نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶، ص. ۲۰-۹

Water Management in Agriculture
Vol. 4, No. 1, Spring and Summer 2017, 9-20

مروری بر روش‌های بهره‌برداری خودکار در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار

افشین یوسف گمرکچی[۱*] و عاطفه پرورش ریزی[۲]

چکیده

امروزه با توجه به محدودیت منابع آب عمده‌ترین هدف خودکار سازی، امکان پیش‌بینی حجم بهینه آب آبیاری و ارتقاء مدیریت توزیع و تحویل آب در یک سامانه آبیاری است. با توسعه سامانه‌های آبیاری تجمیع شده از قطعات مختلف زراعی و باغی با مالکیت بهره‌برداران مختلف، لزوم گرایش به سامانه‌های خودکار، به‌منظور کاهش مشکلات فنی و اجتماعی در طرح‌های مذکور بیش‌ازپیش مشهود است. در این تحقیق قابلیت‌های خودکار سازی در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، با رویکرد توأمان مدیریت مصرف آب و انرژی موردبررسی قرارگرفته است. همچنین با توجه به آنکه تمرکز فعالیت‌های خودکار سازی سامانه‌های آبیاری تحت-فشار در محل ایستگاه پمپاژ است، به الگوریتم‌های کنترلی در این بخش از سامانه‌های آبیاری نیز اشاره شده است. بررسی روش‌های کنترلی در سامانه‌های آبیاری نشان‌دهنده آن است که با توجه به تأثیر عوامل محیطی در بهره‌برداری سامانه و به‌منظور مدیریت مصارف آب و انرژی، استفاده از کنترل حلقه بسته با کنترل‌گر PID در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار تجمیع شده، قابل توصیه و کاربرد است.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه پمپاژ، الگوریتم کنترل، خودکار سازی، سامانه آبیاری، سامانه کنترل.

مقدمه

یکی از محدودیت‌هایی که از رشد ضریب بهره‌وری سامانه‌های مکانیزه آبیاری در مقابل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه جلوگیری می‌کند، عدم پایش بهنگام پارامترهای اصلی بهره‌برداری سامانه است. نداشتن بازخورد از عملکرد سامانه و انعطاف‌پذیری کم در شرایط متغیر بهره‌برداری، به‌رغم هزینه‌های مترتب بر سامانه‌های مکانیزه، باعث کاهش بهره‌وری سامانه در طول دوره بهره‌برداری خواهد شد. با ورود علم الکترونیک به بخش کشاورزی، علاوه بر تولید تجهیزات پیشرفته، رشد روزافزون استفاده از سامانه‌های کنترل خودکار در سامانه‌های آبیاری رخ داده است. این فرآیند کنترلی، اتوماسیون یا خودکارسازی نامیده می‌شود. بر اساس تعاریف علمی، خودکارسازی همان هوشمند سازی سامانه‌ها، شامل کاهش نیروی انسانی و خطای ناشی از آن و کنترل دقیق سیکل کاری سامانه است (رحیمی و نادری، ۱۳۸۹). با اعمال فرایند خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری که عمدتاً شامل نصب و راه‌اندازی تجهیزات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، تجهیزات ابزار دقیق، کنترلی، الکتریکی و نرم‌افزارهای کنترلی است امکان مدیریت بهینه مصرف آب و انرژی و ارتقاء سطح بهره‌وری واحدهای آبیاری مهیا می‌شود. یکی از سریع‌ترین راهکارها به‌منظور مدیریت بهینه آب و انرژی در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، ارتقاء وضع موجود از سطح مکانیزاسیون به خودکارسازی است. این مسئله از طریق اصلاح تجهیزات در حال کار و کم کردن نقش نیروی انسانی امکان‌پذیر خواهد بود. خودکار سازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در سه بخش شامل خودکارسازی برای برآورد نیاز آبی گیاه و تعیین زمان آبیاری، خودکارسازی در خطوط لوله شبکه برای کنترل توزیع جریان آب و خودکارسازی در ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون می‌باشد (Boman et al., 2002). سه ویژگی اصلی مدرن‌سازی سامانه‌های آبیاری که خودکارسازی نیز زیرمجموعه آن به شمار می‌آید، در افزایش بهره‌وری آب، افزایش بهره‌وری اقتصادی و افزایش انعطاف‌پذیری سامانه در ارتباط با پاسخگویی بهنگام نیازهای بهره‌برداری عنوان‌شده است (Playan and Mateos, 2006). پرهیزگار و همکاران (۱۳۸۶) کاربرد سامانه کنترل خودکار یکپارچه در طرح شبکه آبیاری تحت‌فشار در استان خوزستان را موردبررسی قراردادند. در تحقیق انجام‌شده قابلیت خودکارسازی سامانه آبیاری تحت‌فشار، واحد فیلتراسیون و ایستگاه پمپاژ، مطالعه

[۱] بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران.
(* نویسنده مسئول: a.gomrokchi@areeo.ac.ir)
[۲] استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۱

شده است. در روش ارائه‌شده زمان شستشوی فیلتراسیون بر اساس اعلام وضعیت حس‌گر تشخیص گرفتگی، توسط یک PLC[3] برنامه‌ریزی‌شده و از طریق فرمان به شیرآلات پنوماتیکی، شستشوی معکوس فیلتراسیون در ایستگاه کنترل مرکزی منتقل می‌شود. در ایستگاه پمپاژ طرح نیز با توجه به تغییر دبی موردنیاز و لزوم داشتن فشارثابت، از یک سامانه با قابلیت کنترل فشار در دامنه تغییرات تنظیم شده استفاده‌شده است. برای دستیابی به شرایط مطلوب مصرف انرژی نیز، از پمپ دور متغیر استفاده‌شده است. در زمینه استفاده از قابلیت تجهیزات کنترلی در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در داخل کشور، می‌توان به نمونه‌ای از سامانه کنترل خودکار ایستگاه پمپاژ در پروژه آبیاری بارانی اراضی بیله سوار مغان واقع در استان اردبیل اشاره نمود. این پروژه سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک به وسعت ۳۳۰۰ هکتار است که اراضی تعداد زیادی خرده‌مالک را تحت پوشش شبکه آبیاری بارانی قرار داده است. مشکل اصلی این پروژه متغیر بودن الگوی مصرف آب آبیاری در دوره‌های آبیاری و به‌تبع آن تغییرات فشار شبکه خارج از محدوده استاندارد بود که باعث عدم یکنواختی پاشش آبپاش‌ها و پایین آمدن چشمگیر راندمان آبیاری از یکسو و از سوی دیگر کارکرد پمپ‌ها در خارج از دامنه بهینه می‌شد. به همین دلیل برای حل مسئله به‌جای استفاده از روش‌های رایج موجود (استفاده از شیرهای کنارگذر و یا شیرهای خفه–کن)، از قابلیت پمپ‌های دور متغیر در ایستگاه‌های پمپاژ استفاده گردید (نیک منش و زمانی، ۱۳۸۶).

یاری (۱۳۸۹)، طراحی یک سامانه کنترل و مانیتورینگ هوشمند ایستگاه پمپاژ را بررسی نمود. وی از قابلیت‌های پمپ دور متغیر به‌منظور شبیه‌سازی و تولید هیدرو گراف‌های مختلف جریان، مطابق با نظر کاربر استفاده نمود. ذاکری‌نیا و بلسی (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر خودکارسازی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بر کاهش مصرف انرژی و آب پرداختند. نتایج نشان داد با استفاده از خودکارسازی سامانه آبیاری تحت‌فشار مورد نظر، می‌توان مقدار ۲۱۷۵۰ مترمکعب آب را در سال ذخیره نمود. همچنین حدود ۵۲۷۰۰ کیلووات انرژی در سال کمتر استفاده‌شده که اگر هر کیلووات برق مصرفی ۱۲۰ تومان در نظر گرفته شود، حداقل ۶۳۲۴۰۰۰ تومان در سال در هزینه برق صرفه‌جوئی شده است. باقرپور و همکاران (۱۳۹۴)، حسگرها و فناوری‌های شبکه حسگر بی‌سیم در بهینه‌سازی مصرف آب و نهاده‌های کشاورزی را بررسی کردند. آن‌ها به‌کارگیری فناوری حسگرها در بخش کشاورزی را در مواردی همچون: عملیات کود دهی، آبیاری، نظارت و کنترل بر چراگاه و حیوانات، عملیات باغبانی، کنترل محیط گلخانه عنوان نمودند. لیکن به دلیل هزینه‌بر بودن فناوری شبکه حسگر، استفاده از آن را در همه مناطق و همه محصولات قابل توصیه ندانستند. گمرکچی و پرورش ریزی(۱۳۹۶)، فرآیند مصارف انرژی در سامانه کنترل ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی را موردبررسی قراردادند. نتایج تحقیق در یک کشت و صنعت ۸۵ هکتاری زیتون واقع در استان قزوین نشان داد، استفاده از یک سامانه کنترلی منطبق بر تغییرات دبی و فشار موردنیاز در محل ایستگاه پمپاژ، موجب صرفه‌جوئی ۱۸ درصدی در مصارف انرژی ایستگاه پمپاژ موردمطالعه شده است. رشد فناوری و ورود تجهیزات الکترونیک همانند درایوها، راه‌اندازهای نرم، حس‌گرهای فشار و تجهیزات کنترل از راه دور در بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری، تنوع وسیعی از انواع روش‌های کنترلی به‌منظور مدیریت مصارف آب و انرژی در سامانه‌های آبیاری را ایجاد نموده است.

خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری

خودکارسازی درواقع مدیریت نرم‌افزاری متمرکز بر کلیه فرآیندهای یک سامانه، به‌طور دائمی (شبانه‌روزی) است که تحت نظارت و کنترل یک واحد مرکزی پردازشگر پیاده‌سازی شده است (ولی زاده، ۱۳۸۶). سامانه خودکار در آبیاری نه‌تنها شیرآلات را باز یا بسته می‌کند، بلکه قابلیت کنترل جامع و کامل یک سامانه آبیاری همانند مدیریت مصرف انرژی، کنترل کارکرد پمپ، ثبت اطلاعات و داده‌های بهره‌برداری، کارکرد تزریق کود، شستشوی فیلترها را نیز دارا خواهد بود. در سامانه‌های خودکار پیشرفته، داده‌های مستقیم مزرعه همانند دبی جریان، فشار، سرعت باد، رطوبت خاک و شاخص‌های فنولوژیک رشد نیز جمع‌آوری و ثبت می‌شوند (خزائی، ۱۳۹۱). به‌طورکلی خودکارسازی سامانه آبیاری را می‌توان در سه بخش ۱– خودکار سازی برای برآورد نیاز آبی و تعیین زمان آبیاری، ۲– خودکارسازی شبکه برای کنترل جریان و ۳– خودکارسازی در ایستگاه پمپاژ تفکیک نمود. با اجرای خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری، اهداف ذیل قابل‌دستیابی خواهد بود.

اهداف بهره‌برداری در سامانه‌های خودکار

با اجرای فرآیند خودکارسازی، بهره‌بردار با دریافت اطلاعات جامع، کامل و به‌موقع از واحدهای آبیاری قادر خواهد بود تصمیم مناسبی در مدیریت سامانه را اتخاذ نماید. به این منظور با نصب ابزار دقیق، وضعیت کارکرد تجهیزات موجود در یک سامانه آبیاری به‌صورت لحظه‌ای، فراهم می‌شود. این اطلاعات می‌تواند به صور مختلف مانند نمودار یا گزارش وضعیت ثبت و ذخیره شود و در نتیجه

[3] Programmable Logic Controller

اطلاعات جامعی از سوابق و رفتار تجهیزات، تأسیسات و پارامترها را فراهم کند.

اهداف کنترلی

در سامانه خودکار بین تجهیزات مختلف واحدهای آبیاری اعم از چاه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، ایستگاه کنترل مرکزی و مزرعه ارتباط لازم برقرار می‌شود. مثلاً با اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و بارندگی، برنامه آبیاری برای هر واحد آبیاری مشخص می‌شود. سپس الکتروپمپ نصب‌شده در چاه و شیرهای برقی مربوط به هر واحد آبیاری طبق برنامه فعال و یا غیرفعال می‌گردد. بدین منظور با نصب تجهیزات کنترل خودکار و کنترل از راه دور و سیگنال‌های فرمان، پارامترهای زراعی مختلفی همراه با اطلاعات هیدرولیکی شبکه و پارامترهای هواشناسی به‌صورت لحظه‌ای دیده‌شده و کنترل می‌گردند. کنترل مقدار آب آبیاری با توجه به نوع گیاه و پارامترهای هواشناسی مانند رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، درجه حرارت، ساعات آفتابی و میزان بارندگی انجام می‌گیرد و همزمان از طریق کنترل دور الکتروپمپ‌ها، دبی و فشار موردنیاز شبکه در حد مطلوب نگه داشته می‌شود.

علاوه بر این استفاده از پمپ دور متغیر در کنار واحدهای پردازشگر مرکزی، قابلیت‌های بالایی از سطوح خودکارسازی را در سامانه‌های آبیاری (به‌ویژه سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار) ایجاد خواهد نمود. به‌طور مثال با استفاده از پمپ دور متغیر، واحد پردازشگر مرکزی و شیر برقی می‌توان به شبکه آبیاری تحت‌فشار قابلیت نشت‌یابی خودکار را اضافه نمود. به‌این‌ترتیب که برای یافتن محل نشت، ابتدا دبی واحد آبیاری در واحد کنترل مرکزی تعیین می‌شود و بر اساس قابلیت پمپ دور متغیر، دور پمپ متناسب با نقطه کارکرد تنظیم می‌شود. سپس با استفاده از قابلیت فرمان در ایستگاه پمپاژ، شیر برقی هریک از واحدهای آبیاری به ترتیب بازشده و دبی و فشار هر واحد آبیاری توسط واحد کنترل مرکزی، پایش شده و با میزان دور متناسب پمپ تطبیق داده می‌شود. به‌این‌ترتیب در صورت شکستگی هیدرانت‌ها، خطوط لوله و یا بهره‌برداری نامناسب (تعداد نامناسب آبپاش) نقطه کاری پمپ تغییریافته و سامانه با پردازش تطبیقی با دور موتور، واحد معیوب را شناسایی خواهد نمود. همچنین قابلیت تعریف نظام حقابه‌بری در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار نیز در این سطح از خودکارسازی سامانه‌های آبیاری امکان‌پذیر خواهد شد. الزامات اجرای این روش، تعیین منحنی عملکرد هریک از شیرهای برقی (منحنی دبی–فشار) است. به‌این‌ترتیب با استفاده از واحد پردازشگر مرکزی و قابلیت پمپ دور متغیر در پوشش دادن محدوده وسیعی از نقاط کارکرد در ایستگاه پمپاژ، امکان تخصیص دبی متناسب با حقابه در هر واحد آبیاری وجود خواهد داشت. این امر در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار تجمیع شده که دارای قطعات مختلف زراعی و باغی با مساحت‌های مختلف است، جهت کاهش مشکلات فنی و اجتماعی ناشی از اجرای طرح تجمیع اثربخش خواهد بود.

آنچه می‌توان از خودکار سازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار به‌عنوان یک ناظر دقیق انتظار داشت، پایش لحظه‌به‌لحظه سامانه از طریق کنترل پارامترهای هواشناسی (رطوبت نسبی، درجه حرارت، مشخصات باد، ساعات آفتابی، میزان بارندگی)، شرایط هیدرولیکی سامانه (دبی و فشار آب)، مدت‌زمان کارکرد، روشن و خاموش کردن پمپ‌ها و ادوات آبیاری، پارامترهای کیفی آب، کارکرد متوالی، موازی یا همزمان واحدهای آبیاری، سطح استاتیک و دینامیک چاه‌ها (سطح ایستابی آب زیرزمینی قبل از شروع آبیاری و در حین پمپاژ آب)، پارامترهای حدی و حفاظتی الکتروپمپ چاه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ و درنهایت سهم آب و انرژی مصرفی هر واحد آبیاری است.

هرچند چالش عمده در اجرای خودکارسازی سامانه‌های آبیاری مباحث اقتصادی است، لیکن به دلیل حساسیت تجهیزات سخت‌افزاری در سامانه‌های خودکار، بهره‌برداری و نگهداری آن نیز به مهارت‌های خاص نیاز دارد. به عبارتی این سامانه منجر به افزایش پیچیدگی کار و نگهداری تجهیزات می‌شود. همچنین باوجود سامانه خودکار یک بخش اصلی به اجزاء سامانه آبیاری اضافه خواهد شد که از یک‌سو هریک از تجهیزات استانداردهای کاری مختص خود را خواهند داشت و از سوی دیگر اثرات متقابل کارکرد هریک از اجزا بر روی‌هم نیز باید لحاظ گردد.

اصول مهندسی کنترل در سامانه‌های آبیاری

در معنی عام کنترل به معنی استفاده از یک انرژی کوچک برای هدایت و راهنمایی یک انرژی بزرگ است (افشارنیا و واحدی، ۱۳۹۰). بر اساس استاندارد DIN 19226[4] کنترل عبارت است از مراحلی که یک یا چند متغیر به‌عنوان ورودی طبق قوانین مخصوص به خود بر یک یا چند متغیر به‌عنوان خروجی سامانه اثر بگذارند. سه شیوه برای انجام فرآیند کنترل عملیات آبیاری در سامانه‌های آبیاری وجود دارد.

۱– کنترل حلقه باز[5] ساده‌ترین روش کنترل، به نام حلقه باز یا پیش‌خور[6] مشهور است. ایده اساسی در ساخت یک سامانه کنترل

[4] Deutsches Institut für Normung
[5] Open Loop Control
[6] Feed forward

حلقه باز، قرار دادن سامانه با تنظیم خروجی فعال در حداکثر دقت ممکن، به‌منظور تولید خروجی دلخواه است. در این روش کنترل هیچ‌گونه اطلاعاتی به کنترل‌کننده برای ادامه عمل مناسب خروجی پس‌خور[7] نشده و برای مقایسه خروجی با ورودی هیچ امکانی وجود ندارد (Chee-Mun, 1997).

در این نوع کنترل مقادیر خروجی تابع مشخصات ذاتی سامانه بوده و مقایسه‌ای بین ارزش بوده و ارزش بایسته انجام نمی‌شود. به‌این‌ترتیب اغتشاشات و نوسانات ناخواسته می‌توانند خروجی سامانه را تحت تأثیر قرار دهند. در شیوه کنترل حلقه باز، کنترل‌کننده‌ها بر اساس اطلاعات از پیش تعریف‌شده، بدون هیچ‌گونه پس‌خوردی عمل می‌کنند. اغلب سامانه‌های کنترلی ساده در این گروه قرار دارند. به‌طور مثال کاربر زمان شروع به کار، زمان اتمام کار و دوره آبیاری سامانه را تنظیم خواهد نمود. در این روش مقدار مناسب استفاده از آب آبیاری کنترل نمی‌شود و عمدتاً فاکتور اصلی در عملیات آبیاری زمان خواهد بود (ولی‌زاده، ۱۳۸۶).

۲-کنترل حلقه بسته[8]: چنانچه سامانه با اغتشاشات مختلفی سر و کار داشته باشد باید از سازوکار کنترل حلقه بسته استفاده نمود. در این نوع کنترل دائماً مقایسه‌ای بین ارزش بایسته و ارزش بوده انجام می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر در هرلحظه از خروجی سامانه نمونه‌برداری شده و با یک مقدار مرجع مقایسه می‌شود و نتایج حاصل از این مقایسه باعث تثبیت یا تنظیم خروجی خواهد شد. در شیوه کنترل حلقه بسته، کنترل بر اساس ترکیبی از اطلاعات از پیش تعریف‌شده و پس‌خوردی از فاکتورهای کنترل‌شده است (Silvister et al., 2017). در سامانه‌های کنترلی حلقه بسته، خط پس‌خورد در نظر گرفته‌شده است که اجازه اندازه‌گیری خروجی و مقایسه آن با مقدار مرجع را فراهم می‌کند. این تفاضل که خطا نام دارد، ورودی جدید کنترل‌گر است که تحریک سیستم را اصلاح خواهد نمود. در سامانه‌های آبیاری این نوع کنترل‌کننده‌ها دارای پس‌خوردی از اطلاعات ضروری برای تعیین مقدار آب موردنیاز آبیاری است. چندین پارامتر وجود دارد که می‌تواند روی مقدار آب مورداستفاده در آبیاری تأثیرگذار باشد. برخی از این پارامترها تقریباً ثابت هستند مانند نوع گیاهان، نوع خاک، کیفیت آب آبیاری. برخی دیگر از پارامترها تغییر نموده و لازم است در طول مدت آبیاری اندازه‌گیری شوند مانند دما، رطوبت هوا، شدت تابش، رطوبت خاک؛ بنابراین وقتی شرایط تغییر کند، مقدار آب مورداستفاده در آبیاری نیز تغییر خواهد نمود (جوادی کیا و همکاران، ۱۳۸۶).

۳-کنترل ترکیبی حلقه باز و حلقه بسته: در برخی سامانه‌های آبیاری به‌کارگیری ترکیبی از کنترل پیش‌خور و پس‌خور، عملکرد بهتری خواهد داشت. به این سبب، ترکیب کنترل پیش‌خور و پیش‌خور استفاده‌شده است. اجرای سامانه‌های کنترلی در مدیریت آبیاری سطحی، از این نوع روش‌های کنترلی محسوب می‌شود. با توجه به آنکه تمرکز فعالیت‌های خودکارسازی سامانه‌های آبیاری در محل ایستگاه پمپاژ است ازاین‌رو روش‌های مختلفی برای خودکارسازی ایستگاه پمپاژ به‌کاربرده شده است. در سامانه‌های پمپاژ رایج (فشار متغیر- سرعت ثابت) معمولاً فیوز، کلید میناتوری، محافظ اضافه‌بار و کنداکتور به‌کاربرده شده و در انواع مدرن ایستگاه‌های پمپاژ از درایو فرکانس متغیر، راه‌انداز نرم[9]، PLC، ترانسمیتر[10] فشار و ترانسمیتر جریان (روش سرعت متغیر) استفاده می‌شود. بر این اساس عملکرد سامانه‌های کنترل ایستگاه پمپاژ یا به عبارتی الگوریتم‌های تولید هیدروگراف جریان غیر ماندگار در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار به سه دسته تقسیم می‌شود:

الف- سامانه‌های تعاملی[11]

اطلاعات توسط حسگرها از نقاط گوناگون مزرعه جمع‌آوری‌شده و در یک واحد میکروپروسسور[12] تجزیه‌وتحلیل می‌شود و بر اساس آن امکان مدیریت ایستگاه پمپاژ و پمپ توسط تجهیزات مکانیکی، همانند شیرهای کنترل (به‌صورت دستی)، فراهم می‌شود. این روش کنترل ایستگاه پمپاژ ساده‌ترین گام در اجرای خودکارسازی در ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی است و تأثیر عمده آن، مدیریت زمان و مقدار آب آبیاری است. بر همین اساس مدیریت انرژی مصرفی به‌صورت غیرمستقیم و صرفاً با کنترل زمان آبیاری انجام می‌شود. بیشترین محدودیت این روش کنترلی در محل ایستگاه پمپاژ شبکه‌های آبیاری وسیع، سامانه‌های آبیاری ناهمگن (کشت‌های مختلف در یک شبکه آبیاری و یا بهره‌برداران مختلف در یک ایستگاه پمپاژ) و یا تغییرات شدید شرایط هیدرولیکی در هنگام بهره‌برداری یک سامانه، خواهد بود. شکل ۱ نمونه‌ای از سامانه‌های تعاملی در ایستگاه‌های پمپاژ را نشان داده است.

ب-سامانه تمام‌خودکار

در این روش کنترل پمپ‌ها در پاسخ به پس‌خورد دریافت شده از بخش پایش به‌صورت خودکار راه‌اندازی، کنترل و متوقف خواهند

[7] Feedback
[8] Closed Loop Control

[9] Soft starter
[10] Transmitter
[11] Interactive
[12] Microprocessor

شد. این سامانه با استفاده از الگوریتم‌های کنترلی، متغیرهای حالت (فشار یا دبی) را پایش و با متغیرهای هدف مقایسه نموده و در مورد اعمالی که برای تغییر وضعیت سامانه لازم است انجام شود، فرمان‌های لازم را به واحد پردازشگر اعلام می‌کند. این‌گونه روش‌های کنترل بلادرنگ[۱۳] باعث افزایش انعطاف‌پذیری سامانه و افزایش کارایی آن می‌شود. در این روش بهره‌برداری دبی یا فشار با استفاده از رابطه تشابه هیدرولیکی موجود بین دبی و دور الکتروموتور (فرکانس)، بعد از واسنجی به‌صورت غیرمستقیم محاسبه می‌شود. ازآنجایی‌که فرکانس و ولتاژ موتور توسط درایو[۱۴] کنترل می‌شود لذا بر اساس قوانین تشابه[۱۵] و رابطه فرکانس و سرعت دورانی، می‌توان دبی جریان یا فشار را با تغییر فرکانس، به میزان دلخواه تنظیم نمود (رابطه ۱).

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{N_2}{N_1},\quad \frac{H_2}{H_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2,\quad \frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \qquad (۱)$$

در دسته روابط ۱، Q دبی موردنیاز، H ارتفاع معادل فشار، P توان موردنیاز و N سرعت دورانی موتور است.

در این الگوریتم کنترلی نیاز به دبی سنج گران‌قیمت نبوده و بنابراین سامانه در عین کارآمدی، در طول زمان بهره‌برداری بلندمدت دارای صرفه اقتصادی خواهد شد. عمده‌ترین هدف‌گذاری این سامانه‌های کنترلی، بر مدیریت توأمان مصارف آب و انرژی متمرکز خواهد بود. در شکل‌های ۲ و ۳ نمونه‌ای از سامانه‌های تمام‌خودکار در ایستگاه‌های پمپاژ نشان داده‌شده است.

ج-سامانه ترکیبی از کنترل حلقه باز و حلقه بسته

در این روش کنترل ابتدا دبی جریان یا فشار موردنیاز محاسبه‌شده و سامانه شروع به کار می‌کند، سپس با استفاده از سیگنال‌هایی که دبی سنج یا فشارسنج به دستگاه می‌فرستد، دبی جریان یا فشار تنظیم می‌شود. آبیاری سطحی با هیدروگراف جریان ورودی متغیر نمونه چنین کاربردی است. در این روش با استفاده از مدل‌های موجود، از روی نرخ پیشروی جریان در طول زمین، نفوذپذیری و به دنبال آن دبی مناسب ورودی به زمین محاسبه‌شده، سپس سامانه پمپاژ به‌موازات پایش جریان، دبی موردنیاز را تأمین خواهد نمود (یاری، ۱۳۸۹).

اجزاء سامانه خودکار سازی سامانه‌های آبیاری

همان‌گونه که اشاره شد خودکارسازی درواقع یک مدیریت نرم‌افزاری متمرکز بر کلیه فرایندهای یک سامانه به‌طور شبانه‌روزی (دائم) است که تحت نظارت و کنترل یک واحد مرکزی پردازش گر پیاده‌سازی می‌شود. چنین سامانه‌ای متشکل از مجموعه سخت‌افزار و نرم‌افزار است. بخش نرم‌افزاری یک واحد اتوماسیون درواقع قلب تپنده سامانه محسوب شده و وظیفه اعمال فرمان‌ها به واحد سخت‌افزاری را انجام می‌دهد. سامانه‌های کنترل نقش مؤثری در خودکارسازی سامانه‌های آبیاری ایفاء می‌کنند به‌گونه‌ای که می‌توان گفت بدون حضور سامانه‌های کنترل، امکان بهره‌برداری از قابلیت‌های خودکار سازی سامانه به‌شدت کاهش خواهد یافت. سامانه‌های کنترل وظیفه تعیین میزان تنظیمات و اعمال فرمان‌های بهره‌برداری را بر عهده‌دارند.

انواع سامانه‌های کنترل

با اختراع کلیدهای مغناطیسی، سامانه‌های کنترل رله‌ای پا به صنعت گذاشت. عمل کنترل در این نوع از سامانه‌ها به‌صورت کاملاً سخت‌افزاری انجام می‌گرفت. بعد از اختراع ترانزیستور، سامانه‌های کنترل الکترونیکی جایگزین روش‌های سخت‌افزاری کنترل شد. با پیشرفت فنّاوری کامپیوترها و واحدهای پردازشگر مرکزی در سامانه‌های کنترل استفاده شدند. امروزه در برخی سامانه‌های آبیاری از قابلیت‌های سامانه‌های کنترلی SCADA برای خودکارسازی عملیات آبیاری استفاده‌شده است. سامانه‌های SCADA امکان جمع‌آوری و دسته‌بندی اطلاعات و نیز نمایش آن‌ها را در قالب‌های دلخواه در یک یا چند مرکز کنترل فراهم می‌آورند و شبکه‌ای جهت مانیتورینگ و توزیع اطلاعات ایجاد می‌کنند (سعیدی، ۱۳۸۹). جدول ۱ مزایا و معایب انواع سامانه‌های کنترل را نشان داده است. بررسی کلی مزایا و معایب سامانه‌های کنترل نشان‌دهنده آن است که سامانه‌های کنترلی SCADA و PLC به دلیل قابلیت ثبت اطلاعات، توانایی انجام محاسبات و اعمال دستورات کنترلی به اجزاء مختلف سامانه‌های آبیاری وسیع، دارای توجیه فنی و اقتصادی بیشتری می‌باشند. همچنین سامانه‌های کنترلی رله‌ای و الکترونیکی، به دلیل ملاحظات اقتصادی، در سامانه‌های آبیاری با وسعت کم، قابل توصیه می‌باشند.

[13] Real -time
[14] Drive
[15] Affinity Laws

جدول ۱- مزایا و معایب انواع سامانه‌های کنترل

شاخص	نوع سامانه کنترل				
	رله‌ای	الکترونیکی	کامپیوتر	PLC	SCADA
هزینه	گران‌قیمت	متوسط	نسبتاً گران	ارزان	نسبتاً گران
سرعت کنترل	کند	سریع	خیلی سریع	خیلی سریع	خیلی سریع
طراحی و اجرا	مشکل	نسبتاً مشکل	ساده	بسیار ساده	نسبتاً مشکل
توانایی محاسبات پیچیده	ندارد	مشکل	دارد	دارد	دارد
قابلیت عیب‌یابی	خیلی مشکل	مشکل	ساده	بسیار ساده	بسیار ساده
امکان ایجاد تغییرات	خیلی مشکل	مشکل	نسبتاً ساده	ساده	بسیار ساده
توجیه کاربرد در سامانه‌های آبیاری کوچک	دارد	دارد	متوسط	متوسط	کم
توجیه کاربرد در سامانه‌های آبیاری وسیع	ندارد	مشکل	متوسط	دارد	دارد

الگوریتم‌های کنترل

ساختار نرم‌افزاری که در سامانه‌های کنترل مورداستفاده قرار می‌گیرد مبتنی بر الگوریتم کنترل است. موفقیت یک سامانه کنترل به توانایی الگوریتم کنترل در تعیین دقیق پارامترهای کنترلی وابسته است (Nandhakumar et al., 2017). یکی از کاربردی‌ترین الگوریتم‌های کنترلی، استفاده از کنترل‌گر PID[16] است. این روش کنترل یکی از الگوریتم‌های مناسب و بسیار متداول در صنعت بوده که در سامانه‌های هیدرولیکی مانند کانال‌های آبیاری، کنترل هوشمند سامانه‌های پمپاژ و کنترل دور پمپ‌های دور متغیر نیز کاربرد فراوانی دارد. این الگوریتم اولین بار توسط شرکت آمریکایی تیلور ارائه‌شده است. کنترل‌گر PID شامل سه جزء تناسبی، انتگرالی و دیفرانسیلی است و سعی در حداقل نمودن خطای بین متغیر اندازه‌گیری شده و مقدار هدف دارد (علمداری و کریمی، ۱۳۹۰). بسته به اینکه کدام‌یک از اجزاء P، I و D استفاده شود کنترل‌گرهای P، I، D، PD، PI، ID و PID شکل می‌گیرند. شکل ۴ الگوریتم کنترل‌گر PID را نشان داده است. در الگوریتم کنترل PID، عملیات کنترلی اعمال‌شده بر روی سیگنال خطا بر پایه سه جمله یا عامل مختلف صورت می‌گیرد:

عامل تناسبی: ساده‌ترین شکل کنترل‌کننده پیوسته است که خروجی آن مستقیماً متناسب است با ضرب سیگنال خطا در یک ضریب تقویت.

عامل مشتق گیر: یک سیگنال خروجی متناسب با نرخ تغییرات خطا فراهم می‌کند؛ بنابراین اگر افزایش سریع و ناگهانی در خطا رخ دهد یک خروجی تصحیح کننده بزرگ تولید می‌شود. حال‌آنکه در صورت کند بودن آهنگ تغییرات خطا، خروجی مشتق گیر نیز کاهش می‌یابد. جمله مشتق گیر حساسیت زیادی به نویز در سیگنال ورودی داشته و فیلتراسیون سیگنال ورودی نیز آن را کم اثر می‌کند، بنابراین در بسیاری از کاربردها آن را حذف می‌کنند (علمداری و کریمی، ۱۳۹۰).

عامل انتگرالی : یک سیگنال خروجی متناسب با انتگرال زمانی سیگنال خطا را تولید می‌کند. به این معنی که خروجی متناسب با مجموع خطای از لحظه اولیه تا یک‌لحظه موردنظر است.

عملکرد واحد کنترل در سامانه آبیاری

همان‌گونه که اشاره گردید واحد کنترل درواقع قلب تپنده یک سامانه اتوماسیون محسوب می‌شود. بر این اساس کنترل‌گر وظیفه تطبیق عملکرد سامانه کنترل، با شرایط مختلف بهره‌برداری را انجام خواهد داد. در یک واحد اتوماسیون، سامانه کنترل اطلاعات پایش شده تجهیزات ابزار دقیق، مقادیر دبی و فشار در ایستگاه پمپاژ، مشخصات منبع آب آبیاری را ثبت نموده و پس از تطبیق با فرمان‌ها کنترل‌گر، عملکرد سامانه آبیاری را هدایت می‌کند (Bennis et al., 2017). همچنین مرکز کنترل و مانیتورینگ سامانه، وظیفه مدیریت و گزارش‌گیری و بررسی روند آبیاری را بر عهده دارد و با اپراتور در ارتباط است. بخش سخت‌افزاری یک سامانه اتوماسیون، عمدتاً شامل موارد ذیل است:

۱- تجهیزات ابزار دقیق مانند تایمر، فلومتر[17] ، فشارسنج، شیر برقی، حس‌گر (رطوبت خاک، سنجش سرعت باد، تبخیر).

۲- تجهیزات کنترلی مانند RTU[19]: واسط بین حسگرهای آنالوگ یا دیجیتال با پایانه مرکزی کنترل سامانه.

۳- MTU[20]: ایستگاه (ایستگاه‌های) کنترل مرکزی.

[16] Proportional Integral Derivative

[17] Flow meter

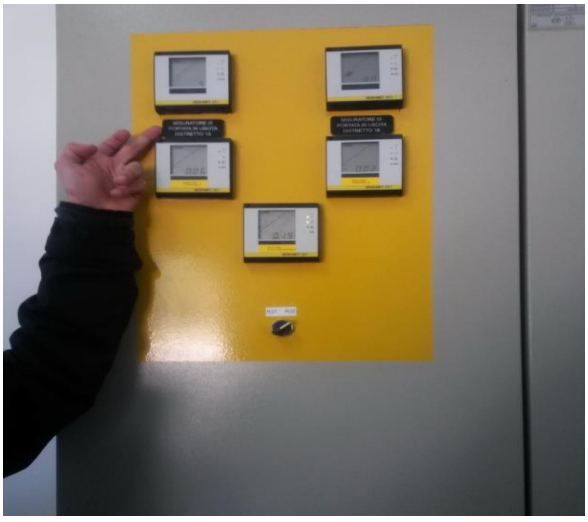
[19] Remote Terminal Unit

[20] Master Terminal Unit

۴- تجهیزات مخابراتی مانند مودم، آنتن.
۵- سامانه کامپیوتری تجزیه‌وتحلیل داده‌ها.
۶- سامانه تغذیه: شامل سولار پنل و کنترل شارژر و باتری است و تغذیه سامانه را بر عهده دارد.

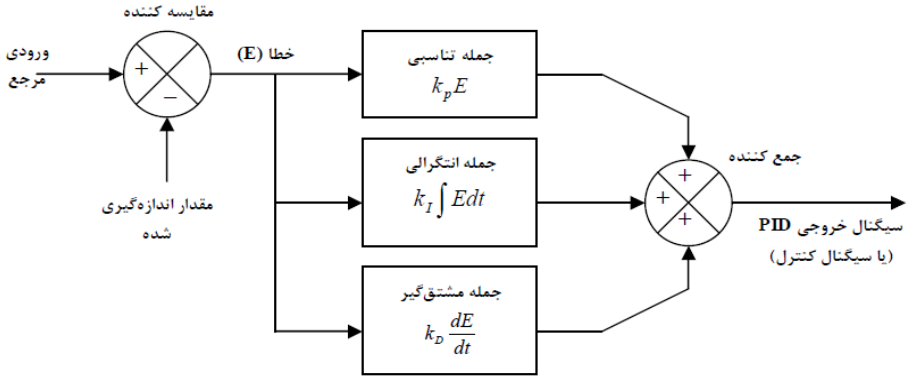
سامانه کنترل مابین تجهیزات مختلف واحدهای آبیاری اعم از چاه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، ایستگاه کنترل مرکزی و ... ارتباط لازم را برقرار می‌کند. مثلاً به‌وسیله اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و اندازه‌گیری میزان بارندگی، برنامه آبیاری گیاه و درنتیجه واحد آبیاری مشخص خواهد شد و بر این اساس ایستگاه پمپاژ و شیرهای برقی مربوطه به هر واحد آبیاری متناوباً فعال و یا غیرفعال می‌گردند. کنترل مقدار آب آبیاری با توجه به نوع گیاه و پارامترهای هواشناسی مانند رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، درجه حرارت، ساعات آفتابی و میزان بارندگی انجام می‌گیرد و همزمان از طریق کنترل دور پمپ‌ها، دبی و فشار موردنیاز شبکه در حد مطلوب نگه‌داشته می‌شود. در شکل ۵ ساختار سامانه اتوماسیون جهت اعمال مدیریت آبیاری نشان داده‌شده است.

شکل ۱- نمونه پایش اطلاعات مزرعه‌ای برای مدیریت ایستگاه پمپاژ باقابلیت کارکرد به‌صورت تعاملی (Bari- Italy.)

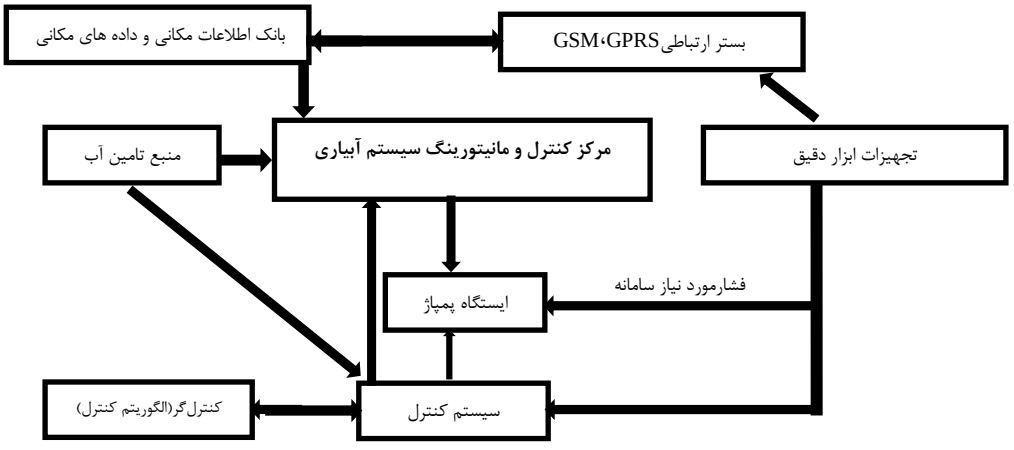


شکل ۲- ایستگاه پمپاژ باقابلیت کارکرد به‌صورت خودکار (Offanto- Italy.)

شکل ۳- اجرای سامانه کنترلی مدیریت هوشمند ایستگاه پمپاژ (شهرستان بیله سوار مغان)



شکل ٤- الگوریتم کنترلی PID



شکل ٥- ساختار سامانه اتوماسیون در اعمال مدیریت آبیاری

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که اشاره شد خودکارسازی سامانه‌های آبیاری می‌تواند در سطوح کوچک و یا اراضی وسیع عملیاتی شود. با توجه به محدودیت منابع آب عمده‌ترین هدف از اجرای خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری بر اساس پیش‌بینی حجم بهینه آب آبیاری و ارتقاء مدیریت توزیع و تحویل آب بوده است. لیکن با توجه به رشد روز افزون مصرف انرژی در بخش کشاورزی و افزایش هزینه‌های مرتبط با آن، امروزه هدف‌گذاری اجرای سامانه‌های خودکار بر مبنای کنترل مصارف آب و انرژی قرارگرفته است. بر این اساس مهم‌ترین بخش در پیش‌بینی برنامه‌ریزی آبیاری آن است که ساده، واقعی و نزدیک به نیاز آبی گیاه باشد و مهم‌ترین مسئله در کنترل مصارف انرژی، قرارگیری نقاط مصرف در محدوده مجاز کارکرد پمپ باشد. در این مقاله قابلیت روش‌های مختلف کنترل به‌منظور مدیریت مصارف آب و انرژی در سامانه‌های آبیاری موردبررسی قرار گرفت. نکته حائز اهمیت آن است که در برخی از موارد اجرای خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری صرفاً به‌منظور مدیریت مصارف آب و انرژی نبوده و اهدافی چون کاهش خطای نیروی انسانی، مدیریت سامانه‌های یکپارچه و تجمیع شده، امکان عیب‌یابی سریع در سامانه و یا قابلیت خرید فروش حقابه با اجرای سامانه‌های خودکار دنبال می‌شود. لذا اجرا و یا عدم اجرای سامانه‌های خودکار کاملاً وابسته به هدف‌گذاری بهره‌بردار و مشکلات موجود در بهره‌برداری سامانه، است. ازاین‌رو نمی‌توان یک رویکرد کلی را برای انجام خودکارسازی توصیه نمود.

مراجع

افشارنیا، س.، و واحدی، ا. ۱۳۹۰. مدل‌سازی و شبیه‌سازی دینامیکی ماشین‌های الکتریکی. انتشارت دانشگاه تهران. چاپ سوم. ۶۹۴ صفحه.

باقرپور، ح.، محمدی، ح.، و مینایی، س. ۱۳۹۴. مروری بر حسگرها و فناوری شبکه بی سیم در بهینه سازی مصرف آب و نهاده های کشاورزی. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. جلد ۲ شماره ۱. ص: ۷۰-۵۷.

پرهیزگار، ع.، سلاخ پور، م.، و مستوفی زاده، ن. ۱۳۸۶. کاربرد سیستم کنترل اتوماتیک یکپارچه در طرح شبکه آبیاری تحت فشار. اولین کارگاه فنی خودکار سازی سامانه های آبیاری تحت‌فشار. کرج.

جوادی‌کیا، پ.، طباطبایی‌فر، ا.، امید، م.، علیمردانی، ر.، و نادرلو، ل. ۱۳۸۶. کنترل هوشمند به کمک منطق فازی برای اتوماسیون سیستم آبیاری گلخانه و ارزیابی آن نسبت به سیستم های متداول. اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه ای.گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران.

خزائی، ا. ۱۳۹۱. کاربرد اتوماسیون در بهره‌وری مصرف آب در مزرعه بر اساس داده‌های اقلیمی. رساله کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

ذاکری نیا، ب.، و بلسی، ع. ۱۳۹۲. تأثیر خودکارسازی سامانه های آبیاری قطره ای بر کاهش مصرف انرژی و آب. نشریه آب و توسعه پایدار. سال اول، شماره ۱. ص: ۷۲ – ۶۵.

رحیمی،ا.، و نادری، ز. ۱۳۸۹. بررسی و مقایسه میزان بهینه‌سازی مصرف انرژی در کنترل ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از سیستم اتوماسیون و روش‌های کلاسیک راه‌اندازی، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

سعیدی، و. ۱۳۸۹. معرفی سیستم های SCADA. انتشارات آفرنگ. ۲۷۱ صفحه.

علمداری، ع.، و کریمی، م. ۱۳۹۰. مرجع کاربردی SIMULINK انتشارات نگارنده دانش. ۴۸۰ صفحه.

گمرکچی، ا.ی.، و پرورش‌ریزی، ع. ۱۳۹۶. مدلسازی دینامیک پمپ-های دور متغیر در سامانه های آبیاری تحت فشار با رویکرد به تحلیل مصرف انرژی (مطالعهٔ موردی: سامانهٔ آبیاری کشت و صنعت اشرفیه). نشریه تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی. دوره ۱۸، شماره ۶۸. صفحه ۱۴۳-۱۶۰.

ولی‌زاده ، ن. ۱۳۸۶ . خودکار نمودن سامانه های آبیاری تحت فشار. نشریه آبیاری و زهکشی ایران . شماره ۵.

یاری، ع. ۱۳۸۹. طراحی و ساخت سیستم کنترل و مانیتورینگ هوشمند ایستگاه پمپاژ. گزارش پژوهشی شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. مرکز رشد واحدهای فن‌آوری دانشگاه تهران.

Bennis, I., Fouchal, H., Zytoune, O., Aboutajdine, D. 2017. Monitoring Drip Irrigation System Using Wireless Sensor Networks. Advances in Network Systems, 641: 297-315.

Boman, B., Smith, S., Tullos, B. 2002. Control and Automation in Citrus Microirrigation Systems. Florida, IFAS Extension, Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Gainesville, FL, 32611.

Chee-Mun, O. 1997. Dynamic Simulation of Electric Machinery: Using MATLAB/ SIMULINK. Prentice Hall, 560 P.DIN 19226. 1968. Control Engineering; Definitions and Terms. Germany.

Nandhakumar, T., Vidhya, S., Jenita Shiny, S. 2017. Automatic Irrigation System. Journal of Electronic Design Engineering, 3(1).

Playan, E and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Agricultural Water Management, 80: 100–116.

Silvister, S., Rai, R., Yadav, M., Bopshetty, S., Sagar, P. 2017. Controlling of Drip Irrigation Methodologies. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, 6(1):83-89.

Water Management in Agriculture
Vol. 4, No. 1, Spring and Summer 2017, 9-20

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶، ص. ۲۰-۹

A Review of the Operation Automatic Pressurized Irrigation System

A.U. Gomrokchi[1]* and A. Parvaresh Rizi[2]

Abstract

Today, due to water resources constraints, the main aim of automation is the ability to predict the optimal amount of irrigation water and promote the management of distribution and delivery of water in an irrigation system. By development of accumulated irrigation systems from different agronomic and horticultural areas, the need for automatic systems tends to be more evident in order to reduce the technical and social problems in projects. In this research, automation capabilities in pressurized irrigation systems have been investigated using integrated water and energy consumption management method. Moreover, because of the automation activities of pressurized irrigation systems are focused in the pumping stations, control algorithms in pressurized irrigation systems are also discussed. Study of control methods in irrigation systems indicated that due to effect of environmental factors in system operation and in order to manage the water and energy consumption, the use of closed loop control with PID controller in accumulated pressurized irrigation systems is recommended and applied.

Key words: Automation, Algoritm control, Irrigation system, Pumping station, System control.

[1] Agricultural Engineering Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran. (* Corresponding Author: a.gomrokchi@areeo.ac.ir)
[2] Assistant Proffessor Irrigation and Reclamation Engineering Department, Agriculture and Natural Resources Campus. University of Tehran, Karaj, Iran.
Received: Jun 8, 2017
Accepted: Aug 2, 2017