دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مدیریت آبیاری در ایران، چالش‌ها و چشم‌اندازها

همایش ملی

چهارشنبه و پنجشنبه
۵ و ۶ اسفند ماه ۱۳۸۸

عنوان مقاله:

سامانه‌های بهره‌برداری خودکار شبکه‌های روباز آبیاری

نویسندگان:

کیومرث ابراهیمی[۱]، فاطمه نایب لوئی[۲]

چکیده

بر اساس نظر شورای جهانی آب، کشورهای در حال توسعه از جمله ایران برای غلبه بر مشکلات غذایی خود باید تا سال ۱۴۰۰ حدود ۳۰ درصد به تولیدات کشاورزی خود بیفزایند. این در حالی است که بر اساس پیش‌بینی‌های فائو تا آن زمان فقط می‌توان ۲۳ درصد بر سطح اراضی آبی افزود. از طرف دیگر عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری ضرورت بهبود بهره‌وری از آب، ارتقاء عملکرد و مدیریت شبکه‌ها را ایجاب می‌کند. یکی از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری آب و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری بهره‌گیری از سامانه‌های بهره‌برداری هوشمند می‌باشد. سامانه‌های بهره‌برداری هوشمند کانال‌های روباز آبیاری که به سامانه‌های خودکار مشهور بوده و شامل سخت افزارهایی مانند تجهیزات ابزار دقیق، ابزارهای کنترلی، ابزارهای الکترونیکی و مخابراتی و نرم افزارهایی است که قابلیت کنترل اجزای سخت افزاری سامانه را در دو سطح محلی و مرکزی دارا می‌باشند. در چند دهه اخیر در برخی از کشورهای جهان شبکه‌های آبیاری و زهکشی با لحاظ امکان بهره‌برداری خودکار آتی طراحی شده و پس از بهره‌برداری اقدام به خودکارسازی مرحله‌ای در سطوح مختلف از سطح کنترل نظارتی غیرخودکار تا کنترل کامل خودکار صورت گرفته است. در این شبکه‌های آبیاری و زهکشی ابزارهای ارتباطی نیز اعم از ارتباط تلفنی، ماهواره‌ای و اینترنتی به کار گرفته شده است. اگرچه به منظور خودکارسازی کانال‌ها، اجراء یک شبکه کانال روباز جدید نسبت به تغییر شبکه کانال موجود ارجحیت

۱- استادیار دانشگاه تهران، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کد پستی:۳۱۵۸۷۷۷۸۷۱) گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، صندوق پستی ۴۱۱۱، تلفن و نمابر: ۰۲۶۱۲۲۲۶۱۸۱ - رایانامه: EbrahimiK@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه ارومیه

دارد، لیکن با توجه به تعدد شبکه‌های موجود در ایران که بعضاً نیاز به بهسازی در قالب طرح‌های مدرن‌سازی دارند، بهتر است خودکارسازی در قالب دو استراتژی عمده صورت گیرد. اول در مورد شبکه‌های جدید که در سال‌های آینده اجرا خواهند شد، امکان خودکارسازی همراه با برنامه زمان‌بندی بهره‌برداری مرحله‌ای در سطوح مختلف و تجهیزات مورد نیاز آن در طراحی در نظرگرفته شود و روش‌های ترویجی برای پذیرش از سوی آبران صورت گیرد. دوم آنکه در مورد شبکه‌های موجود که نیاز به بهسازی دارند در قالب اجرای عملیات مدرن‌سازی، امکان خودکارسازی بررسی و تجهیزات مورد نیاز برای اتوماسیون فراهم شود. این دو راهکار می‌تواند به عنوان گام‌های اولیه در تدوین سیاست‌های جامع خودکارسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در ایران به شمار رود. در مقاله حاضر ضمن مرور بر مبانی خودکارسازی شبکه‌ها؛ به معرفی برخی از پروژه‌های انجام شده در نقاط مختلف دنیا پرداخته شده و پیشنهاد خودکارسازی شبکه‌های موجود که نیازمند بهسازی هستند، به عنوان یک راهکار اصلی افزایش بهره‌وری آب ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: بهسازی، بهره‌وری، سامانه‌های بهره‌برداری خودکار، شبکه‌های روباز آبیاری

۱- مقدمه

مرور مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نیاز به آب، تقریبا هر ۲۱ سال یکبار دو برابر می شود [۱۷]. بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب شیرین است و براساس نظر شورای جهانی آب، کشورهای درحال توسعه از جمله ایران برای غلبه بر مشکلات غذایی خود باید تا سال ۱۴۰۰ حدود ۳۰ درصد به تولیدات کشاورزی خود بیفزایند. این در حالی است که بر اساس پیش‌بینی‌های فائو تا سال ۱۴۰۰ فقط می‌توان ۲۳ درصد بر سطح اراضی آبی افزود. لذا لزوم مدیریت مناسب منابع آب موجود مشخص می‌شود [۱۷].

محدودیت منابع آب و عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری، ضرورت بهبود بهره‌وری از آب، ارتقاء عملکرد و مدیریت شبکه‌ها را ایجاب می‌کند. یکی از راه کارهای افزایش بهره‌وری از آب و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری بهره‌گیری از سامانه‌های کنترل خودکار[1] است. این فناوری در بسیاری از کشورهای جهان با موفقیت بکار گرفته شده است، ولی در کشور ما اخیراً به عنوان اولویت تحقیقاتی دستگاه‌های اجرایی مطرح شده است. برخی از سامانه‌های کنترل خودکار به صورت مدل‌های ریاضی توسعه یافته‌اند ولی فن آوری ساخت و اجرای عملی آن‌ها هنوز در کشور ما توسعه نیافته است [۳].

مزیت‌های خودکارسازی شبکه‌های آبیاری روباز شامل، کاهش نیروی انسانی مورد نیاز جهت باز و بسته کردن دریچه‌ها، امکان کنترل از راه دور تأسیسات، کاهش خطای انسانی به دلیل کنترل هوشمند، کنترل هدر رفت آب، امکان بررسی راندمان آبیاری، افزایش عمر تجهیزات به دلیل بهره‌برداری منظم بامدیریت هوشمند، امکان مدیریت بهینه مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های ترابری در اثر به حداقل رسانیدن بازدیدها، امکان تسلط نرم‌افزاری و سخت‌افزاری برکارکرد آبیاری و فرآیند تولید، به صورت محلی و مرکزی می باشد. از طرف دیگر هزینه سرمایه‌گذاری بالا و نیاز به نیروی متخصص جهت انجام تعمیرات از محدودیت‌های خودکارسازی به شمار می‌رود.

1- Atumation

به طورکلی خودکارسازی کانال به حلقهٔ بسته‌ای اطلاق می‌شود که در آن یک دریچه یا پمپ موقعیت یا تنظیمش را برای عکس‌العمل در مقابل تغییرات رقوم سطح آب، شدت جریان یا فشار تغییر دهد. این شرایط زمانی رخ می دهد که تراز آب، شدت جریان یا فشار با میزان هدف مورد نظر تفاوت داشته باشد. منظور از حلقه بسته این است که عملیات انجام شده بدون دخالت نیروی انسانی(عملگر) انجام شود. خودکارسازی ممکن است به صورت هیدرولیکی، الکتریکی، الکترونیکی و یا ترکیبی از این فناوری‌ها انجام شود [۸].

به منظور کنترل کانال‌های روباز دو نوع منطق وجود دارد که شامل کنترل هیدرولیکی اتوماتیک محلی بالادست و پایین دست می‌باشند. کنترل بالادست نیازمند یک برنامهٔ زمان‌بندی دقیق برمبنای تقاضای مالکان و یا بر مبنای اراضی مهم، داده‌های هواشناسی و تخمین راندمان و زمان انتقال می‌باشد، در حالی که کنترل پایین دست نیازی به تهیه برنامه زمان‌بندی ذکر شده ندارد.

سامانه‌های خودکار شامل سخت افزارهایی است که می‌تواند شامل تجهیزات ابزار دقیق، ابزارهای کنترلی، ابزارهای الکترونیکی و مخابراتی باشد. همچنین این سامانه‌ها مجهز به نرم افزارهایی هستند که قابلیت کنترل اجزای سخت افزاری سیستم را در دو سطح محلی و مرکزی دارا می‌باشند [۲]. تجهیزات ابزار دقیق می‌تواند شامل تجهیزات اندازه‌گیری جریان، حسگرهای سطح و فشار آب، موقعیت‌یاب‌ها و بسته‌های نرم افزاری هواشناسی باشند. تجهیزات کنترلی شامل RTU ها[1] می‌باشد که مرکزی برای جمع آوری سیگنال‌ها و پردازش و ارسال فرامین هستند. تجهیزات الکتریکی شامل حسگرها و موتورهای فرمان و تجهیزات مخابراتی شامل ابزارهای ارتباطی از جمله مودم، آنتن، دکل و کابل می‌باشند [۲]. کنترل اتوماتیک هیدرولیکی دریچه‌ها از سال ۱۹۲۰، با نصب دریچه‌های خودکنترلی نشتی (دریچه‌های دانادین) در آمریکا آغاز شد. این دریچه‌ها از جنس چوب سخت بود و در ناحیه آبیاری ترلوک[2] کالیفرنیا نصب شدند و پس از گذشت نزدیک به ۱۰۰ سال بعد از نصب، هنوز بهره‌برداری می‌شوند. در اواخر سال ۱۹۳۰ یک کارخانه فرانسوی یک سری دریچه‌های شناور[3] ساخت که عملکردی مشابه توزیع کنندهٔ مدول داشتند. این دریچه‌ها مانند دریچه‌های آمیل که جریان ثابتی را در بالادست یا همانند دریچه‌های آویس و آویو که جریان ثابتی را در پایین دست ایجاد می‌کنند، عمل می‌کردند. این دریچه‌ها بطور گسترده در کشورهای مدیترانه‌ای و چند کشور در خاورمیانه مثل ایران (پروژه گیلان) و عراق (کرکوک، پروژهٔ Lower khalis) مورد استفاده قرار گرفتند. همزمان با کاربرد این دریچه‌ها، دریچه‌های اتوماتیکی در هلند با هدف ثابت نگه داشتن سطح آب بالادست بکار گرفته شد.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور خودکارسازی کانال ها به طور کلی طراحی و اجرای یک کانال جدید نسبت به تغییر یک کانال اجرا شده ارجحیت دارد. زیرا طراح می‌تواند از همه امکانات ممکن برای دستیابی به طراحی یک سامانه بهینه استفاده کند. فرآیند طراحی شامل تعیین اهداف پروژه، طراحی شبکه کانال‌ها، تعیین الگوی توزیع و تحویل آب مورد انتظار و تعیین ضوابط بهره‌برداری پروژه می‌باشد.

1- Remote Terminal Unit
2-Turlok
3- float-operated

۲-۱- طراحی سازه‌های تنظیم

سازه‌های تنظیم جهت تنظیم سطح آب کانال در بالادست سازه به منظور حفظ ارتفاع سطح آب بالادست برای تحویل آب می‌باشند. سازه‌های تنظیم ممکن است به منظور تنظیم عمق، اندازه‌گیری و کنترل جریان و افزایش و تنظیم حجم‌های آبگیر داخل کانالی در نظر گرفته می‌شوند. عملکرد و سطح بهره‌برداری از سامانه کانال به عملکرد سازه‌های تنظیم برای مدیریت جریان و عمق جریان وابسته است. در طراحی بایستی نوع سازه‌های تنظیم و موقعیت آن طوری تعیین شود که نیازهای گسترده بهره‌برداری از شبکه را با یک برنامه زمان بندی انتخابی دارا باشند.

تصمیم‌گیری برای تعداد و موقعیت سازه‌های تنظیم مشکل است اما این تصمیم، بهره‌برداری از کانال را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. سازه‌های تنظیم بایستی در جاهایی که کانال به دو شاخه تقسیم می‌شود، سیفون‌ها، دراپ‌ها، محل تغییر در ظرفیت کانال، آبگیرهای اصلی و هرزآب روها تعبیه شوند. پس از طراحی سازه‌های تنظیمی، تنظیم کننده‌های بیشتری بایستی اضافه شوند تا طول مناسب آبگیرها تعیین شود. فاصله بین سازه‌های تنظیم‌کننده بیشترین تأثیر را روی توانایی کنترل جریان در کانال دارد. اگر این فاصله زیاد باشد تغییر جریان بدون ایجاد نوسانات زیاد در عمق جریان مشکل خواهد بود.

دریچه‌ها بایستی در سازه‌های تنظیم کانال خودکارسازی شده، به نیروی محرکه مجهز شوند. (استثنا: دریچه‌های شناور با وزنه تعادلی مثل دریچه‌های خودکار نیرتک NEYRTEC [12]). برای این منظور هر دو نوع دریچه قطاعی و کشویی عمودی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما دریچه‌های قطاعی برای خودکارسازی برتری دارند. دریچه‌های کشویی هزینه اولیه کمتری دارند اما مشکلات نگهداری و بهره‌برداری بیشتری دارند. دریچه‌های قطاعی می‌توانند با دقت بالاتری تنظیم شوند و عملکرد بهتری در حرکت به صورت متناوب دارند. به طور کلی در طراحی‌های بهسازی وقتی که جریان طراحی از ۶ مترمکعب در ثانیه تجاوز می‌کند و یا دریچه‌ها عریض‌تر از ۱/۸ متر می‌باشند از دریچه‌های قطاعی استفاده می‌شود.

در طراحی بایستی توجه شود که دریچه‌های قطاعی برای تنظیم کننده‌های خودکار کوچکتر به منظور دستیابی به کارکرد با درجه اطمینان طولانی مدت و کاستن از هزینه‌ها مناسبند. بالابرها و موتورهای دریچه‌های خودکارسازی شده بایستی برای تنظیم دقیق و متناوب دریچه‌ها طراحی شده باشند. جهت مهیا کردن موقعیت‌یابی دقیق و پیمایش دریچه، مکانیزم بالابر دریچه بایستی به گونه‌ای باشد که حداقل میزان جابه‌جایی حاصل شود. بهتر است موتور، دنده‌ها و وسیله بالا برنده دریچه برای تنظیم دقیق دریچه با دقت ۶ تا ۱۵ میلی متر طراحی شود. موتورهای دریچه باید به منظور هماهنگ کردن تعداد زیادی حرکات در روز، بازده دورانی بالایی داشته باشند.

در شرایط غیر عادی بهره‌برداری در بیشتر کانال‌ها، میسرترین روش پشتیبانی، کنترل دستی موضعی سازه‌ها است. در زمان قطعی برق، نبود ارتباط کنترلی و یا خرابی تجهیزات، کارکنان بهره‌برداری و نگهداری مجبورند به محل تنظیم رفته و دریچه‌ها را به صورت دستی تنظیم کنند. هر چند بهره‌برداری از کانال ممکن است در طول کنترل دستی موضعی مشکل باشد، اما معمولاً سیستم کانال باید از تخریب محافظت شود تا شرایط به صورت عادی برگردد. طراحی تجهیزات بایستی به گونه‌ای باشد که امکان تنظیم دستی دریچه سازه تنظیمی حتی با چرخش دستی و ژنراتورهای قابل حمل وجود داشته باشد. دریچه‌های تنظیم کننده برای حفظ

موقعیت، به محض قطعی برق یا ارتباط، بهتر است طوری طراحی شوند که اختلال در جریان کانال به حداقل برسد.

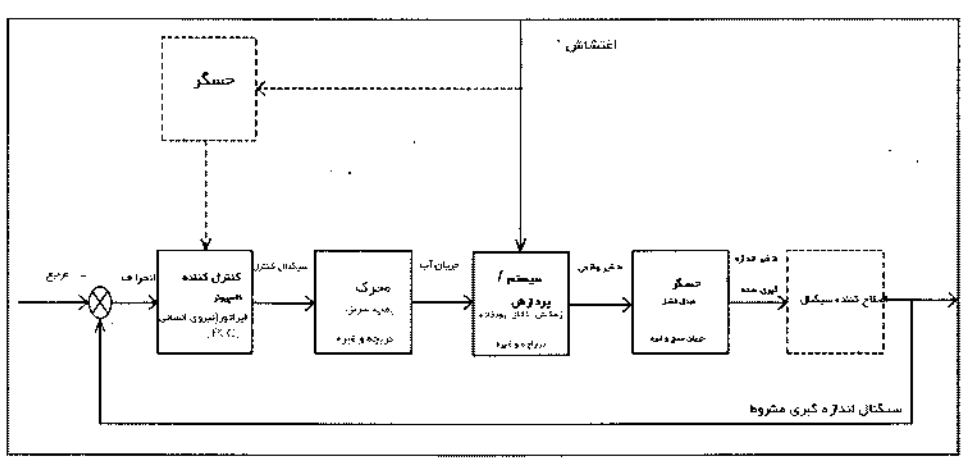
سازه‌های تنظیمی اغلب ترکیبی از دریچه‌ها و سرریزها می‌باشند. سرریزهای جانبی[1] در هر دو طرف دریچه‌ها به منظور منحرف کردن جریان اضافی در مواقع اضطراری و همچنین جلوگیری از افزایش عمق جریان بیش از حد در کانال ساخته می‌شوند. ظرفیت سرریزهای جانبی برابر با مقدار ماکزیمم جریان کانال در مواقعی است که دریچه به طور ناگهانی بسته شود. سازه‌های تنظیم بهتر است طوری طراحی شوند که در هنگام بهره‌برداری نرمال، جریان در دریچه یا همیشه مستغرق و یا همواره به صورت آزاد باشد.

۲-۲- آبگیرهای توزیع (آبگیرهای مزرعه)

نوع و موقعیت آبگیرهای توزیع که از عرض کانال آبگیری می کنند باید با روش بهره‌برداری کانال هماهنگ باشند. در آبگیرهای ثقلی مزرعه، سطح آب کانال باید نسبتاً ثابت باشد تا جریان ماندگار در آبگیر مزرعه رخ دهد. این محدودیت شدیداً بر انعطاف پذیری تحویل آب تاثیر منفی گذاشته، تا آنجا که یک طراح ممکن است نوع، تعداد یا موقعیت آبگیرهای مزرعه را تغییر دهد. سیستم‌های توزیع با خطوط لوله انعطاف پذیری بالایی برای توزیع و تحویل آب بین متقاضیان ایجاد می‌کنند. آبگیرهای توزیع لوله‌ای می‌تواند در هر جایی در طول کانال قرار داده شود تا زمانی که حداقل سطح آب کانال، آب آبگیر مزرعه را تأمین کند.

۲-۲-۱ - انواع روش‌های کنترل

یک حلقهٔ کنترل شامل بسته‌های استاندارد و اتصالاتی است که در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل بخش‌های مجزا و بردارهایی که با خطوط ممتد نشان داده شده‌اند، بخش‌های استانداردی است که در تمام سامانه‌های کنترل وجود دارند.



شکل (۱)-شکل شماتیک از بخش‌های مختلف یک حلقه کنترل

---

1 - Bypass weirs

۲-۲-۲- کنترل پس خورد[1]: در تمام زمینه‌های کاربردی کنترل پس خورد مهمترین روش کنترل می‌باشد. اهمیت این روش بدین جهت است که عملیات کنترل مستقیما بر مبنای هدف کنترلی است که بایستی سیستم کنترل شده به آن دست یابد. پارامتر ورودی به دیاگرام این بخش، نقطهٔ نهایی[2] می‌باشد. در این مورد، این سطح آب هدف است که بایستی در محدودهٔ حقابه باقی بماند.

۲-۲-۳- کنترل پیش خورد[3]: کنترل پیش خورد بر مبنای ترازی است که در آن اغتشاشات قابل اندازه‌گیری هدف کنترل را مخدوش می‌کنند. بارزترین ویژگی کنترل پیش خورد این است که ورودی آن داده‌های بر مبنای اندازه‌گیری یک تلاطم (اغتشاش) است در حالیکه در روش پس خورد سیگنال ورودی میزان انحراف از نقطه نهایی می‌باشد.

۲-۲-۴- مدل کنترل پیش‌بینی کننده (MPC)[4]: این مدل یک نام عمومی برای گروهی از روش‌های کنترلی می‌باشد که در واقع مدل‌هایی کاربردی هستند. این مدل‌ها از طریق اندازه‌گیری‌های به روز شده، امکان ایجاد پیش‌بینی‌های کوتاه مدت را فراهم می‌کنند. به کارگیری این مدل بر مبنای اندازه‌گیری‌های واقعی سیستم آبی و متعاقبا هدایت این مدل به نقطه نهایی می‌باشد. در واقع مدل MPC، کنترل پس خورد را مورد استفاده قرار می‌دهد. هنگامی که مدل در آینده محاسبه انجام می‌دهد و تلاطم‌ها تحت این افق پیش‌بینی ثبت می‌شوند، در واقع مدل MPC به عنوان یک کنترل کننده پیش خورد عمل می‌کند.

۲-۲-۵- روش‌های کنترلی ویژه: روش‌های کنترلی ویژه همانطور که از عنوانش بر می‌آید فقط برای مسائل کنترلی خاصی مناسب هستند و یا برای یک سیستم آبی خاص ایجاد شده و برای سیستم‌های آبی دیگر قابل کاربرد نیستند. این روش‌های کنترلی مبنای هیدرولیکی دارند و بر مبنای تئوری کنترل نیستند.

۳- تجربه‌های خودکارسازی در سامانه‌های روباز در دنیا

کانال گیگناک[5] در جنوب کشور فرانسه به حسگرها و محرک‌های مجهز شده است که کنترل و نظارت چهار رشته کانال منشعب را ممکن می‌سازد. کانال دارای ۴ آبگیر می‌باشد که توسط کنترل کننده‌های عرضی از یکدیگر تفکیک شده‌اند، ۱۵۰ خروجی آبگیر مزرعه[6]، ۱۳ دریچه و ۱۵ سرریز می باشد. در برنامه کنترلی به نام SIC در طول کانال، یک رابط گرافیکی ۲۰۰ مقدار داده را با زمانهای واقعی از حسگرها و PLC های کانال دریافت می‌کند[۷].

طرح خودکارسازی ناحیه آبیاری و زهکشی آریزونای مرکزی در کشور آمریکا در ۵ سطح عملیاتی برای اتوماسیون کامل یا کنترل غیرخودکار صورت گرفته است. ارتباطات در این سیستم توسط طیف رادیویی گسترده و قوی برقرار می‌شود. برای خودکارسازی کامل یا در دسترس داشتن هر نوع محاسبات جریان برای

1- Feedback control
2- setpoint
3- Feedforward control
4- Model Predictive Control(MPC)
5- Gignac
6- Off take

حالت‌های مختلف کنترل جریان، اطلاعات مربوط به موقعیت حسگر دریچه‌ها بایستی بعداً اضافه شود. در صورت نیاز، نرم افزار و یا سخت افزار یا بخش‌هایی از آن بصورت مستقل می‌توانند ارتقا یابند. مطابق با گزارشات، نصب و واسنجی دریچه در سپتامبر ۲۰۰۲ پایان یافته است [۱۲].

ناحیه آبیاری و زهکشی ماریکوپا استنفیلد در اواخر سال ۱۹۸۰، با هدف کنترل خودکار در آینده طراحی شد. تمام سازه‌های تنظیم‌کننده بر روی کانال اصلی و لترال‌ها به دریچه‌های دارای نیروی محرکه (موتور)، RTU و ایستگاه‌های مخابراتی مجهز شدند. این سیستم‌ها هرگز همانگونه که برنامه‌ریزی شده بود اجرا نشدند. کارمندان منطقه تنها قادر به کنترل خودکار از راه دور بر روی کانال اصلی شدند. در اواسط سال ۱۹۹۰، کارشناسان آزمایشگاه حفاظت آب ایالات متحده (USDA-ARS) بر روی کانال نسبتاً کوچکی که ابعاد آن برای آزمایشات واقعی مناسب بود و در محلی که دریچه‌هایی با نیروی محرکه قابل نصب بودند، شروع به انجام آزمایشاتی در زمینه خودکارسازی کانال نمودند. عملیات بهره‌برداری در آگوست ۲۰۰۲ با کنترل غیر خودکار روی ۴۵ سازه تنظیم‌کننده در ناحیه آبیاری همجوار آغاز شد. در طول بهار سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ جنبه‌های مختلف کنترل اتوماتیک شکل گرفت و به کل شبکه (شامل ۱۰۸ سایت) بسط داده شد [۵].

در اواسط سال ۱۹۶۰، یک سیستم کنترل از دور با نظارت غیر خودکار برای کانال اصلی پروژه رودخانه سالت در آریزونای مرکزی اجرا شد و در سال ۱۹۹۱ به یک مرکز کنترل با نظارت جدید مجهز شد. بعد از گذشت ۳ دهه از سال ۱۹۶۰ تا۱۹۹۱ تغییر کاربری چشمگیری از حالت کاربری کشاورزی به کاربری شهری، موجب تغییر تقاضا در بهره‌برداری از کانال شد. فاز یک این پروژه شامل پنج مرحله ۱) تعیین عکس العمل دینامیکی هرآبگیر داخل کانال و تفکیک رابط های هیدرولیکی مربوطه ۲) تغییردادن مدل شبیه‌سازی جریان غیرماندگار برای تدوین دستورالعمل‌های کنترل برای کاربران شبکه ۳) انتخاب کنترل‌کننده وافزایش ثبات کنترل‌کننده‌ها ۴) آزمایش و بررسی الگوریتم‌های کنترل با استفاده از مدل شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار و ۵) تحلیل نتایج و ارائه گزارش بود. بسته نرم افزاری Mike11 برای شبیه سازی جریان غیر ماندگار در این کانال مورد استفاده قرارگرفت. بسته اصلی این نرم افزار تنظیمات دریچه‌ها و تغییرات ناشی از برداشت‌ها که تابعی از زمان (جداول ورودی داده‌ها) می‌باشد را ممکن ساخت. طبق گزارشات و مطابق با برنامه زمان‌بندی بایستی این پروژه در سال ۱۹۹۷ به پایان رسیده باشد و فاز ۲ این پروژه شامل سیستم کنترل نظارتی به صورت کنترل اتوماتیک و نمایش سیستم کنترل به آبران است تا میزان آگاهی و پذیرش سیستم را افزایش دهد. در فاز ۳ سیستم کنترل روی کانال واقعی با زمان واقعی در یک فصل آبیاری مورد آزمایش قرار خواهد گرفت[۴].

در کشور هند، ناحیه ماجالگون، برای غلبه بر مشکلات نوسانات تقاضا، مسئولین دولتی مهاراشترا سیستم توزیع حجمی آب به اتحادیه کشاورزان را اجرا نمودند. بهبود کنترل آب در پروژه ماجالگون از کیلومتراژ ۰ تا ۱۶۵ در دو فاز متوالی آغاز شد. در فاز اول تمامی ۱۰۰ کیلومتر کانال و تمام طول کانال (شاخه) گانگا ماسلا[1] را تحت پوشش قرار داده شد. از نظر فنی این امر شامل ترکیب تکنیک‌های کنترل و تنظیمات مرتبط با کنترل از راه دور با نظارت کامپیوتری بر روی کانال اصلی و کنترل محلی با استفاده از دریچه‌های شناور،

1- Ganga Masla

سرریزهای تاج بلند، توزیع کننده‌ها و خروجی‌های خود تنظیم‌کننده بر روی توزیع کننده‌ها و شاخه‌های کوچک‌تر می‌باشد[۴].

در ناحیه آبیاری دره رسوبی کم عرض رودخانه سورائیا در کشور پرتقال، یک سیستم بر مبنای محاسبات و یک نرم افزار ارتباطی برای ارتباط با مناطق دور دست قرار داده شد و الگوریتم‌های برنامه پذیر مختلف به صورت محلی یا مرکزی فعال شد [۹]. واحدهای ارتباطی RTU شامل سه ایستگاه زمینی کانال با واحدهای کنترل و نظارت کننده و۱۲ ایستگاه زمینی با واحدهای نظارت می‌باشد. واحدهای کنترل و نظارت برای کنترل ورودی به کانال اصلی، کنترل ورودی به توزیع کننده‌های اصلی، کنترل خروجی پساب در خروجی‌های اصلی زهکشی اصلی، کنترل سطح آب در داخل کانال و واحدهای نظارت، برای نظارت بر ورودی به تغذیه کننده، خروجی پساب از سیفون‌های اتوماتیک نیرپیک، خروجی پساب از سرریزهای کانال پایین دست، خروجی پساب از سطح بالای سرریزها و خروجی پساب از روزنه‌های کنترل کننده دریچه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارتباط بین RTUها و سیستم مرکزی به صورت دو طرفه و توسط یک شبکه تلفنی و یا به یک شبکه GSM صورت می‌گیرد. هشدارها در کامپیوتر مرکزی ظاهر می‌شود و همچنین به یک دستگاه موبایل از پیش تعیین شده نیز ارسال می‌شود. هشدار دهنده‌های اصلی در زمینه عمق آب داخل آبگیر کانال‌ها و وضعیت بهره‌برداری دستگاه‌های کنترل (دریچه‌ها، سطح آب و حسگر دریچه‌ها و کنترل‌کننده‌ها) فعال می‌باشد. منبع تغذیه RTUها از انرژی برق شهری یا صفحات خورشیدی تأمین می‌شود [۹].

پروژه خودکارسازی در کشورهای ازبکستان، قرقیزستان و تاجیکستان در دو مرحله برای کنترل و تنظیم از راه دور سازه‌های هیدرولیکی بر روی سه کانال فرقانا در ازبکستان، کانال آراوان‌آکبورا در قرقیزستان و کانال خوجی باکیرجان در تاجیکستان انجام می‌شود. هدف این پروژه بهبود بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری و تخصیص آب کافی می‌باشد. پروژه خودکارسازی مذکور دارای دریچه‌های اتوماتیک، تجهیزات اندازه‌گیری جریان و تجهیزات انتقال داده‌ها در سازه‌های هیدرولیکی منطقه سیردریا در طول کانال آراوان آکبورا می‌باشد. عملیات فنی در طول دوکانال دیگر (فرقانای جنوبی و خوجی باکیرجان) بایستی تاپایان سال ۲۰۰۸ تکمیل کانال آراوان اولین کانال آزمایشی است که به بهره‌برداری آزمایشی رسیده است. مطابق با گزارشات تمامی شده باشد[۱۳].

پروژه خودکارسازی کانال آبیاری مولوالا[1] در استرالیا، با سازه‌های خودکار شامل تنظیم‌کننده‌های دریچه کم-هزینه با هدف کنترل اتوماتیک جریان آب منحرف شده توسط سرریز یاراونگا[2] (بر روی رودخانه Murray) می‌باشد [۱۴].

پروژه انتقال آب سردار ساروار در ایالت گجرات هند که با هدف نظارت از راه دور و کنترل سیستم می‌باشد. این پروژه شامل ۱۱۰۰ نقطه کنترل و اندازه‌گیری است که بین واحدهای ارتباط از راه دور (RTU در سطح بیش از ۹۳۰۵ مایل مربع) توزیع شده‌اند، یک واحد کنترل مرکزی (اولیه) و ۱۵ واحد کنترل ثانویه، کنترل اتوماتیک کانال با استفاده از اصل حجم ثابت، سیستم ارتباطی مازاد بر احتیاج با استفاده از کابل‌های نوری و امکان کنترل مدیریت آبیاری در تمامی پروژه می‌باشد [۱۶].

1- Mulwala irrigation canal
2- Yarrawonga

سیستم خودکارسازی پروژه آبیاری رودخانه سوییر در آمریکای غربی- یوتای مرکزی، از تجهیزات کم‌هزینه که از اینترنت و وب به عنوان یک ابزار نمایش داده‌های به روز استفاده می‌کند، تشکیل شده است. سیستم اتوماسیون شامل ۳ مخزن بزرگ آب، ۳ مخزن قابل تنظیم کوچک تر و ۱۵ سازهٔ انحراف آب می‌باشد. علاوه بر آن دارای ۱۰ سایت نظارت بر رودخانه، ۱۵ سایت نظارت بر کانال و ۴ ایستگاه هواشناسی می‌باشد. اکثر سایت‌های مزرعه به انرژی خورشیدی مجهز می‌باشند [۱۰].

در سال ۱۹۸۰، تکنولوژی استفاده از ماهواره GOES[1] در ایستگاه‌های نظارتی در طول رودخانه و کانال مورد استفاده قرار می‌گرفت. این ایستگاه‌ها، که داده‌هایی به صورت روزانه تهیه می‌کردند، مزیت استفاده از داده‌های به روز را در بهبود مدیریت رودخانه به اثبات رسانند. مشکلات استفاده از این سیستم اولیه شامل یک طرفه بودن سیستم ارتباطی و مناسب نبودن به منظور کنترل و اختصاصی بودن ایستگاه‌های ارتباطی ماهواره‌ایی برای هر سرپرست بود و بنابراین داده‌ها در سطح گسترده، قابل توزیع نبودند [۱۱]. در سال ۱۹۹۸ یک سیستم با دوربین دیجیتالی در سر شاخهٔ کانال ریچفیلد در حوضه آپر[2] طراحی و نصب شد. که از دریچه اصلی هر ۱۰ دقیقه یک عکس رنگی با کیفیت بالا می‌گرفت و سریعاً از طریق اینترنت در دسترس قرار می‌داد[۱۰]. در سال ۱۹۹۹ دوربین دوم به سیستم اضافه شد که برای بررسی شرایط آب و هوایی هر ۱۰ دقیقه عکس‌هایی از افق آسمان جنوبی تهیه می‌کرد[۱۱]. بعد از سال ۱۹۹۸ پروژه دارای دو نوع تجهیزات سیستم خودکار کم هزینه شد. ۱) یک واحد ۱۲ ولت با جریان مستقیم DC بر روی کانال اصلی ۲) یک سازهٔ سه انشعابی بر روی کانال اصلی نیروی محرکه دریچه شامل یک موتور چرخ دنده‌ای با قدرت کم بود که توسط زنجیر چرخ به گیربکس دریچه متصل شده بود. ارتباطات برای هر دو سایت آزمایشی توسط خطوط تلفن زمینی برقرار شد. برای نظارت بر سیستم تحویل آب و کنترل دریچه‌ها، کنترل‌کننده‌ها و ثبت کننده‌های کم هزینه داده مورد استفاده قرار گرفت [۱۰].

در طرح آبیاری کریان مالزی، یک سیستم آزمایشی بر روی دریچه عرضی در سراب کانال سلینسینگ[3] راه‌اندازی و محرک‌های دریچه بر روی دو دریچه کنترل نصب و آزمایش شدند. ابتدا محرک دریچه کاملاً مورد آزمایش قرار گرفته و سپس سایر تجهیزات خودکار شامل ثبت کننده‌های داده، کنترل کننده‌ها، سیستم ارتباطی، حسگرهای سطح آب، دوربین دیجیتالی و سرور نصب شد. برای نظارت و کنترل دریچه‌ها، ارتباط توسط تلفن موبایل (GSM) صورت می‌گیرد. واحد ارتباطی کم هزینه به منظور کنترل دریچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. خودکارسازی کامل طرح آبیاری کریان تفاوت‌های زیادی با سیستم نصب شده در سایت آزمایشی خواهد داشت. سیستم ارتباطی کامل از طریق ترکیبی از ارتباطات SHF, UHF، خطوط پر سرعت ارتباطی و ارتباط ماهواره‌ای خواهد بود [۱۰].

سیستم کنترل از راه دور یاکیما در کلمبیا، یک سیستم کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده برای کنترل از راه دور سازه‌های هیدرولیکی در سطح ۴۵۰۰۰۰ هکتار می‌باشد. این سیستم شامل تجهیزات دیجیتالی محاسب کوچک به عنوان کنترل کنندهٔ از راه دور مرکزی و ذخیره آب و بند انحرافی با استفاده از ارتباط رادیویی از

1- Geosynchronous Operational Environmental Satellite
2- Upper
3- Selinsing

نوع خط دیدی[1] می‌باشد. این سیستم تنظیمات گسترده‌ای از قبیل عملکردهای بهره‌برداری نظارت از راه دور سد، محاسبهٔ تنظیمات جدید دریچه، بالا و پایین آوردن دریچه‌ها، روندیابی و اخطاریابی حسگرها را امکان . . پذیر می‌کند و یک برنامه با محیط کاربر پسند برای نمایش وضعیت سیستم به کار می‌برد [۱۵].

۴- تجربیات ایران در اجرای خودکارسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی

خودکارسازی سازه‌ها در شبکه‌های آبیاری در کشور ما اولین گام‌های خود را شروع کرده است. عمده تحقیقات داخلی صورت گرفته در محیط مدل‌های ریاضی بوده است. قاسمی (۱۳۷۳) بمنظور مدیریت بهینه در بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری جهت تخصیص و توزیع دقیقتر آب زراعی در بین مشترکین، برنامه کامپیوتری محاسبه زمان لازم گذر جریان‌های متفاوت در طول فواصل کانال اصلی با شناسائی ۲۲ دریچه آبگیر فعال و تعیین مشخصات ابنیه کانال‌های هر فاصله را تهیه کرد. در تحقیق مذکور مقدار آب روزانه قابل انتظار از طالقان رود با روش میان‌یابی از کل متوسط ماهیانه‌های متوالی حاصل می‌شود و برای تمام روزهای سال محاسبه و ذخیره شده است. توزیع و تخصیص آب برای انشعابات کانال اصلی و مشترکین هر انشعات با توجه به نیاز آبی ماهیانه و همچنین آب روزانه مورد انتظار از طالقان برای طول ماه تعدیل می‌گردد این برنامه‌ها با یکدیگر پیوند خورده است. مساح (۱۳۷۹) اصول و مبانی سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری را معرفی نمود. همچنین از این دست تحقیقات می‌توان به توسعه مدل ریاضی سامانه‌های کنترل خودکار آبگیر نیرپیک، آب‌بند آمیل، آویو، و سامانه P+PR بالادست و پایین دست توسط مساح در سال ۱۳۸۰ و منعم و همکار در سال ۱۳۸۲ اشاره نمود.

وان اوورلوپ و عیسی پوردر سال ۲۰۰۹ روش های کنترل درکانال آبیاری دز در ۱۳ بازه کانال، با ۱۴ دریچه اتوماتیک و ۷۱ آبگیر دستی(دریچه undershot) را شبیه سازی، کنترل و یک روش کنترل را با توجه به نتایج شبیه سازی پیشنهاد نمودند.

سیستم‌های کنترل پایین دست معمول (با پشته افقی) و سیستم‌های کنترل پایین‌دست خاص (BIVAL, EL-FLO, CARRD) در کانالهای آبیاری در سال ۱۳۸۳ توسط امامی‌زاده معرفی شدند. توسعه مدل ریاضی سامانه کنترل با حجم ثابت BIVAL صورت گرفت و نتایج آن توسط منعم و همکار در سال ۱۳۸۴ ارائه گردید.

اصول اتوماتیک کردن سازه‌های کنترل سطح آب در کانال‌های آبیاری و نمونه ای از مدل ریاضی آن در سمیناری در سال ۱۳۸۵ توسط ایزدپناه معرفی شد. مدل ریاضی سامانه کنترل فازی در سال ۱۳۸۵ توسط کیاپاشا توسعه یافت و در کانالی از شبکه دز و کانال استاندارد ASCE با موفقیت مورد آزمون قرار گرفت. سیستم کنترل پایین دست سراسری P+PR توسط منعم و همکار در سال ۱۳۸۶، مورد آزمون قرار گرفت. مدل ریاضی الگوریتم کنترل بهینه ژنتیک در تحقیقات فرسادی زاده (۱۳۸۵) توسعه یافت. وی با استفاده از تعدادی سطح سنج اولترا سونیک و ساخت مکانیزم موتور و محرک دریچه و سیستم رابط رایانه‌ای، نمونه آزمایشگاهی از کنترل خودکار ارائه نمود و آن را برای آزمون الگوریتم کنترل بهینه ژنتیک مورد استفاده قرار داد.

1- line-of-sight

منعم (۱۳۸۶) دستاوردهای تحقیقاتی در زمینه خودکارسازی شبکه‌های آبیاری در ایران را ارائه نمود. در زمینه تولید تجهیزات خودکارسازی کانال‌های آبیاری سازندگان معدودی نسبت به ساخت و سایل اندازه‌گیری خودکار اقدام نموده‌اند که مراحل تست و آزمون را سپری می‌کنند. و در برخی از نمونه‌های موردی با موفقیت بکار رفته‌اند. این امکان وجود دارد که با بهره‌گیری از تجارب کسب شده، با استفاده از سطح سنج‌های ساخت داخل و تولید سامانه کنترل خودکار عمومی، بتوان امکان آزمون کلیه سامانه‌های کنترل خودکار مورد نیاز کانال‌های آبیاری را در کشور فراهم نمود.

۵ - بحث و نتیجه‌گیری

از بین ۱۰۴ شبکه آبیاری فعال در ایران به مساحت خالص ۱۳۴۹۱۸۶ هکتار تعداد ، ۶۳ شبکه مجهز به دریچه کشوئی، ۱۳ شبکه مجهز به دریچه قطاعی، ۵ شبکه مجهز به سازه تنظیم‌کننده سطح آب آویس و ۱۳ شبکه مجهز به سازه تنظیم‌کننده سطح آب آمیل می‌باشد. از نظر سازه‌های کنترل جریان ۵۱ شبکه دارای سرریز جانبی، ۷ شبکه دارای سرریز سیفونی، ۱۸ شبکه دارای سرریز انتهایی می‌باشد. تنظیم دریچه‌ها در حال حاضر در ۷۴ شبکه به صورت دستی (مکانیکی بدون الکتروموتور)، ۵ شبکه به صورت دستی توسط الکتروموتور و ۴ شبکه به صورت خودکار هیدرولیکی بهره‌برداری می‌شوند.

تمامی شبکه‌ها به جز تعداد محدودی از شبکه‌های آبیاری مانند شبکه گتوند در خوزستان (مجهز به تنظیم خودکار الکترونیکی، خودکار هیدرولیکی)، شبکه آبیاری و زهکشی دشت فیروزآباد به صورت خودکار هیدرولیکی، شبکه آبیاری و زهکشی سد وشمگیر مازندران به صورت خودکار الکترونیکی، شبکه آبیاری و زهکشی پشت آب و شیب آب و شبکه آبیاری میانکنگی بلوچستان به صورت خودکار هیدرولیکی می‌باشد و بقیه شبکه‌ها تنها به صورت دستی و یا دستی به کمک الکتروموتور بهره‌برداری می‌شود. جدول شماره ۱ خلاصه‌ای از نحوه عملکرد و تنظیم دریچه‌ها، سازه‌های آبگیری، اندازه‌گیری و سازه‌های تنظیم سطح آب ۷۴ شبکه کشور را بر حسب تعداد نشان می‌دهد.

جدول ۱- نحوه عملکرد و تنظیم دریچه‌ها، سازه‌های آبگیری، اندازه‌گیری و تنظیم سطح آب ۷۴ شبکه کشور

چگونگی تنظیم دریچه‌ها		سازه‌های آبگیری و اندازه‌گیری جریان		سازه‌های تنظیم سطح آب	
۷۴	دستی (مکانیکی)	۲۴	مدول	۶۳	دریچه کشوئی
۵	دستی (توسط الکترو موتور)	۱۴	پارشال فلوم	۱۳	دریچه قطاعی
۰	کنترل از راه دور	۳۹	دریچه کشوئی ساده	۵	آویس
۴	خودکار هیدرولیکی	۵	روزنه با بار هیدرولیکی ثابت(CHO)	۱۳	آمیل
۲	خودکار الکترونیکی			۲۳	سرریز نوک مرغابی

اگرچه تجربه‌های صورت گرفته در جهان در زمینه خودکارسازی شبکه‌های آبیاری قابل توجه است، ولی در کشور ما عمده تحقیقات صورت گرفته در محیط مدل‌های ریاضی بوده که البته مدلسازی در این زمینه یکی از پیش نیازهای طراحی سیستم‌های خودکارسازی و ابزاری برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های آینده برای

بهره‌برداری از سیستم و تعیین محدودیت‌های احتمالی آن می‌باشد که گام موثری در زمینه دستیابی به خودکارسازی به شمار می‌رود.

از طرف دیگر، اگرچه به منظور خودکارسازی کانال‌ها، طراحی یک شبکه کانال روباز جدید نسبت به تغییر شبکه کانال موجود، ارجحیت دارد، لیکن با توجه به شبکه‌های موجود در ایران که بعضاً نیاز به بهسازی و بازسازی در قالب طرح‌های مدرن‌سازی دارند، بهتر است خودکارسازی در قالب دو استراتژی عمده صورت گیرد. به این صورت که در مورد شبکه‌های جدید که در سال‌های آینده اجرا می‌شوند، طرح خودکارسازی همراه با برنامه زمان‌بندی بهره‌برداری مرحله‌ای سطوح مختلف خودکارسازی و تجهیزات و تسهیلات مورد نیاز آن در طراحی در نظر گرفته شود و روش‌های ترویجی برای پذیرش از سوی آبران صورت گیرد و همچنین آگاهی‌های لازم توسط سازمان‌های مرتبط با آب و تشکل‌های آبران ارائه شود. دوم آنکه در مورد شبکه‌هایی که نیاز به بهسازی دارند در قالب اجرای عملیات مدرن‌سازی، امکان اجرای خودکارسازی بررسی و تجهیزات و تسهیلات مورد نیاز برای خودکارسازی فراهم شود.

منابع

1- D. Ehler, H. Falvey,D. Rogers, E. Serfozo,R. Johansen, P. Voorheis,R. Arrington, L. Rossi, Canal Systems Automation Manual ,volume2,USBR,1995

۲- همدم قناتیان، قاسم زراعی و علی گرجی، اتوماسیون سامانه های ابیاری تحت فشار- اولین کارگاه فنی خودکارسازی سامانه های آبیاری تحت فشار- ۱۳۸۶

۳- مساح، ع. ر. (۱۳۸۰) تهیه مدل ریاضی سیستم های کنترل نیرپیک، آمیل، آویس، آویو و P+PR، پایان نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری،دانشگاه تربیت مدرس

4- A.J.Clemmens, E. Bautista, and R.J. Strand, Implementation of Canal Automation in Central Arizona, Online Available at: www.automata-inc.com (last access .....)

5- A. J. Clemmens, Susan S. Anderson,Water for a Sustainable World —Limited Supplies and Expanding Demand Second International Conference on Irrigation and Drainage, Phoenix, Arizona, May 12-15, 2003 , Published by U.S. Committee on Irrigation and Drainage

6- Anil B. Mandavia, Benchmark Studies On Modernization, Modernization of irrigation system operational management by way of canal, automation in India, Management Information Systems Sardar Saroar Narmada Nigam Limited, Gandhinagar, Gujarat, India

7- Jean-Pierre Baume & Pierre-Olivier Malaterre, Gilles Belaud, Benoit Le Guennec, SIC: A 1D Hydrodynamic Model For River and Irrigation Canal Modeling and Regulation , Online Available at: canari.montpellier.cemagref.fr (last access .....)

8- Lebdi Fethi, Water management strategy and irrigated area modernization:The Tunisian case, Online Available at: www.fao.org (last access .....)

9- M. Rijo, C. Arranja, Design and Field Tuning of a Real-Time Supervisory Control of an Irrigation Canal System, Departamento Engenharia Rural, Universidade de Évora

10- R. Hansen, A. Hilton, B. Berger, W. Pullan,Z. Gao and C. M. Lee , Low-Cost Automation and SCADA: a Pacific Rim Perspective, Online Available at: www.usbr.gov

11- Roger Hansen, Arlen Hilton, Bret Berger, Frank Woodward, Russell Anderson, Monitoring and Operating a Watershed Using Low-Cost Automation ann The Internet:The Sevier River Experience

12- www.automata-inc.com

13- www.swisscoop.tj

14- www.skmconsulting.com

15- www.sutron.com

16-www.tcb.aecom.com

۱۷- طرح توسعه روش های نوین آبیاری، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

۱۸- قاسمی، ع. (۱۳۷۳) کاربرد کامپیوتر در مدیریت شبکه‌های آبیاری (شبکه طالقان)، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.