور مانیتور کردن شرایط خاک و گیاه در زمان واقعی را دارد. این سیستم‌ها برای کاربرد متغیر آب با سطح کنونی اتوماسیون موجود و توانایی سطح پوشش وسیع با استفاده از یک لوله جانبی مناسب هستند. سیستم‌های آبیاری ثابت نیز پتانسیل استفاده در آبیاری دقیق و کاربرد متغیر آب را با استفاده از تنظیم به‌وسیله سنسورها دارند. این سیستم‌ها با یک سیستم کنترل کننده جهت استفاده مطلوب در تماس هستند. پیاده‌سازی یک سیستم آبیاری غیریکنواخت نیازمند درک ویژگی‌های سیستم آبیاری از جمله مقیاس مکانی پوشش داده‌شده توسط تجهیزات کاربرد آب می‌باشد. مقیاس مکانی مرتبط با تنوع نیازهای آبی گیاه و تأثیر آن بر عملکرد نیز باید مورد لحاظ قرار گیرد.

برای سیستم‌های متحرک، عرض واحد مدیریتی به تعداد قطرات یا نازل‌ها در یک مجموعه کنترل شده به‌صورت جداگانه وابسته است. طول آن نیز بستگی به الگوی غیر یکنواختی در مسیر حرکت آبپاش‌ها دارد. سرعت باد و همپوشانی قسمت‌های خیس شده توسط آبپاش‌ها بین واحدهای مدیریتی نیز بر میزان و دقت حجم آب کاربردی تأثیر گذار است.

**ب- آبیاری قطره‌ای**

سیستم‌های آبیاری قطره‌ای نیز پتانسیل کاربرد در آبیاری دقیق را دارند، با این حال آبیاری قطره‌ای سهم کوچکی از کل سیستم‌های آبیاری هوشمند را به خود اختصاص داده‌است، هزینه بالای آن، کاربرد این روش آبیاری را محدود به گیاهان با ارزش اقتصادی بالا مانند میوه‌ها و سبزیجات نموده‌است.

**کنترل کاربرد آب در آبیاری هوشمند**

سیستم کاربرد آب مورداستفاده در فرآیند آبیاری دقیق باید قادر به کنترل حجم آب به‌کار رفته در هر واحد زمانی برای هر واحد مدیریتی تعریف شده درون مزرعه باشد. روند تکامل سیستم‌های کاربرد متغیر آب بیشتر بر سیستم‌های متحرک تمرکز نموده است. کنترل کاربرد آب در سیستم‌های متحرک مانند سنترپیوت بر پایه مجموعه داده‌های مکانی مرجع که در واحدهای مدیریتی مزرعه تعریف شده‌است، می‌باشد. حجم آب به‌کار رفته در هر واحد مدیریتی را می‌توان با تغییر سرعت کاربرد آبِ آبپاش‌ها و یا کنترل سرعت سیستم های متحرک تعیین نمود. تغییر در حجم آب کاربردی توسط یک سیستم متحرک همچنین از طریق تغییر سرعت حرکت سیستم آبیاری نیز حاصل می‌شود. آبپاش‌ها در یک سیستم آبیاری چند منظوره عمدتاً در یک سرعت جریان و فشار خاصی عمل می کنند. انطباق سیستم‌های ثابت آبیاری برای کاربرد متغیر آب نیز ممکن است.کاربرد متغیر آب در این سیستم‌ها معمولا توسط نازل یا کنترل‌کننده یا واحد مدیریتی صورت می‌گیرد.

**زمان و مکان انجام آبیاری**

برای تعیین زمان و مکان دقیق انجام آبیاری در آبیاری هوشمند سه روش وجود دارد ۱- مانیتور کردن با استفاده از سنسورها ۲- استفاده از دفترچه کنترل (Check book method) ۳- استفاده از سنجش از راه دور.

مانیتور با استفاده از سنسورها: مانیتور روزانه یا پیوسته رطوبت در سیستم خاک-گیاه-اتمسفر جنبه کلیدی مدیریت تولید محصول در کشاورزی آبی است. مانیتور کردن اساساً به‌عنوان کاربرد فناوری‌های مختلف سنجش برای تعیین و مشخص کردن دامنه رطوبت (در مقیاس مزرعه) و میزان مصرف آب در گیاه است. به‌طور کلی می توان گفت سه نوع سنسور وجود دارد ۱- سنسورهای مبتنی بر داده‌های خاک (سنسورهای خاکی) ۲- سنسورهای مبتنی بر داده‌های آب و هوایی (سنسورهای آب و هوایی) و ۳- سنسورهای مبتنی بر داده‌های گیاهی (سنسورهای گیاهی).

**سنسورهای خاکی:** از این سنسورها عمدتاً برای تعیین محتوای رطوبت خاک استفاده می‌شود (شکل ۱)، سپس اطلاعات به‌دست آمده از سنسورهای خاکی برای تعیین مقدار رطوبت در دسترس گیاه و پویایی زمانی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. با مانیتور کردن رطوبت خاک توسط سنسورهای خاکی در فاصله دو آبیاری، می‌توان سرعت و مدت زمانی که خاک خشک می شود را اندازه‌گیری نمود. آگاهی از میزان رطوبت خاک که شامل تخلیه و پر شدن مجدد آب خاک می‌باشد، می‌تواند برای مانیتورکردن میزان آب مورد استفاده توسط گیاه زراعی استفاده شود و آن‌را به یک ابزار مفید در برنامه‌ریزی‌های آبیاری و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تبدیل نماید. برای اندازه گیری رطوبت خاک، روش‌های متعددی وجود دارد. این روش‌ها، روش‌های غیرمستقیمی هستند که بر ارتباط قوی بین ویژگی های خاک و رطوبت خاک تأکید دارند، همچنین این روش‌ها به‌صورت مداوم مانیتور را انجام داده و غیر تخریبی نیز هستند. در آبیاری دقیق روشی که عمدتا برای مانیتور پویایی زمانی رطوبت خاک در مقیاس مزرعه استفاده می‌شود، روش مبتنی بر سنسورهای دی‌الکتریک است. استفاده از آن‌ها به‌دلیل سهولت استقرار در شبکه‌های حسگر رطوبت خاک است. بنابراین، استقرار و مدیریت مناسب این فناوری می‌تواند پایداری کشاورزی آبی را مطلوب سازد. پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی های نقشه‌برداری سریع و موقعیت‌یابی، امکان تشخیص مکانی ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در هر قسمت از مزرعه را برای اطلاع از تصمیم‌گیری‌های دقیق در مورد آبیاری میسر می سازد. در این روش از القای الکترو مغناطیسی در ترکیب با سیستم‌های مکان‌یابی دقیق برای کمی کردن تفاوت و غیر یکنواختی با دقت کمتر از ۱۰ متر استفاده می‌شود، همچنین یک نقشه دیجیتالی نیز تهیه می‌کند. سنسورهای دی‌الکتریک تعیین رطوبت خاک با استفاده از خواص دی‌الکتریک خاک و اجزای آن عمل می‌کنند. در این روش با استفاده از تکنیک القای الکترومغناطیسی نقشه دیجیتال رطوبت خاک تهیه می‌شود.

نقشه‌هایی که با استفاده از اطلاعات این سنسورها تهیه می شوند نمایانگر میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC, Electrical Conductivity) می‌باشند، نقشه‌های EC مدیریت آبیاری واحدهای مدیریتی با خصوصیات قابلیت نگهداری آب یکسان را ممکن می سازند.

شکل ۱- سنسور خاکی

شکل ۲- سنسور آب و هوایی

**سنسورهای آب و هوایی:** سنسورهای آب و هوایی در واقع استفاده از داده‌های اقلیمی برای تعیین تبخیر و تعرق است که نشان‌دهنده استفاده روزانه گیاهان زراعی از آب است (شکل۲). محاسبه میزان تبخیر از سطح خاک یا کانوپی بعد از آبیاری یا بارندگی انجام می‌شود. محاسبه میزان تعرق برای تعیین جذب آب توسط گیاه و اتلاف متعاقب آن به‌شکل بخار از طریق روزنه‌های برگ‌هاست. تبخیر و تعرق عموماً به‌صورت ترکیبی از تبخیر از سطح خاک و کانوپی و تعرق از گیاه در نظر گرفته می‌شود. تبخیر و تعرق معمولاً به‌صورت همزمان رخ می‌دهند و تفکیک آن‌ها دشوار است.

در مراحل اولیه رشد گیاه، اتلاف آب بیشتر از طریق تبخیر از سطح خاک صورت می‌گیرد، بعد از بسته شدن کانوپی و پیشروی مراحل نموی گیاه زراعی تعرق تبدیل به مهم‌ترین و اصلی‌ترین دلیل از دست دادن آب به اتمسفر می‌شود. فرآیند تبخیر و تعرق عمدتاً بستگی به تابش خورشیدی، کمبود فشار بخار آب در هر زمان، سرعت باد، محتوای رطوبت خاک، سرعت جذب آب از خاک توسط گیاه و خصوصیات گیاه زراعی دارد. شناسایی پویایی زمانی به‌صورت روزانه یا هر ساعت برای کمی‌کردن میزان مصرف آب توسط گیاه در آبیاری دقیق، مناسب است.

سازمان فائو روشی برای تعیین میزان تبخیر و تعرق با استفاده از اندازه‌گیری‌های استاندارد اقلیمی تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح گیاهان ارائه نموده است که با استفاده از تعیین میزان تبخیر و تعرق روزانه می‌توان میزان نیاز آبی هر گیاه را تعیین نمود.

**سنسورهای گیاهی:** سنسورهای گیاهی محتوای آب گیاه، پتانسیل آبی گیاه و پاسخ فیزیولوژیکی گیاه به کمبود رطوبت را اندازه گیری می‌کنند (شکل ۳). اهمیت استفاده از سنسورهای گیاهی هنگام مطالعه کمبود آب در گیاهان و تأثیر آن بر وضعیت آبی گیاه نمایان می‌شود. پویایی زمانی مصرف آب گیاه را می‌توان با استفاده از تعدادی از روش‌های مبتنی بر گیاه مورد بررسی قرار داد. این روش‌ها، روش‌هایی هستند که نیاز به تماس مستقیم با گیاه دارند. سنسورهای تماسی برای مانیتور پویایی زمانیِ وضعیت آب گیاه مفید هستند و از این رو برای روند آبیاریِ دقیق مناسب می‌باشند. درک درست جنبه‌های مختلف وضعیت و فیزیولوژی گیاهان در تنش خشکی برای کاربرد موفقیت‌آمیز این سیستم‌ها مهم است.

شکل ۳- سنسور گیاهی

**استفاده از دفترچه کنترل:** روش استفاده از دفترچه کنترل روشی محاسباتی برای تعیین مقدار آب باقی‌مانده در ناحیه موثر ریشه بر اساس میزان آب ورودی و خروجی است. در این روش آبیاری هنگامی انجام می‌شود که محتوای رطوبت خاک در منطقه موثر ریشه به میزان حجم تخلیه شده قابل قبول نزدیک شده باشد.

استفاده از سنجش از راه دور: در این روش از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی استفاده می شود، ماهواره‌ها اطلاعات را به منبع می‌فرستند و از این اطلاعات برای تهیه نقشه های دیجیتالی استفاده می‌شود.

### سیستم تحویل آب در آبیاری دقیق

در این حالت برای آبیاری به روش سنتر پیوت، طول محورها به ۳۰ قسمت تقسیم می‌شود و هر قسمت دارای ۲ تا ۴ آبپاش است. هر قسمت دارای کنترل‌کننده قابل برنامه ریزی مربوط به خود است. آبپاش‌ها در یک سیکل در فواصل مشخص، برای دستیابی به میزان آب تعیین شده در یک واحد مدیریتی روشن و خاموش می‌شوند.

### انواع سیستم‌های کنترل کننده آبیاری

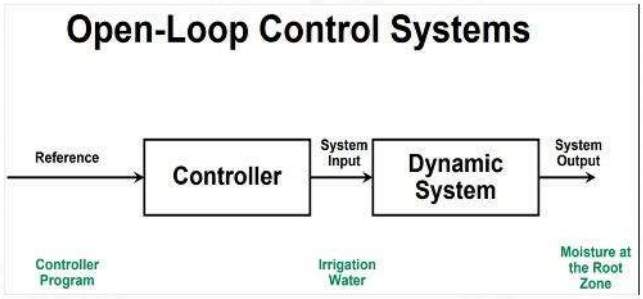
سیستم‌های کنترل‌کننده آبیاری چارچوبی برای تلفیق ابزارها و تکنیک‌های گوناگون برای انجام آبیاری مکان ویژه (آبیاری دقیق) فراهم می‌کنند و به دو نوع سیستم ۱- حلقه‌باز (Open loop) و ۲- حلقه‌بسته (Closed loop) تقسیم می‌شوند.

**سیستم حلقه‌باز:** در یک سیستم حلقه‌باز، اپراتور در مورد میزان آب مورد استفاده و زمان آبیاری تصمیم‌گیری می کند، این اطلاعات به کنترل‌کننده و برنامه‌ریزی کننده فرستاده و آب بر طبق برنامه مورد نظر به‌کار برده می‌شود (شکل ۴).

سیستم‌های کنترل کننده حلقه‌باز از مدت زمان آبیاری و یا حجم آب به‌کار رفته برای مدیریت فرآیند آبیاری استفاده می‌کنند. کنترل‌کننده‌های حلقه‌باز معمولاً یک ساعت دارند که برای شروع آبیاری استفاده می‌شود.

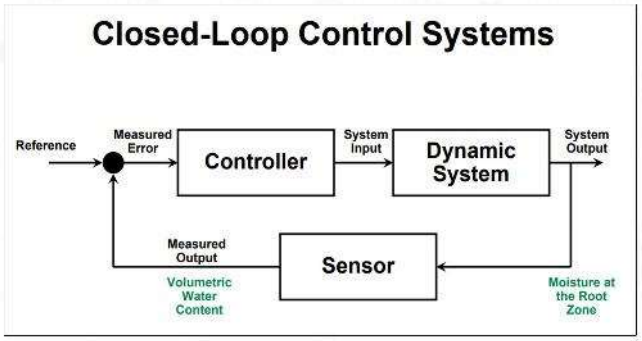
خاتمه آبیاری می‌تواند براساس زمان از پیش تنظیم شده یا براساس حجم معین آب عبوری از طریق یک جریان سنج تعیین شود. سیستم‌های کنترل حلقه‌باز معمولاً هزینه پایینی دارند و در فروشگاه‌های مختلف در دسترس هستند. این سیستم‌ها از نظر طراحی و ساختار متفاوت هستند و اغلب دارای انعطاف‌پذیری در مورد نحوه تنظیم آبیاری هستند.

نقص سیستم‌های حلقه‌باز، عدم توانایی آن‌ها در پاسخ خودکار به تغییر شرایط محیطی است، همچنین این سیستم‌ها نیاز به تنظیم مجدد نیز دارند.




شکل ۴ سیستم کنترل کننده حلقه‌باز

**سیستم حلقه‌بسته:** در سیستم حلقه‌بسته ، اپراتور یک استراتژی کنترل کلی را انجام می‌دهد. هنگامی که استراتژی کلی آبیاری تعریف شد، سیستم کنترل وارد عمل می‌شود و برنامه ریزی دقیقی در مورد زمان انجام آبیاری و میزان آب مورد نیاز صورت می‌دهد. این نوع سیستم نیاز به فیدبک از یک یا چند سنسور دارد و تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از سنسورها انجام می‌شود (شکل ۵). در این نوع سیستم، فرآیند فیدبک و کنترل سیستم به‌طور مداوم انجام می‌شود. کنترل‌کننده‌های حلقه‌بسته نیازمند استفاده از پارامترهای محیطی مانند رطوبت خاک، دما، تابش سرعت باد و پارامترهای سیستم همچون فشار و جریان هستند. کنترل‌کننده‌های حلقه‌بسته معمولاً تصمیمات مربوط به آبیاری را بر پایه‌ی سنسورهایی که رطوبت خاک، دما، تبخیر و سایر داده‌های اقلیمی را اندازه‌گیری می‌کنند برای برآورد نیاز آبی گیاه انجام می‌دهند.




شکل ۵ سیستم کنترل کننده حلقه‌بسته

### مزایا و معایب آبیاری دقیق

مزایای استفاده از آبیاری دقیق شامل ۱- حذف کاربرد دستی آب ۲- قابلیت استفاده از این سیستم در تاریکی و درشب ۳- استفاده از سیستم و کاربرد آب در هنگام نیاز ۴- صرفه جویی در مصرف آب ۵- افزایش راندمان مصرف آب (با کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد) و ۶- افزایش عملکرد می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

سیستم آبیاری و مانیتور هوشمند به‌منظور کاهش تلفات آب و افزایش راندمان مصرف آب، بهینه‌سازی ساختار آبیاری در بسیاری از گیاهان زراعی پیشنهاد شده‌است. این سیستم‌ها روند رفتار رطوبت خاک، رطوبت هوا و درجه حرارت هوا را بررسی می‌کند و از آن‌ها برای ارزیابی نیاز آبی گیاه استفاده می‌کند. فناوری‌های آبیاری هوشمند موجود پیشرفته هستند و اگر به‌طور کامل از پتانسیل آن‌ها استفاده شود، موجب ذخیره و صرفه جویی در مصرف آب می‌شود. به‌طور کلی توسعه سیستم‌های مدیریت کارآمد آب در آبیاری دقیق نیازمند بهبود بهره‌وری آب و حمایت از اهداف کشاورزی پایدار دارد که نگاهی طولانی مدت و برنامه ریزی صحیح را می‌طلبد.

## منابع

دهقانی سانیج، ح.، خزائی، ا. و ذاکری نیا،م. ۱۳۹۳. نقش آبیاری دقیق در مصرف آب و کارایی مصرف آب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۱، جلد ۸، ۱۸۰-۱۸۶.

معیری، م. ۱۳۹۲. تعیین پتانسیل کارآیی مصرف آب ارقام گندم در روش‌های مختلف آبیاری (بارانی، قطره‌ای و سطحی) در شرایط اقلیمی مختلف کشور. گزارش نهائی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی.

Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S. & Norton, T. 2017. Advanced Monitoring and Management Systems for Improving Sustainability in Precision Irrigation. Sustainability. 9: 1-29. doi:10.3390/su9030353.

Babu, G. 2016. Intelligent farm irrigation system. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology. 7(3): 258-263.

Conejero, W. Mellisho, C.D., Ortuño, M.F., Moriana, A., Moreno, F. & Torrecillas, A. 2011.Using trunk diameter sensors for regulated deficit irrigation scheduling in early maturing peach trees. Agriculture and Food System. 4:521–535.