جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

ضابطه شماره ۸۷۱

آخرین ویرایش: ۰۷-۰۵-۱۴۰۲

معاونت تولیدی، فنی و زیربنایی

امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران

nezamfanni.ir

وزارت نیرو

دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقآبی

waterstandard.wrm.ir

shaghool.ir

۱۴۰۲

shaghool.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره:	۱۴۰۲/۴۴۰۰۷۱
	تاریخ:	۱۴۰۲/۰۸/۲۰

موضوع: راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

در چهارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و به استناد تبصره (۲) ماده (۴) « نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور» موضوع مصوبه شماره ۲۵۲۵۴/ت۵۷۶۹۷ه مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران، به پیوست دستورالعمل شماره ۸۷۱ با عنوان «**راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی**» به صورت راهنما ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۴۰۲/۱۰/۰۱ برای همه قراردادهایی که از محل وجوه عمومی و یا به صورت مشارکت عمومی و خصوصی منعقد می‌شوند، به مورد اجرا گذاشته شود.

دبیرخانه «طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور» مستقر در وزارت نیرو، دریافت کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور اعلام خواهد کرد.

داود منظور

shaghool.ir

ش‌ش: ۶۶۱۸۶۲۳

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران معاونت تولیدی، فنی و زیربنایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با همکاری دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقابی – شرکت مدیریت منابع آب ایران – وزارت نیرو و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است.

نظر به تهیه این ضابطه به وسیله وزارت نیرو، مسئولیت مطالب تهیه شده، تفسیر و اصلاح آن با مجموعه مرتبط در آن وزارتخانه می‌باشد. دبیرخانه «طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور» مستقر در وزارت نیرو، دریافت کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی، اجرایی، مشاوران و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور اعلام خواهد کرد.

با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را منعکس فرمایید. کارشناسان مربوط نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه

تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران

Email: nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور

تهران، خیابان فلسطین شمالی، پایین‌تر از زرتشت، کوچه پرویز روشن، پلاک ۲۷ – شرکت مدیریت منابع آب ایران – دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقابی – تلفن: ۰۲۱۴۳۶۸۰۲۶۱ و ۰۲۱۴۳۶۸۰۲۸۹

Email: waterstandard@wrm.ir **web: waterstandard.wrm.ir**

باسمه‌تعالی

پیشگفتار

کمبود ذخایر موجود آب شیرین و رقابت در استفاده از این منابع، مستلزم تغییر نگرش از «افزایش تولید محصول بر واحد زمین» به «افزایش محصول بر واحد آب مصرفی» است. قدرمسلم آن‌است‌که بهره‌برداری و توزیع نامناسب آب در شبکه‌های آبیاری، باعث تلفات بالا و کاهش بهره‌وری آب در این بخش شده است. سازه‌ها و تجهیزات مورد استفاده در شبکه‌های آبیاری کشور، به طور عمده به صورت دستی یا سازه‌های خودکار هیدرولیکی هستند که این روش‌ها دقت و عملکرد محدودی دارند. برای نیل به افزایش محصول بر واحد آب مصرفی، به انعطاف‌پذیری در تحویل آب نیاز است که تنها با کنترل مناسب بر توزیع و تحویل آب میسر می‌شود.

از آنجایی که سامانه خودکار کنترل و توزیع، توانایی تحویل حجمی دقیق‌تر آب را داشته و در حسابداری آب، بهبود روابط اجتماعی تحویل آب، اصلاح برنامه آبیاری و امکان برنامه‌ریزی استفاده بهینه از آب، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، قادر به کنترل و کاهش تلفات آب بوده و باعث بهبود کیفیت خدمات‌رسانی و به ویژه تخصیص آب با آبدهی ورودی مطلوب و ثابت به تمامی مزارع می‌شود، این نیاز وجود داشت تا شیوه‌های نوین خودکارسازی در قالب راهنما در دستور کار قرار گیرد.

با توجه به اهمیت مبحث فوق‌الذکر، امور آب و آبفای وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی» را با هماهنگی امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرارداد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذی‌نفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود. این ضابطه پس از بررسی در چارچوب نظام فنی و اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و آیین‌نامه اجرایی آن و ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را منعکس فرمایند. نظرات و پیشنهادهای اصلاحی دریافت شده مورد بررسی قرار گرفته و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین تغییرات معتبر، در بالای صفحات ضابطه، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن صفحه نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

معاون تولیدی، فنی و زیربنایی

پاییز ۱۴۰۲

تهیه و کنترل «راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی»

[ضابطه شماره ۸۷۱]

مجری: شرکت مهندسین مشاور پراهوم

مسئول پروژه: احمد جعفری

اعضای گروه تهیه‌کننده (به ترتیب حروف الفبا):

علی اصفهلانی	کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک
احمد جعفری	کارشناسی مهندسی آبیاری و آبادانی
رحیم جعفری	دکتری مهندسی مواد و متالورژی
سوسن رضایی‌قره‌بلاغ	کارشناسی مهندسی آبیاری و آبادانی
هوشنگ فرحزاد	کارشناسی ارشد آموزش و ترویج کشاورزی
رضا کیانی	کارشناسی ارشد مهندسی عمران– مکانیک خاک و پی
فاطمه نایب‌لویی	دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی

اعضای گروه نظارت:

مجتبی احمدی‌زاده	دکتری مهندسی منابع آب	
حمیدرضا اسلامی	کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی– منابع آب	
انسیه محرابی	کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی	وزارت نیرو
محمدجواد منعم	دکتری مهندسی عمران (منابع آب)	دانشگاه تربیت مدرس

اعضای کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور:

جلال ابوالحسنی	کارشناسی ارشد مهندسی تاسیسات آبیاری	وزارت جهاد کشاورزی
سیاوش امینی	کارشناسی مهندسی آبیاری و آبادانی	نماینده پیمانکاران
احمد جعفری	کارشناس مهندسی آبیاری و آبادانی	نماینده مشاوران
سید وحیدالدین رضوانی	کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی	سازمان برنامه و بودجه کشور
سیدمجتبی رضوی نبوی	دکتری مهندسی سازه‌های آبی	خبره صنعت
محمدکاظم سیاهی	کارشناسی ارشد مهندسی عمران و مهندسی آبیاری و زهکشی	خبره صنعت
انسیه محرابی	کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی	وزارت نیرو- دبیر کمیته
احمد محسنی	دکتری مهندسی کشاورزی گرایش ترویج	خبره صنعت

محمدجواد منعم	دکتری مهندسی منابع آب	دانشگاه تربیت مدرس- رییس کمیته
آرش نجاتی	دکتری مهندسی سازه‌های آبی	وزارت نیرو
مریم یوسفی	دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی	شرکت مدیریت منابع آب ایران

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران
سید وحیدالدین رضوانی	کارشناس امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول - کلیات و ضرورت‌ها	**۳**
۱-۱- تعاریف پایه	۵
۱-۱-۱- خودکارسازی	۵
۱-۱-۲- مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری	۵
۱-۱-۳- انعطاف‌پذیری تحویل آب	۵
۱-۱-۴- تعاریف اختصاصی تاسیسات آبیاری و زهکشی	۶
۱-۱-۵- تعاریف اختصاصی سامانه کنترل در شبکه آبیاری و زهکشی	۶
۱-۱-۶- مدیریت توزیع آب	۱۲
۱-۱-۷- پدافند غیرعامل	۱۴
۱-۱-۸- سایر تعاریف	۱۴
۱-۲- ضرورت‌های خودکارسازی	۱۵
فصل دوم - مفاهیم، محدودیت‌ها و فرایندهای کلی مدرن‌سازی و خودکارسازی	**۱۷**
۲-۱- مقدمه	۱۹
۲-۲- مدرن‌سازی	۱۹
۲-۳- مزایای بالقوه مدرن‌سازی و خودکارسازی	۲۰
۲-۴- ارزیابی شبکه‌های آبیاری موجود پیش از مدرن‌سازی	۲۲
۲-۴-۱- شاخص‌های بیرونی	۲۳
۲-۴-۲- دامنه رواداری	۲۴
۲-۴-۳- فرایندها و شاخص‌های داخلی	۲۵
۲-۵- مراحل متداول در مدرن‌سازی با نگرش خودکارسازی سامانه	۲۶
۲-۶- انتخاب راهبرد مناسب در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری	۲۹
۲-۶-۱- مقایسه کنترل مرکزی، محلی و پراکنده	۳۱
۲-۶-۲- برنامه عکس‌العمل فوری و حفاظتی در شرایط اضطراری	۳۱
۲-۶-۳- توضیحی بر موفقیت‌های خودکارسازی موضعی و توسعه آن‌ها	۳۲
۲-۷- مواردی که استفاده از خودکارسازی مبتنی بر PLC توصیه نمی‌شود	۳۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل سوم - عوامل و اجزای تاثیرگذار در بهره‌برداری خودکار شبکه‌های آبیاری	**۳۵**
۳-۱- کلیات	۳۷
۳-۲- سامانه‌های انتقال، توزیع و کنترل آب در شبکه آبیاری	۳۸
۳-۲-۱- انواع سازه‌های کنترل	۴۱
۳-۲-۲- سازه‌های کنترل و جانمایی آن	۴۲
۳-۳- دریچه‌ها در سازه‌های تنظیم	۴۳
۳-۳-۱- سازه‌های متحرک الکتریکی قابل کنترل با PLC	۴۳
۳-۳-۲- سازه‌های تنظیم خودکار بدون استفاده از RTU/PLC	۵۲
۳-۳-۳- عمل‌گرهای دریچه	۵۵
۳-۴- ابزاردقیق و اندازه‌گیری	۵۹
۳-۴-۱- اندازه‌گیری تراز آب	۶۳
۳-۴-۲- حس‌گرهای وضعیت دریچه‌ها	۶۶
۳-۴-۳- اندازه‌گیری آبدهی مجاری انتقال آب	۶۸
۳-۵- پمپ‌ها	۶۹
۳-۵-۱- کنترل آبدهی متغیر	۶۹
۳-۵-۲- نکاتی در استفاده از درایوهای فرکانس متغیر	۷۵
۳-۶- مخزن تنظیمی در شبکه آبیاری	۷۶
۳-۶-۱- ضرورت پیش‌بینی مخازن تنظیمی	۷۷
۳-۶-۲- مزایای مخازن تنظیمی	۷۸
۳-۶-۳- عوامل مهم در طراحی مخازن تنظیمی	۷۹
۳-۶-۴- تعیین ظرفیت مجرای ورودی و خروجی مخازن	۸۰
۳-۶-۵- ملاحظات کنترل مخزن	۸۰
۳-۷- تامین انرژی	۸۷
۳-۷-۱- انتقال نیرو	۸۹
فصل چهارم - مبانی کنترل و بهره‌برداری خودکار سامانه آبیاری	**۹۳**
۴-۱- مقدمه	۹۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۲- مشخصات سامانه‌های کنترل	۹۵
۴-۳- متغیرها و پارامترهای کنترل	۹۷
۴-۴- روش‌های کنترل سامانه‌های آبیاری	۹۸
۴-۵- فلسفه و مفاهیم کنترل	۹۹
۴-۵-۱- کنترل دستی و کنترل خودکار	۱۰۱
۴-۵-۲- کنترل بازخوردی و کنترل پیش‌خوردی (نوع کنترل)	۱۰۲
۴-۵-۳- جهت کنترل بالادست و پایین‌دست	۱۰۴
۴-۵-۴- کنترل قرائت محلی، کنترل قرائت از دور و کنترل راه‌دور	۱۰۶
۴-۵-۵- کنترل سطح آب، آبدهی یا حجم	۱۰۸
۴-۶- ترکیب روش‌ها و مفاهیم کنترلی	۱۱۲
۴-۶-۱- کنترل شبکه با بخش‌های کنترلی مجزا	۱۱۲
۴-۷- الزامات و شرایط خودکارسازی در سه گروه منبع آب، سامانه انتقال و شبکه توزیع و مصرف	۱۱۳
۴-۷-۱- الزامات و شرایط خودکارسازی در ارتباط با منبع آب	۱۱۳
۴-۷-۲- الزامات و شرایط خودکارسازی در ارتباط با شبکه انتقال و توزیع	۱۱۵
۴-۷-۳- الزامات و شرایط خودکارسازی در ارتباط با مصرف	۱۱۶
۴-۸- الزامات و شرایط خودکارسازی در انواع شبکه‌ها	۱۱۶
۴-۸-۱- شبکه آبیاری سطحی	۱۱۶
۴-۸-۲- شبکه تحت‌فشار	۱۲۷
۴-۸-۳- شبکه کم‌فشار	۱۳۱
۴-۹- راهبردهای عمومی- مبانی خودکارسازی در انواع مدیریت‌های توزیع آب و بهره‌برداری شبکه	۱۳۲
۴-۹-۱- طبقه‌بندی روش‌های کنترلی	۱۳۳
۴-۹-۲- تکنیک‌های اجرای کنترل	۱۳۴
۴-۹-۳- مدیریت سامانه تحویل و تنظیم سازه‌ها در شبکه آبیاری	۱۳۸
۴-۹-۴- فرایند انتخاب روش کنترل سامانه تحویل	۱۳۸
۴-۹-۵- ارزیابی روش کنترلی	۱۴۲
۴-۹-۶- انتخاب نهایی	۱۴۶

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۱۰- الزامات خودکارسازی در شبکه‌های با بهره‌برداران خرده مالک	۱۴۷
۴-۱۱- الزامات سازه‌ای خودکارسازی در سامانه‌های کنترل از بالادست موجود	۱۴۸
۴-۱۲- بررسی امکان تبدیل سامانه‌های کنترل از بالادست به انواع سیستم‌های کنترل از پایین‌دست	۱۴۸
۴-۱۳- اصول و مبانی مخابرات سامانه کنترل	۱۵۰
۴-۱۳-۱- مدل‌های ارتباطی	۱۵۰
۴-۱۳-۲- پیکربندی شبکه ارتباطی	۱۵۱
۴-۱۳-۳- حالت‌های ارتباطی	۱۵۳
۴-۱۳-۴- پردازش ارتباطات	۱۵۴
۴-۱۳-۵- اهداف سامانه‌های مخابراتی	۱۵۷
۴-۱۳-۶- عوامل انتخاب	۱۵۸
۴-۱۳-۷- سامانه‌های مخابراتی با کابل فلزی	۱۵۹
۴-۱۳-۸- کابل فیبر نوری	۱۶۱
۴-۱۳-۹- فرکانس رادیوییUHF/VHF	۱۶۳
۴-۱۳-۱۰- ماکروویو	۱۶۵
۴-۱۳-۱۱- مخابرات (دامنه فرکانس) استیجاری	۱۶۷
۴-۱۳-۱۲- ماهواره	۱۶۸
۴-۱۴- پیکربندی سامانه	۱۶۹
۴-۱۴-۱- انتخاب پیکربندی سامانه	۱۷۰
۴-۱۵- انواع کانال‌های مخابراتی	۱۷۰
۴-۱۵-۱- سامانه‌های چهارسیمه در مقابل دوسیمه	۱۷۱
۴-۱۶- حفاظت در مقابل رعد و برق	۱۷۳
۴-۱۶-۱- سامانه زمین	۱۷۴
۴-۱۶-۲- قطع برق	۱۷۴
فصل پنجم - سامانه کنترل نظارتی و جمع‌آوری اطلاعات (اسکادا)	**۱۷۵**
۵-۱- مقدمه	۱۷۷
۵-۲- سطوح کنترل در سامانه اسکادا	۱۷۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۲-۱- سطح اول در سامانه کنترل نظارتی خودکار، موقعیت‌یابی هدف	۱۷۹
۵-۲-۲- سطح دوم در سامانه کنترل نظارتی خودکار، تصمیم‌گیری منطقی	۱۷۹
۵-۲-۳- سطح سوم در سامانه کنترل نظارتی خودکار، کنترل توسط رایانه	۱۸۰
۵-۳- اجزای سامانه اسکادا	۱۸۱
۵-۳-۱- ایستگاه‌های راه‌دور در سطح شبکه آبیاری	۱۸۱
۵-۳-۲- ایستگاه اصلی	۱۸۵
۵-۳-۳- انتخاب بسترهای مخابراتی	۱۹۱
۵-۴- خصوصیات سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری اطلاعات	۱۹۴
۵-۵- کاربرد روش‌های کنترل	۱۹۴
۵-۵-۱- نظارتی دستی	۱۹۵
۵-۵-۲- نظارتی خودکار	۱۹۶
۵-۵-۳- هدایت شده توسط رایانه	۱۹۶
۵-۶- نیازهای اجرای سامانه اسکادا	۱۹۷
۵-۶-۱- زمان عکس‌العمل سامانه	۱۹۸
۵-۶-۲- نیازهای در دسترس بودن	۱۹۸
۵-۶-۳- نیازهای امنیت سامانه	۱۹۹
۵-۶-۴- میزان دقت	۲۰۰
۵-۶-۵- شرایط اقلیمی محیط کار	۲۰۱
فصل ششم - شاخص‌های مدیریتی، فرهنگی- اجتماعی در انتخاب خودکارسازی شبکه‌های آبیاری	**۲۰۳**
۶-۱- مقدمه	۲۰۵
۶-۲- شاخص‌های تعیین ساختار مدیریتی	۲۰۵
۶-۲-۱- طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری و زهکشی برحسب انواع سازه‌ها و تاسیسات	۲۰۵
۶-۲-۲- شاخص‌های مدیریتی	۲۰۶
۶-۳- شاخص‌ها و چارچوب‌های لازم فرهنگی-اجتماعی برای خودکارسازی	۲۰۸
۶-۴- شاخص‌های انتخاب نرم‌افزارهای مدیریتی سامانه آبیاری	۲۱۰
۶-۵- مدیریت برنامه آموزشی خودکارسازی سامانه	۲۱۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶-۵-۱- الزامات برای موفقیت در آموزش	۲۱۲
فصل هفتم - منشور امنیت و پدافند غیرعامل	**۲۱۳**
۷-۱- مقدمه	۲۱۵
۷-۲- شناسایی ریسک‌ها، مخاطرات، حوزه‌های امنیتی و نقاط آسیب‌پذیر	۲۱۵
۷-۳- جوانب امنیتی طرح و تدوین منشور امنیت اطلاعات جهت رعایت اصول پدافند غیرعامل	۲۱۷
۷-۴- ملاحظات پدافند غیرعامل در کاهش اثرپذیری کلی سامانه از تهدیدات و حملات	۲۱۸
۷-۵- میزان اثرپذیری کلی سامانه از عوامل خراب‌کاری داخلی و خارجی در صورت به کار بردن سخت‌افزار و نرم‌افزارهای مختلف ساخت داخل و خارج کشور	۲۱۹
۷-۶- راه‌کارهای امنیتی در طراحی و پیاده‌سازی سامانه کنترل به منظور بالا بردن مقاومت شبکه، کاهش میزان خسارات و تسهیل بازسازی در حملات و شرایط بحران	۲۲۰
۷-۶-۱- امنیت در معماری سامانه خودکار	۲۲۱
۷-۶-۲- دسته‌بندی تهدیدها بر اساس سطوح معماری سامانه خودکار آبیاری	۲۲۲
۷-۶-۳- راهکارهای مربوط به سامانه امنیتی	۲۲۲
۷-۷- امنیت فیزیکی	۲۲۳
۷-۷-۱- امنیت فیزیکی تجهیزات	۲۲۴
۷-۷-۲- امنیت فیزیکی و عوامل انسانی	۲۲۵
فصل هشتم - انتخاب روش‌های کنترل برای شبکه‌های آبیاری در دست بهره‌برداری	**۲۲۷**
۸-۱- کلیات در امر خودکارسازی شبکه‌های موجود	۲۲۹
۸-۱-۱- چالش‌ها	۲۲۹
۸-۱-۲- چشم‌انداز موفقیت	۲۲۹
۸-۱-۳- ظرفیت بهبود	۲۳۰
۸-۱-۴- سوابق و تجربیات خودکارسازی شبکه‌ها	۲۳۰
۸-۱-۵- شکیبایی	۲۳۰
۸-۲- برنامه شناخت اجزای تاثیرگذار سامانه موجود آبیاری و زهکشی	۲۳۱
۸-۲-۱- سیمای عمومی طرح	۲۳۲
۸-۲-۲- سامانه کنترل و توزیع	۲۳۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۸-۲-۳- ضوابط و معیارها در بهره‌برداری	۲۳۳
۸-۲-۴- سازمان بهره‌برداری، پیشنهادی اولیه و موجود	۲۳۳
۸-۲-۵- اقدامات میدانی شناخت عوامل موثر	۲۳۴
۸-۳- تعیین محدودیت‌ها و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خودکارسازی	۲۳۵
۸-۳-۱- اقتصادی بودن خودکارسازی	۲۳۶
۸-۳-۲- محدودیت‌ها و امکانات خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری در دست بهره‌برداری کشور	۲۳۶
۸-۴- راهکارهای مدرن‌سازی و بسترسازی در شبکه‌ها برای تحقق خودکارسازی شبکه‌های آبیاری	۲۳۸
۸-۵- راهکار پیاده‌سازی سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری	۲۳۹
۸-۵-۱- انتخاب کنترل کاربردی سازه‌های تنظیمی	۲۳۹
۸-۵-۲- سامانه کنترل پیشنهادی	۲۴۰
۸-۵-۳- انتخاب روش‌های کنترل ساده‌تر در شبکه‌های تحت بهره‌برداری	۲۴۱
۸-۶- توجیه‌پذیری طرح خودکارسازی در شبکه‌های موجود	۲۴۴
۸-۶-۱- انواع هزینه‌ها	۲۴۴
۸-۶-۲- انواع درآمدها	۲۴۵
۸-۷- واحد آزمایشی	۲۴۷
فصل نهم - انتخاب روش‌های کنترل خودکار در سامانه‌های آبیاری و زهکشی- مرحله طراحی	**۲۴۹**
۹-۱- مقدمه‌ای بر طراحی سامانه آبیاری خودکار	۲۵۱
۹-۲- فرایند طراحی سامانه آبیاری خودکار	۲۵۲
۹-۳- انتخاب روش‌های کنترلی	۲۵۴
۹-۳-۱- انتخاب پیکربندی کنترل	۲۵۵
۹-۳-۲- انتخاب و جانمایی مخازن تنظیمی	۲۵۷
۹-۴- سخت‌افزارها و تجهیزات مورد نیاز	۲۵۷
۹-۴-۱- سازه‌های کنترلی در سامانه خودکار	۲۵۸
۹-۴-۲- انتخاب فاصله سازه‌های تنظیم	۲۶۱
۹-۴-۳- هرزآبروها در سامانه خودکار	۲۶۲
۹-۴-۴- سیفون‌ها و شیب شکن‌ها	۲۶۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹-۴-۵- آبگیرهای توزیع (آبگیرهای مزرعه)	۲۶۴
۹-۵- معیارهای انتخاب تجهیزات و سازه‌های تنظیم و اندازه‌گیری	۲۶۵
۹-۶- امکانات اجرایی مخابرات و انرژی مورد نیاز	۲۶۶
۹-۶-۱- مخابرات	۲۶۶
۹-۶-۲- انرژی	۲۶۶
۹-۷- ضوابط و معیارهای انتخاب سطح خودکارسازی جریان آب در شبکه	۲۶۷
۹-۷-۱- نقطه کلیدی ابتدایی	۲۶۸
۹-۷-۲- نقاط کلیدی میانی در شبکه اصلی آبیاری	۲۶۸
۹-۷-۳- نقاط کنترل کلیدی انتهای شبکه اصلی	۲۶۸
۹-۸- محدودیت‌ها و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	۲۶۹
۹-۸-۱- ضوابط جانمایی اجزای شبکه در طراحی	۲۶۹
۹-۸-۲- ملاحظات اجتماعی	۲۶۹
۹-۸-۳- ملاحظات بهره‌برداری در انتخاب روش کنترل	۲۷۰
۹-۸-۴- ضریب انعطاف‌پذیری ظرفیت کانال‌های روباز	۲۷۰
۹-۹- نحوه ساماندهی داده‌های پایه متناسب با سطح خودکارسازی شبکه	۲۷۱
۹-۱۰- مثال عینی از یک پروژه	۲۷۲
۹-۱۰-۱- کنتر ل ایستگاه پمپاژ	۲۷۲
۹-۱۰-۲- اصول بهره‌برداری	۲۷۴
۹-۱۰-۳- اولویت‌بندی و سطوح کنترل	۲۷۴
۹-۱۰-۴- مکانیزم کنترل الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی	۲۷۵
فصل دهم - مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری	**۲۷۷**
۱۰-۱- روش‌های پایش و ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع آبیاری خودکار	۲۷۹
۱۰-۱-۱- ارزیابی عملکرد سامانه	۲۷۹
۱۰-۱-۲- پیش نیازهای طراحی جهت عملکرد مورد انتظار در بهره‌برداری	۲۷۹
۱۰-۱-۳- راه‌اندازی سامانه	۲۸۰
۱۰-۱-۴- ملاحظات آزمودن عملکرد نقاط کنترلی در سامانه آبیاری خودکار	۲۸۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱۰-۱-۵- شاخص‌های کارایی	۲۸۲
۱۰-۱-۶- کنترل عملکرد هیدرولیکی سامانه خودکار	۲۸۳
۱۰-۲- چگونگی بازنگری ساختار سازمانی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری	۲۸۴
۱۰-۲-۱- کلیات	۲۸۴
۱۰-۲-۲- ساختار سازمانی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری	۲۸۵
۱۰-۳- چگونگی بازنگری شرح وظایف و شرایط احراز فنی مورد نیاز	۲۸۶
۱۰-۳-۱- تجربیات موجود	۲۸۶
۱۰-۳-۲- چگونگی بازنگری شرح وظایف	۲۸۹
۱۰-۳-۳- چگونگی بازنگری و شرایط احراز مهارت‌های فنی موردنیاز	۲۸۹
۱۰-۴- چگونگی بازنگری سازمان نگهداری و ملزومات مورد نیاز در سامانه	۲۹۳
۱۰-۴-۱- اتاق کنترل	۲۹۳
۱۰-۴-۲- توسعه‌پذیری و مدیریت‌پذیری	۲۹۴
۱۰-۴-۳- تامین انرژی	۲۹۴
۱۰-۴-۴- تمهیدات لازم برای تحقق امنیت فیزیکی	۲۹۵
پیوست ۱ - تجارب و سوابق سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری	**۲۹۷**
پیوست ۲ – فرم ارزیابی	**۳۳۵**
منابع و مراجع	**۳۴۱**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- خلاصه روش‌های توزیع و تحویل آب و مزایا و معایب آن‌ها	۱۵
جدول ۲-۱- اطلاعات شاخص اصلی I: خدمات واقعی تحویل آب به واحدهای تحت مدیریت خصوصی	۲۶
جدول ۳-۱- تفاوت بین چهار فناوری رایج در اندازه‌گیری تراز آب	۶۴
جدول ۳-۲- خلاصه انتخاب‌ها در کنترل پمپ	۸۴
جدول ۴-۱- خلاصه‌ای از مفاهیم کنترلی	۱۱۱
جدول ۴-۲- ارزیابی روش‌های بهره‌برداری در آبیاری	۱۴۴
جدول ۶-۱- طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری و زهکشی برحسب انواع سازه‌ها و تاسیسات*	۲۰۵
جدول ۶-۲- طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری و نیاز به خودکارسازی و مدرن‌سازی	۲۰۶
جدول ۶-۳- تعداد، سطح مهارت کارکنان و وضعیت مشارکت مصرف‌کنندگان آب در یک شبکه آبیاری و زهکشی با توجه به میزان خودکارسازی	۲۰۹
جدول ۷-۱- حمله‌های کلاسیک به سامانه‌های کنترل و اسکادا	۲۱۹
جدول پ.۱-۱- خلاصه‌ای از برخی از طرح‌های خودکارسازی در کشورهای مختلف جهان	۳۱۳
جدول پ.۱-۲- خلاصه‌ای از طرح‌های شبکه‌های فرعی تحت‌فشار بهره‌مند از سامانه‌های خودکار در کشور	۳۱۸
ادامه جدول پ.۱-۲- خلاصه‌ای از طرح‌های شبکه‌های فرعی تحت‌فشار بهره‌مند از سامانه‌های خودکار در کشور	۳۱۹
جدول پ.۱-۳- نمونه‌ای از سامانه‌های خودکار در ایستگاه‌های پمپاژ بخش کشاورزی	۳۲۳
جدول پ.۱-۴- برخی از انواع سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور	۳۲۷
جدول پ.۱-۵- وضعیت شبکه‌های آبیاری مدرن از لحاظ سازه‌های تنظیم	۳۲۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمایی از اجزای سامانه کنترلی خودکار در یک شبکه آبیاری ۷

شکل ۳-۱- مقطع طولی مختلف تراز آب در (الف) شدت جریان بالا، (ب) شدت جریان بالا و پایین، (ج) شدت جریان بالا و پایین در حضور دو سازه تنظیم و امکان تحویل آب در هر دو شدت جریان ۴۳

شکل ۳-۲- دریچه روگذر آرمتک در ناحیه آبیاری امپریال، کالیفرنیا، آمریکا ۴۶

شکل ۳-۳- دریچه نیوماتیک (اوبرمیر) در ناحیه آبیاری رودخانه واکر، نوادا، آمریکا ۴۶

شکل ۳-۴- فلوم-دریچه روبیکان ۴۷

شکل ۳-۵- دریچه‌های لنگمن (آکواسیستمز ۲۰۰۰) از دید بالادست ۴۷

شکل ۳-۶- دریچه‌های کشویی خودکار و یک ایستگاه پایش در کانال گیگناک فرانسه ۴۸

شکل ۳-۷- دریچه‌های کشویی با جعبه دنده دستی به‌صورت موازی در شبکه ورامین ۴۸

شکل ۳-۸- یک دریچه کشویی خودکار بزرگ در تایلند ۴۹

شکل ۳-۹- دریچه کشویی دستی با یک فرمان بزرگ و جعبه‌دنده (چپ) -دریچه کشویی بعد از سازه رسوب‌گیر (راست) ۴۹

شکل ۳-۱۰- چند دریچه کشویی موازی در شبکه چمران خوزستان ۴۹

شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای از دریچه کشویی خودکار همراه با فرمان دستی ۵۰

شکل ۳-۱۲- دریچه‌های قطاعی در سد تنظیمی دز ۵۱

شکل ۳-۱۳- دید پایین‌دست دریچه‌های قطاعی – شبکه آبیاری ورامین ۵۱

شکل ۳-۱۴- دید بالادست و پایین‌دست دریچه سالونی ۵۱

شکل ۳-۱۵- یک سرریز لبه طولانی با دریچه پاک‌سازی رسوب در انتهای میانه پایین‌دست ۵۲

شکل ۳-۱۶- سرریز لبه طولانی از نوع نوک‌مرغابی ۵۳

شکل ۳-۱۷- دریچه‌های آویس درشبکه آبیاری ورامین ۵۴

شکل ۳-۱۸- نمای بالادست دریچه آمیل در شبکه سفید رود گیلان (راست) و شبکه آبیاری قزوین (چپ) ۵۵

شکل ۳-۱۹- عمل‌گرهای دریچه‌های کشویی در ورودی مخزن تنظیمی ۵۶

شکل ۳-۲۰- مجموعه عمل‌گر (در سمت راست) برای دریچه کشویی در شبکه ورامین ۵۶

شکل ۳-۲۱- عمل‌گر برقی یک دریچه کشویی در شبکه آبیاری زنوز در آذربایجان شرقی ۵۷

شکل ۳-۲۲- عمل‌گر برقی دریچه قطاعی در شبکه آبیاری زنوز آذربایجان شرقی ۵۷

شکل ۳-۲۳- قرقره‌های بدون شیار کابل، روی هم قرارگرفتن کابل موجب ایجاد ناهماهنگی بین رابطه چرخش محور و حرکت کابل و دریچه می‌شود ۵۸

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۲۴- قرقره دارای شیار برای اطمینان از جمع و بازشدن منظم و یک‌دست کابل	۵۹
شکل ۳-۲۵- سطح‌سنج آب حباب‌ساز در داخل یک تابلو RTU.	۶۳
شکل ۳-۲۶- نمونه‌ای از اندازه‌گیر تراز سطح آب راداری.	۶۴
شکل ۳-۲۷- همگرایی و نوسان آب در ورودی یک دریچه، محدوده غیرمجاز نصب و استقرار حس‌گر	۶۴
شکل ۳-۲۸- قطر نامناسب لوله ورودی اتصال به چاهک آرامش برای خودکارسازی	۶۶
شکل ۳-۲۹- چاهک اندازه‌گیری در کنار یک سازه خودکار در موقعیتی با سرعت جریان کم در یک کانال آبگیری‌نشده؛ مناسب قرائت سامانه خودکار	۶۶
شکل ۳-۳۰- حس‌گر رمزنگار (داخل جعبه) اندازه‌گیری مقدار چرخش در انتهای محور دریچه قطاعی	۶۷
شکل ۳-۳۱- حس‌گر آلتراسونیک (نشان‌گر بالا)، ناظر حرکت نشان‌گر دریچه کشویی (نشان‌گر پایین)	۶۸
شکل ۳-۳۲- پتانسیومتر خطی و کابلی	۶۸
شکل ۳-۳۳- سرریزتخلیه در بازه کانال پایین‌دست ایستگاه پمپاژ که آب را به ورودی بازه کانال هدایت می‌کند	۷۰
شکل ۳-۳۴- جانمایی شیر تنظیمی در خروجی پمپ به کلکتور در ایستگاه پمپاژ	۷۱
شکل ۳-۳۵- چند پمپ موازی در کنار هم، ایستگاه پمپاژ رودخانه سیمره	۷۲
شکل ۳-۳۶- چند پمپ موازی در ایستگاه پمپاژ در Torres de Serge اسپانیا	۷۳
شکل ۳-۳۷- نمونه‌هایی از ایستگاه پمپاژ موازی با ترکیب مختلفی از پمپ/پمپ‌های مجهز به VFD	۷۴
شکل ۳-۳۸- نمونه‌هایی از مخازن تنظیمی، تنظیم شبکه تحت‌فشار (بالا)– شبکه روباز (پایین)	۷۷
شکل ۳-۳۹- کنترل مخزن بدون وجود افت بارآبی قابل توجه در کانال	۸۱
شکل ۳-۴۰- کنترل مخزن با افت بار آبی قابل توجه در کانال	۸۲
شکل ۳-۴۱- سرریز به مخزن از طریق یک سرریز لبه طولانی	۸۲
شکل ۳-۴۲- ورود آب به مخزن از طریق دریچه یک‌طرفه IRTC یا دریچه Begemann (به ندرت کاربردی است)	۸۳
شکل ۳-۴۳- جریان ثقلی به داخل مخزن توسط یک دریچه تحت کنترل PLC	۸۳
شکل ۳-۴۴- ترکیب در انتخاب الف برای کنترل پمپ	۸۴
شکل ۳-۴۵- ترکیب در انتخاب ب برای کنترل پمپ	۸۵
شکل ۳-۴۶- ترکیب در انتخاب پ برای کنترل پمپ	۸۵
شکل ۳-۴۷- وجود خروجی و ورودی با جریان ثقلی یا توسط پمپ در یک مخزن	۸۶
شکل ۳-۴۸- دو موقعیت برای اندازه‌گیری و کنترل جریان	۸۶
شکل ۳-۴۹- مثالی با دو نقطه کنترل جریان	۸۷

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۳-۵۰- نوعی از یک موتور ۱۰۰Watt و طرح نقشه آن (ابعاد به میلی‌متر)	۸۸
شکل ۳-۵۱- یک دریچه کشویی با عمل‌گربرقی و دستی، نحوه عملکرد پیچ طولی در مانور دریچه	۸۹
شکل ۳-۵۲- مقطع عرضی تیپ کانال و جاده سرویس با ترانشه کابل برق‌رسانی	۹۲
شکل ۳-۵۳- مقطع تیپ کارگذاری لوله انتقال آب همراه با کابل برق‌رسانی	۹۲
شکل ۴-۱- عملیات اصلی سامانه کنترل صنعتی	۹۶
شکل ۴-۲- نمایش روش‌های کنترل بالادست و پایین‌دست در شبکه آبیاری	۹۹
شکل ۴-۳- سازگاری راهبرد بهره‌برداری و راهبرد کنترلی در شبکه آبیاری	۹۹
شکل ۴-۴- نمودار پیکربندی کلی کنترل	۱۰۰
شکل ۴-۵- دیاگرام پیکربندی کنترل دستی	۱۰۱
شکل ۴-۶- دیاگرام پیکربندی کنترل خودکار	۱۰۲
شکل ۴-۷- نمودار پیکربندی کنترل بازخوردی	۱۰۳
شکل ۴-۸- نمودار پیکربندی کنترل پیش‌خوردی	۱۰۴
شکل ۴-۹- نمودار پیکربندی جهت کنترل بالادست	۱۰۵
شکل ۴-۱۰- نمودار پیکربندی جهت کنترل پایین‌دست	۱۰۵
شکل ۴-۱۱- نمودار پیکربندی کنترل محلی	۱۰۶
شکل ۴-۱۲- نمودار پیکربندی کنترل قرائت از دور (کنترل بافاصله)	۱۰۷
شکل ۴-۱۳- نمودار پیکربندی کنترل از راه‌دور	۱۰۷
شکل ۴-۱۴- نمودارهای پیکربندی کنترل سطح آب و آبدهی (با کنترل بازخوردی)	۱۰۹
شکل ۴-۱۵- نمودار پیکربندی کنترل آبدهی (با کنترل پیش‌خوردی)	۱۱۰
شکل ۴-۱۶- نمودار پیکربندی کنترل حجمی	۱۱۱
شکل ۴-۱۷- بازه کانال (a) با شرایط جریان یکنواخت نرمال و (b)تحت برگشت آب	۱۱۸
شکل ۴-۱۸- ایجاد موج در اثر تغییر در گشودگی دریچه سازه تنظیمی	۱۱۹
شکل ۴-۱۹- اثر گوه ذخیره بر حجم لازم برای رسیدن از یک آبدهی به آبدهی دیگر	۱۲۰
شکل ۴-۲۰- حداقل ارتفاع آزاد ثابت در روش کنترل عمق ثابت پایین‌دست بازه	۱۲۰
شکل ۴-۲۱- حداکثر ارتفاع آزاد در روش کنترل عمق ثابت بالادست بازه	۱۲۱
شکل ۴-۲۲- ارتفاع آزاد متغیر در روش کنترل حجم ثابت در بازه	۱۲۱
شکل ۴-۲۳- ارتفاع آزاد اضافی ثابت و ظرفیت ذخیره‌سازی تنظیمی بازه در روش حجم کنترل شده	۱۲۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۴-۲۴- تنظیم متوالی دریچه‌ها با افزایش آبدهی در مخزن و انتشار موج به پایین‌دست	۱۲۴
شکل ۴-۲۵- تنظیم متوالی دریچه‌ها از پایین‌دست شبکه به ترتیب تا مخزن و انتشار موج به بالادست	۱۲۵
شکل ۴-۲۶- تغییر هم‌زمان دریچه‌ها در حجم ثابت (نقطعه تعادل میان بازه)	۱۲۶
شکل ۴-۲۷- نمای کلی از خطوط شبکه آبیاری تحت‌فشار	۱۲۹
شکل ۴- ۲۸- انتخاب روش کنترلی در سامانه‌های تحویل آبیاری کانال	۱۴۰
شکل ۴-۲۹- مدل ارتباطی کلاینت-سِرور	۱۵۰
شکل ۴-۳۰- مدل همتا به همتا (P2P)	۱۵۱
شکل ۴-۳۱- پیکربندی‌های نقطه به نقطه و باس	۱۵۲
شکل ۴-۳۲- پیکربندی‌های ستاره و مش	۱۵۲
شکل ۴-۳۳- ترکیب پیکربندی باس و نقطه به نقطه	۱۵۳
شکل ۴-۳۴- مدل ارتباطی OSI	۱۵۵
شکل ۴-۳۵- مدل OSI به‌کار رفته در Modbus RTU و Modbus TCP	۱۵۶
شکل ۵-۱- اجزای اصلی سامانه اسکادا	۱۷۸
شکل ۵-۲- یک نمونه از ایستگاه مرکزی اسکادا و میزکار اپراتور	۱۸۷
شکل ۵-۳- پیکربندی (توپولوژی) پایه‌ای ارتباطات در یک سامانه اسکادا	۱۹۲
شکل ۵-۴- پیکربندی (توپولوژی) ارتباطات در یک سامانه بزرگ اسکادا	۱۹۳
شکل ۵-۵- نمودار پیاده‌سازی سامانه اسکادا (نظارت و کنترل توزیعی)	۱۹۴
شکل ۷-۱- معماری عمومی سامانه کنترل شبکه آبیاری خودکار هوشمند	۲۲۱
شکل ۹-۱- راهبردهای کنترل در سامانه‌های خودکار کانال‌های توزیع و تحویل آب آبیاری	۲۵۶
شکل ۹-۲- نمودار انتخاب راهبرد کنترلی	۲۵۷
شکل ۹-۳- تغییرات آبدهی در سرریز (سازه روگذر) و روزنه با تغییر در بارآبی	۲۵۸
شکل ۹-۴- نمونه‌ای از یک نقطه کنترلی شامل سه دریچه کشویی خودکار موازی و سرریزهای جانبی در دو طرف	۲۶۰
شکل ۹-۵- نوسانات سطح آب در بالادست یک دراپ (الف) با و (ب) بدون وجود سازه تنظیمی	۲۶۲
شکل ۹-۶- تاثیر فاصله سازه تنظیم بر نوسانات سطح آب	۲۶۲
شکل ۹-۷- افت سطح آب در سیفون با شدت‌جریان (الف)حداکثر (ب) نصف و (پ) بدون جریان	۲۶۵
شکل ۹-۸- زیرساخت‌های خودکارسازی و ذی‌نفعان	۲۷۱
شکل پ.۱-۱- جدول زمانی طرح‌های مدرن‌سازی آبیاری در گلبرن- موری	۳۰۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل پ.۱-۲- اثر عوامل مختلف در حفظ آب در ارزیابی عملکرد فاز ۴ سال NVIRP ۲۰۱۲/۲۰۱۱	۳۰۴
شکل پ.۱-۳- نمونه‌ای از پوشش‌دهی کانال خاکی و نصب سازه‌های تنظیمی عرضی (فلوم-دریچه) در طرح NVIRP، استرالیا	۳۰۴
شکل پ.۱-۴- نمایی از کلیت تغییرات در طرح نوسازی آبیاری ویکتوریای شمالی	۳۰۵
شکل پ.۱-۵- نمایی از شبکه کانال انحرافی از رودخانه واکر (پیش از مدرن‌سازی)	۳۰۶
شکل پ.۱-۶- نمای کانال انحرافی فاکس- مایکی و تغییرات پیشنهادی	۳۰۷
شکل پ.۱-۷- نمای ایستگاه پمپاژ، حفاظ آبزیان و استخر خروجی RD108 در کالیفرنیا، آمریکا	۳۰۹
شکل پ.۱-۸- نمایی از ناحیه آبیاری کالیفرنیای مرکزی و دره سن هواکین	۳۱۱
شکل پ.۱-۹- تعویض دریچه‌های قدیمی با دریچه‌های خودکار در رودخانه فِن، چین	۳۱۲
شکل پ.۱-۱۰- ایستگاه پمپاژ و خط‌لوله انتقال به ارتفاع حداقل ۱۵۰متر از رودخانه سیمره	۳۲۴

مقدمه

بهره‌وری در مدیریت آب نه تنها یک ضرورت اساسی در این مقطع زمانی است بلکه عدم توجه به آن نیز برای نسل‌های آینده یک مشکل به حساب می‌آید. طبق «هشتمین گزارش توسعه جهانی آب سازمان ملل» در سال ۲۰۲۱ میلادی، مصارف کشاورزی آبی ۶۹ درصد از آب شیرین را در سطح جهان به خود اختصاص می‌دهد؛ به همین دلیل استفاده بهینه از آن، به‌خصوص در شرایط کنونی، به‌شدت حیاتی است. طبق پیش‌بینی، جهان تا سال ۲۰۳۰ با کمبود آب ۴۰ درصدی مواجه خواهد بود.

کمبود ذخایر موجود آب شیرین و رقابت در استفاده از این منابع، مستلزم تغییر نگرش از «افزایش تولید محصول بر واحد زمین» به «افزایش محصول بر واحد آب مصرفی» است. در عوض، این تغییر نیازمند یک رویکرد جامع و اصولی در بهینه‌سازی امر آبیاری اراضی کشاورزی از منظر تحویل آب، برنامه‌ریزی کاربردی، اقلیم، بارندگی، حاصلخیزی خاک، مراحل بحرانی رشد و موقعیت زمانی و مکانی است. می‌توان با کاهش تبخیر و نفوذ عمقی غیرضروری، به‌خصوص کم‌کردن تلفات آن به داخل آب شور زیرزمینی، از هدررفت آب در حوضه‌های آبریز و دشت‌های تحت پوشش آبیاری جلوگیری کرد. راه‌کارهایی در کشاورزی مدرن، مانند تولید محصول باارزش‌تر، تولید بیش‌تر به ازای آب مصرفی، استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی، استفاده از فناوری‌هایی پیشرفته در آبیاری مزارع همه در این جهت می‌توانند موثر باشند، که نیازمند مدیریت آبیاری بهینه و انعطاف‌پذیری در تحویل آب است. از این‌رو، موثرترین روش جلوگیری از هدررفت آب و بهره‌وری حداکثری از آن، از طریق مدیریت عوامل تاثیرگذار و کمبودهای موجود در انتقال و تحویل آب خواهد بود که با استفاده از یک سامانه خودکار پیشرفته و منعطف آبیاری ممکن می‌شود.

در ایران نیز با توجه به محدودیت و کمبود منابع آب از یکسو و نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی برای تامین نیازهای جمعیت فزاینده کشور از سوی دیگر، مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی اجتناب‌ناپذیر شده‌است. در بخش کشاورزی، به دلیل کمبود بارندگی و کاهش ذخایر آبی زیرزمینی، نحوه استفاده از روش‌های مناسب آبیاری در بخش کشاورزی اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند. استخراج پیوسته و بیش از حد مجاز آب از سفره‌های آب زیرزمینی، موجب پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی شده‌است که این امر باعث‌شده تا پدیده نشست زمین، سرعت‌یافته و عملا ظرفیت آبخوان دشت‌ها به شدت در معرض تهدید قرار گیرد و درنهایت اراضی کشاورزی توسعه‌یافته، کاهش یابد. قدرمسلم آن‌است‌که بهره‌برداری و توزیع نامناسب آب در شبکه‌های آبیاری، باعث تلفات بالا و کاهش بهره‌وری آب در این بخش شده‌است. سازه‌ها و تجهیزات مورد استفاده در شبکه‌های آبیاری کشور، عمدتا به‌صورت دستی یا سازه‌های خودکار هیدرولیکی هستند که این روش‌ها دقت و عملکرد محدودی دارند. از این‌رو یک رویکرد مورد استقبال در سطح جهان، استفاده از سامانه‌های آبیاری خودکار و قابل برنامه‌ریزی است که تا حد زیادی از استفاده غیربهینه و هدررفت منابع آبی جلوگیری می‌کند.

در چهار دهه گذشته در برخی از کشورهای جهان، امکان بهره‌برداری از سامانه‌های خودکار در سطح شبکه‌های آبیاری، بررسی و خودکارسازی مرحله‌ای در سطوح مختلف نظیر پایش، اندازه‌گیری و کنترل نظارتی انجام شده است. در

سال‌های اخیر در ایران نیز فعالیت‌های تحقیقاتی اولیه در این زمینه انجام گرفته است. هر چند در زمینه خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، فعالیت‌های عملی محدودی در کشور انجام شده و اغلب فعالیت‌ها جنبه تحقیقاتی داشته‌اند. در سال ۹۶ برای نخستین بار در کشور، سامانه آزمایشی خودکار پایش و کنترل از راه دور در شبکه درجه ۱ کانال غربی رودخانه دز در شمال خوزستان با تلاش یکی از اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف و مجری طرح خودکارسازی شبکه آبیاری، طراحی و راه‌اندازی شده است.

ضرورت ایجاد تغییرات بنیادی در مدیریت توزیع و تحویل آب کشاورزی از یک طرف و گستردگی روش‌های خودکارسازی و تعدد شرایط و ساختار فیزیکی شبکه‌ها و تنوع روش‌های بهره‌برداری از آن‌ها از سوی دیگر، تدوین راهنمای خودکارسازی شبکه‌ها را با اهمیت کرده است.

- هدف

خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، به‌خصوص کانال‌های آبیاری، دارای پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش اختیارات کشاورزان از طریق انعطاف‌پذیری در مدیریت آبیاری و درنتیجه افزایش محصول و بهره‌وری در مزرعه و افزایش بازدهی طرح‌های توسعه منابع آب و خاک است. سامانه‌های خودکار آبیاری می‌توانند شامل حس‌گرها، بردهای الکترونیکی، واحدهای کنترل، منابع انرژی متصل به شبکه یا مستقل از شبکه مانند سامانه‌های خورشیدی و تجهیزات هیدرومکانیکی و هیدرولیکی باشند. اخیرا، پیشرفت‌های علمی-مهندسی و دست‌یابی به فناوری‌های نو در حوزه خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، راه را برای حصول نتایج مطلوب در حفاظت از آب مورد استفاده در کشاورزی فراهم کرده است. نیاز به راهنمای جامعی که نتایج کاربردی مستندات ملی و بین‌المللی را به صورت به‌روز و با هدف استفاده عملی معرفی‌کند، ضروری بوده که در این راهنما سعی شده تا این هدف محقق شود.

- دامنه کاربرد

این راهنما، چگونگی و شرایط اجرای خودکارسازی را در شبکه‌های آبیاری وزهکشی بررسی می‌کند (شامل خودکارسازی عملیات آبیاری داخل مزرعه نمی‌شود) و راهنمایی در ارتباط با مبانی و مفاهیم، محدودیت‌ها، تعیین زیرساخت‌ها، سامانه‌های اسکادا، خصوصیات هیدرولیکی شبکه، روش‌های خودکارسازی، تایید عملکرد سامانه و اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های خودکار را فراهم می‌کند.

کاربران این راهنما توجه دارند که خودکارسازی یک شبکه آبیاری تنها در قالب یک طرح مدرن‌سازی شبکه آبیاری می‌تواند موجب دست‌یابی به اهدافی نظیر انعطاف‌پذیری و بهبود تحویل آب، افزایش بازدهی و جلوگیری از هدررفت آب، مدیریت صحیح منابع از جمله منابع آبی، انسانی و مالی، بهبود بهره‌وری در شبکه آبیاری و ... شود. برای این منظور، در ابتدا باید تجهیزات و امکانات موجود مورد ارزیابی قرارگرفته و محاسبات اولیه مانند محاسبه و اندازه‌گیری آبدهی و روند بررسی‌های اقتصادی انجام‌شود و سپس خودکارسازی شبکه مورد مطالعه و بررسی قرارگیرد.

فصل ۱

کلیات و ضرورت‌ها

۱-۱- تعاریف پایه

به منظور هماهنگی بین مخاطبین راهنما و ایجاد درک مشترک از مفاهیم کاربردی خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری، تعاریف زیر ارائه شده است.

۱-۱-۱- خودکارسازی

خودکارسازی به شرایطی گفته می‌شود که فعالیت یک سامانه، بدون دخالت یا با حداقل دخالت فردی انجام‌پذیر باشد. به عبارتی مشاهدات، تصمیم‌گیری و اقدامات عوامل انسانی، با تجهیزات مکانیکی، الکترونیکی و رایانه‌ای مناسب جایگزین می‌شود.

اگر سامانه مورد نظر یک شبکه آبیاری باشد، خودکارسازی شیوه و روشی است که برای تنظیم سامانه آبیاری با استفاده از تجهیزات الکترونیکی، هیدرومکانیکی و تاسیسات هیدرولیکی که جایگزین تمام یا جزئی از عوامل انسانی می‌شود و شرایط کنترل خودکار شبکه آبیاری را فراهم کند، به کار می‌رود.

خودکارسازی، زیرمجموعه مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری است که بهبود فرآیند مدیریت توزیع آب و افزایش انعطاف‌پذیری و ارتقای سیستم‌های کنترل شبکه را فراهم می‌کند.

۱-۱-۲- مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری

مدرن‌سازی شبکه آبیاری، ترکیبی از ارتقای طرح‌های آبیاری از تمامی جنبه‌های فنی، مدیریتی و سازمانی (در مقابل تغییرات محض در فیزیک طرح)، با هدف بهبود استفاده از منابع (مانند آب، نیروی انسانی، محیط‌زیست، مالی) و نحوه تحویل آب به مزارع است (Wolter and Burt, 1997).

۱-۱-۳- انعطاف‌پذیری تحویل آب

امکان کنترل دفعات، مدت‌زمان و آبدهی، توسط آب‌بران به عنوان مفهوم انعطاف‌پذیری با این ایده که تنها از طریق افزایش انعطاف‌پذیری، آب‌بران می‌توانند بهره‌وری را افزایش‌دهند و برگشت اقتصادی ایجاد کنند ارائه شده‌است (John Merriam, 1987).

انعطاف‌پذیری شبکه‌ها با در نظر گرفتن عوامل مختلف تحویل آب شامل آبدهی، مدت زمان تحویل آب و تناوب جریان از نظر زمانی و مکانی تعریف می‌شود. برای مثال، مصرف‌کنندگان آب در بخش خانگی در زمان دلخواه آب موردنیاز خود را بدون اعلام قبلی از طریق شیرهای نصب شده دریافت می‌نمایند. در این بخش، مصرف‌کنندگان انعطاف‌پذیری نامحدودی در تناوب جریان (مثلا در زمان دلخواه) و مدت زمان تحویل آب (بدون محدودیت زمانی از لحاظ برداشت) دارند، ولی انعطاف‌پذیری در میزان آبدهی تحویلی با توجه به اندازه خدمات انشعاب محدود است. هر چند که نمی‌توان انعطاف‌پذیری تحویل آب در شبکه‌های آبیاری را تا حد مصارف خانگی بالا برد ولی می‌توان با استفاده

از قابلیت‌های خودکارسازی نسبت به اصلاح عوامل سه‌گانه به بهبود و افزایش نسبی انعطاف‌پذیری تحویل آب در شبکه‌ها کمک نمود. لازم به ذکر است ایجاد انعطاف‌پذیری بالاتر موجب تغییرات بیش‌تر عوامل تحویل آب (بده، مدت و تناوب جریان) از نظر زمانی و مکانی خواهد شد و به‌تبع آن سامانه‌های کنترل و سازه‌های پیچیده‌تر و پیشرفته‌تر مورد نیاز است.

۱-۱-۴- تعاریف اختصاصی تاسیسات آبیاری و زهکشی

تعاریف مرتبط با آبیاری و شبکه آبیاری در جلد اول ضابطه ۳۴۶ با عنوان «مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشکه‌زاری (آبیاری ثقلی)، جلد یکم کلیات، تعاریف و مفاهیم پایه» به تفصیل وجود دارد.

۱-۱-۵- تعاریف اختصاصی سامانه کنترل در شبکه آبیاری و زهکشی

در شکل (۱-۱) اجزای متداول قابل استفاده در خودکارسازی سامانه‌های آبیاری به‌شکل طرح‌وار نشان داده شده‌اند. این اجزا را می‌توان به تجهیزات میدانی مانند تجهیزات اندازه‌گیری آبدهی و تراز آب، عملگرها[1]، کنتورها، حس‌گرها (فشار، دما، سرعت) و سازه‌های تنظیم عرضی و سازه‌های آبگیر با قابلیت تنظیم آبدهی، سخت‌افزارهای کنترل مانند داده‌نگار، واحد پایانه راه‌دور[2] (RTU) و کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر[3] (PLC)، تجهیزات ارتباطی مانند مودم‌های رادیویی UHF/VHF، کابل‌های ارتباطی (فیبر نوری یا فلزی)، سامانه‌هایی بر پایه اینترنت، پیامک و مودم‌های شبکه تلفن همراه (مانند 5G/4G)، منابع تامین انرژی مانند شبکه سراسری برق و تجهیزات مستقل (ژنراتور و سامانه‌های انرژی خورشیدی) و مرکز کنترل شامل سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای کنترل راه‌دور، نمایش و ذخیره‌سازی و پایش داده‌ها، رابط انسان-ماشین[4] (HMI) و غیره تقسیم‌بندی کرد.

در یک شبکه آبیاری که معمولا محدوده جغرافیایی وسیعی را دربر می‌گیرد، سامانه کنترل، متشکل از نقاط متعدد و پراکنده کنترلی محلی (موضعی) است. هر نقطه کنترلی نیز دارای تجهیزات مجزای تنظیمی، اندازه‌گیری، کنترلی و ارتباطی می‌تواند باشد تا از طریق ارتباط با یک مرکز کنترلی یا دیگر نقاط کنترلی محلی، امکان پایش و کنترل در هر نقطه فراهم شود.

1- Actuators
2- Remote Terminal Unit
3- Programmable Logic Control
4- Human-Machine Interface

شکل ۱-۱- نمایی از اجزای سامانه کنترلی خودکار در یک شبکه آبیاری

۱-۱-۵-۱- سامانه کنترل و تحویل آب

یک مجموعه از تاسیسات، تجهیزات هیدرولیکی، رایانه‌ای، الگوریتم‌ها و دستورالعمل‌هایی که به منظور تنظیم آبدهی، تنظیم سطح آب، تقسیم جریان و تحویل حجم تعیین‌شده در زمان مطلوب به‌کار می‌رود، سامانه کنترل و تحویل آب نامیده می‌شود.

۱-۱-۵-۲- سازه‌های تنظیم سطح آب

سازه‌های تنظیم سطح آب (آب‌بند یا چک) تجهیزاتی هستند که سطح آب را در نقطه موردنظر در کانال‌های آبیاری تنظیم می‌کنند. این تجهیزات شامل سازه‌های تنظیم سطح آب بالادست و سازه‌های تنظیم سطح آب پایین‌دست هستند.

۱-۱-۵-۳- سازه‌های تنظیم‌کننده آبدهی

سازه‌هایی هستند که وظیفه تنظیم آبدهی جریان از یک کانال به کانال دیگر را به عهده دارند. سازه‌های تنظیم آبدهی می‌توانند در ورودی شبکه آبیاری در محل سد انحرافی، در ابتدای کانال‌های درجه دو و در ورودی کانال‌های درجه سه (سازه‌های آبگیر) واقع شوند.

در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار این سازه‌ها معمولا متشکل از شیرهای کنترل آبدهی و فشار هستند که با میزان گشودگی شیر امکان تنظیم نسبی آبدهی را فراهم می‌کنند.

۱-۱-۵-۴- سازه‌های اندازه‌گیری جریان

جریان در کانال‌ها توسط سازه‌ها و تجهیزات ساده یا پیشرفته نصب‌شده در مسیر جریان، اندازه‌گیری می‌شود. به طور معمول، از برخی سازه‌های کنترل سطح آب و تنظیم آبدهی جریان به طور هم‌زمان برای اندازه‌گیری جریان نیز می‌توان استفاده نمود.

۱-۱-۵-۵- بازه کانال

در شبکه‌های آبیاری روباز، حدفاصل بین دو سازه تنظیم متوالی را یک بازه[1] می‌گویند.

۱-۱-۵-۶- کنترل بالادست

کنترل بالادست[2] به معنی کنترل بازخوردی پارامتر کنترلی در بالادست است و برای یک بازه و کل شبکه تعریف می‌شود:

- در سطح بازه: استفاده از تجهیزات تنظیمی برای ثابت نگه‌داشتن تراز سطح آب در مقدار هدف در بالادست یک دریچه یا فشار بالادست شیر به‌طور خودکار یا دستی.
- در سطح کل شبکه: یک نوع از کنترل است که در آن، طبق برنامه‌ریزی‌های کنترلی جامع، آبدهی معینی براساس نیاز ناخالص یا درخواست شده از طریق اولین سازه از مجموعه سازه‌های تنظیم، وارد سامانه انتقال می‌شود و سایر سازه‌ها برای هدایت و کنترل جریان، معمولا به صورت متوالی از بالادست تا پایین‌دست تنظیم می‌شوند؛ به عبارتی هر سازه تنظیم، تنها سطح آب را بلافاصله در بالادست همان سازه جهت دریافت آبدهی تخصیص یافته به آبگیر واحد مربوطه تنظیم می‌کند.

۱-۱-۵-۷- کنترل پایین‌دست

کنترل پایین‌دست[3] به معنی کنترل بازخوردی پارامتر کنترلی در پایین‌دست است. در این روش، از شرایط پایین‌دست تجهیزات کنترل (تفاوت تراز سطح آب، آبدهی، یا فشار در پایین‌دست با مقدار هدف)، برای تنظیم سازه یا شیر کنترل استفاده می‌شود. عملیات بهره‌برداری توسط مصرف‌کننده در پایین‌دست شروع می‌شود و سایر سازه‌ها برای هدایت و کنترل جریان، در عکس‌العمل به آن تنظیم می‌شوند. تنظیم سازه‌ها ممکن است به صورت متوالی از پایین‌دست تا بالادست یا به صورت هم‌زمان انجام شود.

1- Canal Pool or Reach
2- Upstream Control
3- Downstream Control

۱-۱-۵-۸- کنترل ثابت

در این حالت، کنترل به صورت دستی یا خودکار نبوده، بلکه سطح آب به کمک سازه‌های مناسب مانند سرریزهای طویل[1] یا ترکیبی از سرریز و دریچه در تراز مورد نظر تنظیم می‌شود.

۱-۱-۵-۹- کنترل محلی یا موضعی

کنترل موضعی یا محلی[2] عبارت است از کنترل جریان در یک نقطه از کانال براساس شرایط هیدرولیکی همان نقطه از کانال، به‌عبارتی عملکرد هر دریچه یا پمپ خودکار به صورت مجزا و مستقل از پمپ‌ها و دریچه‌ها در موقعیت‌های دیگر انجام می‌شود. کنترل موضعی می‌تواند به صورت دستی، خودکار یا ترکیبی از آن‌ها باشد. کنترل موضعی دستی، قدیمی‌ترین روش کنترل بوده که به صورت معمول در شبکه‌های آبیاری استفاده می‌شود.

۱-۱-۵-۱۰- سامانه کنترل و پایش راه‌دور[3]

به یک سامانه کنترلی گفته می‌شود که می‌تواند داده‌های حس‌گرها را از نقاط مختلف دوردست شبکه به روش‌های مختلف بیسیم، کابل نوری و غیره دریافت کند و این داده‌ها را نمایش دهد و سیگنال‌های کنترلی لازم را به هر یک از نقاط کنترل در شبکه ارسال کند.

۱-۱-۵-۱۱- کنترل مرکزی

کنترل مرکزی[4] به این معنی است که حرکات هر یک از دریچه‌ها در شبکه، بر اساس سطح آب یا شرایط جریان در موقعیت‌های مختلف از یک نقطه هماهنگ می‌شود؛ که این امر معمولا نیاز به انجام محاسبات این تغییرات در یک مرکز کنترلی دارد و بدین‌جهت «کنترل مرکزی» نامیده می‌شود. کنترل مرکزی متشکل از ایستگاه اصلی، شبکه ارتباطی و واحدهای پایانه راه‌دور (RTU) است.

۱-۱-۵-۱۲- واحد پایانه راه‌دور (RTU)

واحد پایانه دوردست یا آرتی‌یو، یک واحد داده‌برداری و کنترل خوداتکا است که به طور معمول بر پایه ریزپردازنده ساخته می‌شود و به کنترل و نظارت تجهیزات راه‌دور می‌پردازد. هدف اصلی این واحد این است که داده‌ها را از تجهیزات

1- Long Crested Weir
2- Local Control
3- Remote Monitoring and Control System
4- Centralized Control

پردازش واحد دوردست دریافت کند و سپس آن‌ها را به ایستگاه مرکزی انتقال دهد. این واحد معمولا این امکان را دارد که برنامه‌های پیکربندی و کنترل خود را از راه ایستگاه مرکزی دریافت کند.

۱-۱-۵-۱۳- کنترل پراکنده

کنترل پراکنده[1] هنگامی است که کنترل محلی وجود دارد، اما فعالیت‌های انجام‌شده در این محل‌ها، توسط یک مرکز پایش می‌شود و درصورت نیاز، مقادیر موردنظر جریان یا تراز آب از این مرکز به هریک از موقعیت‌های کنترل محلی ارسال شود. این پیکربندی کنترل و پایش، رایج‌ترین نوع کنترل خودکار رایانه‌ای است.

۱-۱-۵-۱۴- اسکادا: سامانه کنترل نظارتی و گردآوری داده

اسکادا[2]، یک سامانه متمرکز است که از کنترل پراکنده و رابط انسان-ماشین استفاده می‌کند و داده‌ها را از نقاط دوردست شبکه دریافت و پردازش کرده و نمایش می‌دهد. این سامانه داده‌ها را برای استفاده در محاسبات آینده ذخیره می‌کند و می‌تواند علامت‌های (سیگنال) کنترلی یا اهداف جدیدی را به نقاط مختلف شبکه ارسال کند.

سامانه اسکادا برای گردآوری اطلاعات و نظارت بر کنترل پی‌ریزی‌شده است؛ به عبارتی خواست‌گاه اولیه و پدیدآورنده آن، پایش و نظارت در تصمیم‌گیری کنترل و اعلام و رسیدگی به هشدارها در زمان‌های مورد نیاز از راه یک سامانه واحد و جامع است. هسته بنیادی این سامانه بسته‌های نرم‌افزاری پیشرفته‌ای هستند که بر روی سخت‌افزارهای استاندارد و مشخصی همچون کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر یا واحد پایانه راه‌دور نهاده شده‌اند.

۱-۱-۵-۱۵- کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر (PLC)

کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر[3]، یک رایانه صنعتی است که به دلیل ویژگی‌های برنامه‌پذیری آسان و قابل اتکا بودن، در کنترل فرایندهای صنعتی استفاده می‌شود. این کنترل‌گرها می‌توانند با دیگر PLCها یا سامانه اسکادا مرتبط شوند.

۱-۱-۵-۱۶- نرم‌افزارهای پایش و کنترل

انواع مختلفی از برنامه‌ها در حوزه کنترل و اسکادا وجود دارد، مانند: نرم‌افزار HMI (مبتنی بر وب نسخه HTML5 یا افزونه‌ها)، نرم‌افزار ثبت تاریخ و گزارش‌گیری، نرم‌افزار هشدار، نرم‌افزار توسعه، نرم‌افزار مدیریت آبیاری و غیره.

1- Distributed Control
2- Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)
3- Programmable Logical Controller

برای مثال، نرم‌افزار اسکادا، بخش نرم‌افزاری از کل یک سامانه اسکادا است که بستری برای برنامه‌های کاربردی اسکادا مانند شبیه‌سازی فرایند (شبیه‌سازی جریان در شبکه آبیاری)، اعلان‌ها و اخطارها و تمامی نرم‌افزارهای ارتباطی است.

۱-۱-۵-۱۷- نرم‌افزار مدیریت آبیاری

نرم‌افزار مدیریت آبیاری مسوولان آبیاری را قادر می‌سازد تا سفارشات آب را مدیریت کنند، بر استفاده از آب نظارت کرده و با مشتریان ارتباط برقرارکنند؛ همچنین امکان تولید صورتحساب‌ها و تجزیه و تحلیل عملکرد را در اختیار مسوولین قراردهد. این نرم‌افزار باید دارای یک هسته پایگاه داده به همراه ابزارهای مختلف کنترل، تحلیل، دریافت تقاضا باشد که عبارتند از:

۱- رابط ارتباط با مشتری مانند وب و پاسخگویی صوتی برای برقراری ارتباط مستقیم بین کاربران آب با مقامات آبیاری

۲- ابزارهای مدیریت حقوقی آب و مدیریت منابع آبی مطابق با این حقوق که با مقررات دولتی هم‌خوانی داشته باشد.

۳- ابزارهای مدیریت دریافت تقاضا، برنامه‌ریزی و تحلیل آن‌ها بر اساس ظرفیت سامانه به منظور تحویل خودکار و مطابق برنامه آب

۴- ابزار مدیریت تعرفه و آب‌بها، همراه با ابزار صدور صورتحساب برای ساده‌سازی مدیریت درآمدها

۱-۱-۵-۱۸- رابط انسان- ماشین (HMI)

رابط انسان و ماشین، یک رابط کاربری است که امکان ارتباط انسان را با یک ماشین، سامانه یا دستگاه برقرار می‌کند. رابط‌های ماشین- انسان در انواع مختلفی از صفحه نمایش متصل به دستگاه، نمایش‌گرهای رایانه‌ای، تبلت‌ها و ... وجود دارند. اما بدون درنظر گرفتن شکل آن‌ها و اصطلاحاتی که برای اشاره به آن‌ها استفاده می‌شود، هدف آن‌ها فراهم ساختن امکان مشاهده عملکرد و کنترل دستگاه‌ها است. در کاربردهای صنعتی، HMIها می‌توانند در مواردی مانند نمایش بصری داده‌ها، پیگیری زمان، روند و برچسب‌ها در تولید، نظارت بر شاخص‌های مهم فرایندی[1]، پایش ورودی‌ها و خروجی‌های دستگاه و موارد بیش‌تر مورد استفاده قرار گیرند.

1- Key Process Indicators

۱-۱-۶- مدیریت توزیع آب

برنامه‌ریزی و اجرای روش‌های توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری برای دستیابی به اهداف موردنظر را مدیریت توزیع آب می‌نامند. سیاست‌ها و روش‌های توزیع آب در قالب فرآیندها و گردش کار تعریف شده برای عملیات بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌ها و تاسیسات آبی تحقق می‌یابد. از این رو مدیریت توزیع آب برای تامین اهداف موردنظر، براساس مشخصات تاسیسات و تجهیزات توزیع آب در شبکه (سخت‌افزار) و برنامه‌ها و دستورالعمل‌های فنی (نرم‌افزارها) اقدامات و عملیات لازم را انجام می‌دهد.

۱-۱-۶-۱- روش‌های توزیع و تحویل آب

روش‌های تحویل آب با توجه به سه جزء اصلی تحویل آب یعنی تناوب[۱] (دور)، آبدهی[۲] (مقدار) و مدت‌زمان برداشت[۳] (مدت‌زمان تحویل) طبقه‌بندی شده‌اند. در اغلب تعاریف رایج، روش تحویل مترادف با روش توزیع به‌کاررفته است. طبقه‌بندی روش‌های تحویل آب نیز، برای هر دو بخش شبکه انتقال و توزیع به‌کار می‌رود. بسته به این‌که تصمیم‌گیری برای تحویل آب در چه سطح مدیریتی انجام می‌گیرد، سه روش تحویل و توزیع آب به شرح زیر قابل تعریف است:

- تحویل برحسب تقاضا[۴] (برحسب تمایل[۵]) (با تصمیم‌گیری آب‌بران)
- تحویل گردشی[۶] (با تصمیم‌گیری مدیران و مسوولین شبکه آبیاری)
- تحویل توافقی[۷] (با تصمیم‌گیری مسوولین شبکه آبیاری و آب‌بران)

۱-۱-۶-۱-۱- تحویل برحسب تقاضا (برحسب تمایل)

در این حالت، سامانه توزیع و تحویل به آب‌بران اجازه می‌دهد تا برداشت آب را بدون اعلام قبلی از لحاظ آبدهی، مدت برداشت و دفعات آن انجام‌دهند. این روش کاملا انعطاف‌پذیر بوده و آب براساس تصمیم بهره‌بردار تحویل می‌شود. روش کنترل در این روش معمولا کنترل از پایین‌دست است.

1- Frequency
2- Rate
3- Duration
4- On Demand or Free Delivery
5- On-will
6- Rotation Delivery
7- Arranged Delivery

۱-۱-۶-۱-۲- تحویل گردشی

در این راهبرد بهره‌برداران براساس برنامه از پیش تعیین‌شده توسط مدیران و مسوولین شبکه، آب آبیاری را با آبدهی مشخص و دور آبیاری معین در طول مدت مشخصی دریافت می‌کنند. این روش به‌خاطر پیچیده نبودن روش مدیریت توزیع آب و عدم نیاز به تجهیزات و سازه‌های گران‌قیمت، در اکثر شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند که بهره‌برداری از شبکه آبیاری براساس این روش توزیع آب، ساده است، اما محدودیت‌هایی برای بهره‌برداران ایجاد می‌کند. به‌عنوان نمونه، در زمانی که تغییرات دمایی پیش‌بینی نشده اتفاق بیفتد، امکان کاهش دور آبیاری یا مقدار آبدهی وجود ندارد.

۱-۱-۶-۱-۳- تحویل توافقی

در این روش، آبی که شبکه از منبع آب تحویل می‌گیرد براساس سفارش از پیش اعلام‌شده مصرف‌کنندگان به سازمان بهره‌بردار است و براساس این درخواست بین آن‌ها توزیع می‌گردد. این روش تحویل آب، مشابه روش تحویل آب برحسب تقاضا (برحسب تمایل) است، با این تفاوت که در روش تحویل توافقی، یک تاخیر زمانی بین زمان درخواست مصرف‌کننده و زمان تحویل آب وجود دارد و مسوولیت اجرای عملیات بهره‌برداری به‌عهده مسوولین شبکه است. روش کنترل شبکه انتقال در تحویل توافقی، معمولا کنترل از بالادست است. بنابراین تشکیلات بهره‌برداری در صورت تامین آب کافی، می‌تواند آبدهی مورد نیاز کانال‌ها را براساس آب درخواستی مصرف‌کنندگان توزیع و تحویل آن‌ها دهد.

درصورت عدم وجود آب کافی در زمان درخواست، مدیر شبکه درخواست آب‌بران را طبق امکانات شبکه و امکانات بهره‌برداری از نظر آبدهی، زمان و مکان تحویل، تنظیم و با یکی از روش‌های زیر تعدیل می‌کند.

- تحویل بر اساس میزان برداشت محدود آب[1]: در این روش که قابلیت انعطاف نسبتا خوبی دارد، تنها محدودیت در میزان آب برداشتی برای مصرف‌کنندگان اعمال می‌شود ولی دور آبیاری و زمان آبیاری بر اساس نیاز مصرف‌کنندگان برنامه‌ریزی می‌شود.
- تحویل بر اساس برنامه مشخص بدون تغییر[2]: این روش که انعطاف‌پذیری کم‌تری دارد بدین نحو است که میزان آب برداشتی و مدت زمان آبیاری ثابت و غیرقابل تغییر است.
- تحویل بر اساس دوره ثابت آبیاری[3]: در این روش، دور آبیاری ثابت است و در طول دوره رشد گیاه تغییری نمی‌کند، ولی روی سایر موارد می‌توان توافق کرد.

1- Limited Rate Arranged Schedule
2- Restricted Arranged Schedule
3- Fixed Duration Arranged Schedule

- تحویل بر اساس میزان ثابت آبیاری[1]: دراین روش میزان آب برداشتی در طول فصل آبیاری ثابت است و سایر موارد قابل برنامه‌ریزی و توافق خواهد بود. در این روش تحویل آب، ارتباطات سازمان یافته‌ای بین عوامل بهره‌برداری از پایین‌ترین سطح آن یعنی ارتباط بین نماینده تشکل‌های آب‌بران، میرآب کانال‌ها، مسوولین توزیع آب تا بالاترین سطح آن یعنی اداره بهره‌برداری و تامین‌کنندگان آب شبکه از محل سد تنظیمی گسترده است. بنابراین پس از اعلام درخواست‌ها و ابلاغ آن به اداره بهره‌برداری یا مدیریت توزیع آب، مجموع آب درخواستی شبکه پس از ارزیابی در قالب آبدهی مورد نیاز، به مدیریت تنظیم و تامین آب شبکه یا سد مخزنی تنظیمی برای رهاسازی آب مورد نیاز ارسال می‌گردد. به همین ترتیب مسوولین بهره‌برداری از شبکه اصلی و همچنین مسوولین تنظیم دریچه‌ها در سایر سطوح پایین شبکه، متناسب با سفارش انجام شده، مجددا برای دوره جدید، دریچه‌های تحت مدیریت خود را تنظیم می‌کنند.

در جدول (۱-۱)، روش‌های توزیع و تحویل آب به همراه مزایا و معایب آن‌ها به صورت خلاصه آورده شده‌اند.

۱-۱-۷- پدافند غیرعامل[2]

به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌گردد که به جنگ‌افزار نیاز ندارد و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تاسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیرنظامی و تلفات انسانی جلوگیری نموده یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش داد.

پدافند غیرعامل به معنای کاهش آسیب‌پذیری در هنگام بحران، تنها با بهره‌گیری از فعالیت‌های غیرنظامی، فنی و مدیریتی است. پدافند غیرعامل در شبکه‌های توزیع به اصول پیشگیرانه‌ای اطلاق می‌شود که با انجام آن‌ها، ضریب اطمینان شبکه بالارفته و در مواقع بحران، خسارت وارده کاهش‌می‌یابد. همانند مقاوم‌سازی پایه‌ها، سامانه اعلام اخطار، سامانه اعلام هشدار[3] و پیش‌آگاهی، ساخت سازه‌های امن و غیره.

۱-۱-۸- سایر تعاریف

به منظور سهولت در ارائه مفاهیم، سایر تعاریف کاربردی همراه با مطالب تکمیلی، در فصل‌های مربوطه ارائه می‌شود که در اینجا از تکرار آن‌ها خودداری شده است. برای دسترسی به تعاریف مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری که در این راهنما ارائه نشده‌اند، به «ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ضابطه ۲۸۱ (بازنگری اول)»،

1- Fixed Rate Arranged Schedule
2- Passive Defense
3- Early Warning

«دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری، ضابطه ۶۹۲» و «راهنمای تحویل حجمی آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ضابطه ۳۸۴» رجوع شود.

جدول ۱-۱- خلاصه روش‌های توزیع و تحویل آب و مزایا و معایب آن‌ها

روش‌های تحویل آب	زیرروش‌های تحویل آب	کارآیی و مزایا	ضعف‌ها و محدودیت‌ها
برحسب تقاضا (برحسب تمایل)	- تحویل بر حسب تقاضای محدود - تحویل بر حسب تقاضای تنظیم‌شده	- انعطاف‌پذیری بالا - بازده آبیاری بالا - بهره‌برداری آسان - آزادی عمل در کشت محصولات الگوی زراعی - عدم نیاز به سیستم ارتباطی قوی بین آب‌بران و سازمان بهره‌برداری شبکه	- هزینه بالای ساخت شبکه - نیاز به مهارت بالای مصرف‌کنندگان به لحاظ استفاده صحیح از آب - نیاز به وجود آب کافی - نیاز به فن آوری بالا و شرایط اجتماعی استفاده از آن - نیاز به مخازن ذخیره آب درون شبکه
تحویل گردشی	- توزیع دائمی آب در شبکه - توزیع آب به صورت گردشی در شبکه	- هزینه پایین ساخت شبکه - عدم نیاز به دانش بالای آب‌بران - آزادی عمل سازمان بهره‌برداری شبکه در نحوه توزیع آب - عدم نیاز به کنترل و ارتباط زیاد بین آب‌بران و سازمان بهره‌برداری - امکان اجرای عملیات بهره‌برداری دستی	- انعطاف‌پذیری حداقل برای آب‌بران - عدم آزادی عمل برای آب‌بران در انتخاب گزینه‌های مختلف کشت - بازده پایین آبیاری
تحویل توافقی	- تحویل بر اساس میزان برداشت محدود آب - تحویل بر اساس برنامه مشخص بدون تغییر - تحویل بر اساس دور ثابت آبیاری - تحویل بر اساس میزان ثابت آبیاری	- انعطاف‌پذیری نسبی - بازده آبیاری متوسط - هزینه ساخت شبکه متوسط - آزادی نسبی آب‌بران در انتخاب نوع محصول - تحویل مناسب آب برای شبکه‌های با مساحت محدود	- نیاز به سیستم ارتباطی قوی بین آب‌بران و سازمان بهره‌بردار - محدودیت در انتخاب گزینه‌های دلخواه کشت محصولات - عدم کارآیی برای شبکه‌های با مساحت زیاد - پیچیده بودن عملیات بهره‌برداری

۱-۲- ضرورت‌های خودکارسازی

امکان برنامه‌ریزی استفاده بهینه از آب، اصلاح برنامه آبیاری (افزایش بهره‌وری)، بهبود مدیریت تقاضا و تحویل حجمی آب، توزیع عادلانه، امکان ارزیابی شبکه، ضرورت‌های بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری هستند. اهدافی که اهمیت بهره‌گیری از یک سامانه خودکار در کنترل شبکه آبیاری را بیان می‌کند به صورت فهرست‌وار در ادامه آورده شده‌است. این موارد برای تصمیم‌گیری در تعیین ضرورت استفاده یا عدم استفاده از سامانه خودکار در شبکه آبیاری لازم است:

- مستندسازی و ثبت آمار و اطلاعات برای پردازش‌ها و تحلیل درجهت ارزیابی شبکه
- پایش مستمر سامانه آبیاری
- اعمال مدیریت صحیح در امر بهره‌برداری از منابع آب موجود

- امکان افزایش بازدهی در مصرف و کاهش تلفات آب
- امکان افزایش سطح انعطاف‌پذیری توزیع آب در شبکه‌ها
  - افزایش سرعت و دقت در تحویل یا قطع آب
  - امکان توزیع حجمی آب به بهره‌برداران
  - توزیع متناسب آب بین بهره‌برداران
  - امکان اعمال مدیریت مناسب‌تر آبیاری در سطح مزرعه
- تامین اطمینان و امنیت بیش‌تر شبکه آبیاری
  - کاهش خطای انسانی
  - کنترل از راه دور سامانه‌ها و کاهش مصرف انرژی
  - افزایش عمر تجهیزات شبکه به دلیل بهره‌برداری منظم با مدیریت هوشمند
  - کاهش هزینه‌های تردد در سطح شبکه و به حداقل رساندن بازدیدها
- جلوگیری از مشاجرات و اختلافات بین بهره‌برداران
- سهولت در اعمال مدیریت در شبکه‌های بزرگ و کانال‌های طولانی
- سهولت در اعمال مدیریت بهره‌برداری مناسب در خشک‌سالی‌ها
- سهولت در اعمال مدیریت بهره‌برداری مناسب برای کم‌آبیاری
- سهولت در کاربرد روش آبیاری تلفیقی در زمان مورد نظر

فصل ۲

مفاهیم، محدودیت‌ها و فرایندهای کلی مدرن‌سازی و خودکارسازی

۲-۱- مقدمه

ضروری است مزایای بالقوه مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری، تبیین و ملاحظات لازم برای ارزیابی این مساله که آیا شبکه آبیاری یا در یک تعریف گسترده‌تر، سامانه تامین به مفهوم آبگیری، انتقال و توزیع آب برای مصارف مختلف پایاب یک منبع آبی مشخص، نیاز به خودکارسازی به‌عنوان یک راه مدرن‌سازی دارد یا خیر، بررسی شود. بدین‌جهت شناخت الزامات و فرایند انجام آن به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد، چراکه بدون توجه به این الزامات، امر خودکارسازی نخواهد توانست اهداف مورد نظر را تامین کند.

۲-۲- مدرن‌سازی

مدرن‌سازی ترکیبی از ارتقای فنی، مدیریتی و سازمانی (در مقابل بازسازی صرف) یک سامانه آبیاری با هدف بهبود استفاده از منابع (مانند: آب، نیروی کار، منابع اقتصادی و منابع محیطی) و خدمات تحویل آب به مزارع است. این نوسازی بر جزئیات عملکرد داخلی یک پروژه آبیاری تمرکز دارد. برنامه‌ریزان و مهندسان در پروژه‌های آبیاری، اغلب نوسازی را مساوی اقداماتی مانند پوشش کانال، لوله‌گذاری و خودکارسازی رایانه‌ای می‌دانند؛ درحالی‌که در صورت بررسی مراحل لازم برای بهبود کارایی، سرمایه‌گذاری در این موارد اولویت کم‌تری خواهد داشت. به‌طور کلی خودکارسازی رایانه‌ای در مراحل پایانی فرایند نوسازی و پس از کامل شدن عوامل پایه‌ای از جمله اندازه‌گیری‌های جریان و چگونگی مراحل و الزامات امور مشترکین قرار داشته و انجام می‌شود. نوسازی یک فرایند است که اهداف مشخصی را دنبال کرده و برای رسیدن به آن‌ها در یک دوره معین از ابزارها و روش‌های مشخصی استفاده می‌کند.

مدرن‌سازی (فنی، مدیریتی و سازمانی) با توجه به موقعیت مکانی و زمان تغییر کرده‌است. برای مثال، بانک جهانی، چندین بار نگرش خود را در طی چند دهه گذشته تغییر داده‌است. در دهه ۸۰ میلادی، آموزش‌ها تاکید بر ارتقای ترکیبی از تمامی جنبه‌های سامانه آبیاری داشت، اگرچه در آن زمان، قراردادهای پروژه‌های آبیاری، مباحث بسیار اندکی از مدرن‌سازی یا ملزومات مورد انتظار هیدرولیکی و خدمت‌رسانی آن را شامل می‌شد. در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ میلادی، اهمیت موضوع به سمت تحولات فنی- فیزیکی مانند کنترل بهتر سطح آب و آبدهی تغییرکرد. در اوایل دهه ۲۰ میلادی، تمرکز بر تشکیل سازمان‌های آب‌بران جابه‌جا شد که این بخش از مدرن‌سازی سازمان‌ها و نهادهای اجتماعی تا به امروز نیز ادامه دارد. اما موفقیت نهادهای موظف به کنترل و توزیع صحیح آب، در گام اول به شدت وابسته به قابل مدیریت بودن منابع آب قابل دسترس است. به این معنی که برای رسیدن به اهداف اجتماعی، نظیر عدالت و شفافیت، وجود یک طراحی با اصول مهندسی که کنترل هیدرولیکی مطلوبی را ممکن‌سازد، ضروری خواهد بود.

این راهنما بیش‌تر روی جنبه‌های فنی کنترل مستمر آب، در طول مراحل یا کل یک پروژه آبیاری تمرکز دارد که البته به معنی کم اهمیت بودن بهبود مسایل مدیریتی، سازمانی و زیرساختی نیست. درهرحال، در مناطقی که محدودیت شدید ذخایر آبی وجود دارد، بسیاری از مشکلات اجتماعی مرتبط را می‌توان با کنترل و فراهم‌کردن آب با یک سطح

بالای خدمات (انعطاف‌پذیری، اطمینان و عدالت) برای آب‌بران در پایین‌دست شبکه برطرف ساخت. درمقابل، درصورتی‌که ذخایر آبی را به آسانی و با بازدهی بالا نتوان مدیریت کرد، نمی‌توان به اهداف اقتصادی و اجتماعی مورد نظر یک پروژه نیز دست‌یافت.

از منظر کنترلی، متخصصین مدرن‌سازی، یک شبکه آبیاری را به شکل یک سری از سطوح یا لایه‌هایی می‌بینند که آب به صورت پلکانی از آن‌ها عبور می‌کند. هر سطح تعریف شده دارای یک وظیفه مشخص بوده و نیاز به مشوق‌هایی دارد که سطح مناسبی از خدمات را به سطح بعدی بدهد.

با این حال یک جواب مشخص برای این سوال که درچه زمان و چگونه باید خودکارسازی به عنوان بخشی از مدرن‌سازی شبکه انجام شود، وجود ندارد. دلیل نامشخص بودن جواب این سوال، به پیچیدگی و تنوع منابع، سیاست‌های تخصیص آب، کیفیت آب و همچنین زمان‌بندی توزیع، کفایت ذخایر آب، توپوگرافی، نوع خاک از نظر نفوذپذیری و پایداری خاک، کاربرد آب برگشتی، نوع سازه‌های موجود، مشکلات ناشی از لایه‌های زیستی (جلبک‌ها، علف‌های هرز درون کانال) و موارد زیاد دیگری باز می‌گردد. با این‌حال، برای دست‌یافتن به سطح مطلوبی از طراحی، ساخت و اجرای خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، باید از یک سری از اصول پایه‌ای پیروی کرد. اما بررسی امکان و چگونگی استفاده از سازه‌های کنترل آب موجود، به‌جای جایگزین‌کردن تمامی آن‌ها، در طرح‌مدرن‌سازی یکی از ملاحظات مهم به شمار می‌رود.

در این راهنما تمرکز بر روی ارتقای جنبه‌های فنی در بهره‌برداری از شبکه از طریق سامانه خودکار کنترل است. بدیهی است که خودکارسازی تنها یکی از جنبه‌های مدرن‌سازی است و جنبه‌های فیزیکی متعدد دیگری، مانند طراحی ابعاد مناسب کانال‌ها برای وجود انعطاف‌پذیری لازم، پوشش کانال‌ها، احداث جاده دسترسی برای نگهداری و تعمیر، به‌کارگیری شبکه تحت‌فشار و ابزارهای اندازه‌گیری در پروژه مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری باید درنظر گرفته‌شود. این درحالی است که در بیش‌تر مواقع و با مدیریت صحیح می‌توان کنترل سطح آب را توسط سازه‌های ساده‌ای مانند سرریزهای لبه طولانی، دریچه‌های یک‌طرفه یا دیگر دریچه‌های هیدرولیکی، بدون نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی و برق، در حد قابل قبولی انجام‌داد.

۲-۳- مزایای بالقوه مدرن‌سازی و خودکارسازی

گاهی تغییرات کوچک در روش‌های مهندسی، طراحی یا کارهای مدیریتی، می‌تواند تاثیرات مثبت و قابل توجهی داشته‌باشند. برای مثال، استفاده از تجهیزات دستی ثبت داده‌ها که می‌تواند اطلاعاتی مانند آبدهی و حجم را در آبگیرها بخواند، یا به طور دستی تغییرات سطح آب یا زمان شروع و پایان تحویل آب را ثبت و ذخیره کند. این اطلاعات می‌تواند

در دفترکار دریافت و به‌صورت خودکار وارد سامانه حسابداری مدیریتی و مالی شود یا به صورت مخابراتی به مرکز ارسال گردد. در مثال دیگر، با استفاده از سرریزهای ثابت[1] قبل از دریچه‌های کشویی کنترل آب، می‌توان به سادگی به کنترل مطلوب‌تر سطح آب دست یافت. این جنبه‌های مدرن‌سازی، هم از نظر سرمایه اولیه و هم از نظر بهره‌برداری و نگهداری نسبتا ارزان هستند. اما هزینه کل نوسازی می‌تواند بسیار زیاد باشد. بنابراین باید مزایای طرح‌های مدرن‌سازی و خودکارسازی از نظر سرمایه‌گذاری توجیه‌پذیر باشد.

در حال حاضر منابع آب بسیار محدودی برای توسعه اراضی کشاورزی جدید باقی‌مانده یا اصلا وجود ندارد. عملا راهکارهای قابل اجرا تا به حال (توسعه اراضی و گونه‌های جدید گیاهی) که به راحتی قابل اجرا بود، دیگر وجود ندارد و برای حل مشکلات در آینده نیاز به راه‌کارهای جدید و پیچیده‌تری است.

شرایط بحرانی موجود به طور جدی نشان می‌دهد که تنها از راه ارتقا کنترل و مدیریت آب، امکان رسیدن به اهداف مورد نظر در تولید محصول و صرفه‌جویی در آب به وجود می‌آید. مزایای مدرن‌سازی و خودکارسازی زیاد هستند، اما با این فرض که شرایط طرح و راهبردهای موثر برای ارتقا آن مطالعه شده باشد. مزایای کلی که تا به امروز مشخص‌شده به شرح زیر است:

۱- تحویل برحسب تقاضا[2] (تقاضا محور) در مقابل تحویل برنامه‌ریزی‌شده مشخص[3]؛ با هدف توسعه کشاورزی، در عین تحویل بهینه آب، روش‌ها و کنترل کارآمدتر در بهره‌برداری از شبکه آبیاری مورد نیاز است.

۲- بهبود تحویل آب برای تولید حداکثری محصول کشاورزی؛ برای تولید حداکثری محصول و بالابردن بازدهی استفاده از آب، باید خدمات مرتبط با آب کشاورزی به طور هم‌زمان با ملاحظات مربوط به انعطاف‌پذیری، اطمینان و رعایت عدالت به آب‌بران صورت پذیرد.

۳- به‌کارگیری سامانه‌های نوین آبیاری در مزارع؛ سامانه‌های آبیاری قطره‌ای یا بارانی، نیاز به روش تحویل آب منعطف و قابل اطمینان دارند.

۴- حفاظت از جریان و کیفیت آب رودخانه؛ در صورت کنترل مصرف آب در شبکه‌ها، هم کیفیت خدمات آب‌رسانی حفظ می‌شود و هم از تاثیرات منفی روی جریان و کیفیت آب رودخانه می‌توان جلوگیری کرد. کنترل بهینه آب درون نواحی آبیاری از طریق استفاده مجدد و بازیابی زهکش برای آبیاری مجدد باعث می‌شود که آب با کیفیت پایین‌تر به رودخانه تخلیه نشود.

1- Side Board (overflow weir)
2- Demand-Oriented
3- Supply-Oriented

۵- کاهش هرزرفت آب در کانال‌ها و در سرریز انتهای کانال؛ در خودکارسازی کنترل سطح آب و آبدهی، استفاده از فناوری‌ها و دریافت داده‌ها به صورت آنی، مورد تاکید است. ازاین‌رو تلفات آب در کانال (غیر از نشت)، به شکل قابل توجهی کم می‌شود.

۶- افزایش بازده و اطمینان در تحویل آب؛ نوسازی و خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، عملکرد سلیقه‌ای آب‌رسانی را حذف کرده و آن را به تحویل منطقی و خدمات اصولی و مطلوب، تغییر می‌دهد.

۷- حذف و یا تعدیل فرمانروایی میراب‌ها؛ یک سامانه قابل کنترل از طریق فناوری‌های نو، زمینه مشکلات اعمال سلیقه میراب‌ها را کاهش می‌دهد و امکان بهتری برای ارزیابی سامانه فراهم می‌کند. همچنین سامانه‌های خودکار، دارای یک روند منطقی بوده و آموزش نیروی متخصص برای اداره آن‌ها آسان و مشخص است.

۸- افزایش هماهنگی‌های اجتماعی؛ اگر کشاورزان از حقوق خود مطلع باشند و از توزیع عادلانه آب اطمینان پیدا کنند، راحت‌تر قانع شده و راضی نیز خواهند بود. این امر موجب می‌شود تا شکایت‌ها و خصومت‌ها بین کشاورزان و مدیران منطقه و حتی بین مناطق همسایه نیز کاهش یابد.

۹- کاهش هزینه‌های کارگری، قضایی و انرژی؛ در شبکه‌های موجود، برای رسیدن به انطعاف‌پذیری و اطمینانی مشابه شبکه خودکار، باید نیروی کار بیش‌تری مثلا برای نوبت شب، استخدام کرد. درحالی‌که با ارتقا زیرساخت‌ها و مدیریت اطلاعات، حتی با تعداد نیروی انسانی مشابه ولی با مهارت‌های متفاوت، می‌توان به خدمات بهتر درکنار مدیریت صحیح آب دست‌پیدا کرد.

۱۰- افزایش ظرفیت آبدهی؛ با فراهم‌شدن کنترل ایمن سطح آب تا سطح حداکثر، امکان افزایش آبدهی بیش‌تر در کانال‌ها ایجاد می‌شود که ظرفیت عملکردی کانال را افزایش می‌دهد.

۱۱- هماهنگی با مقررات زیست‌محیطی و قوانین حقوقی آب؛ با مدرن‌سازی و به کاربردن کنترل خودکار، امکان اجرای موثر مقررات و قوانین محیط‌زیستی و حقوقی آب فراهم می‌شود. اگرچه بزرگ‌ترین چالش مهندسین در طراحی برنامه خودکارسازی آن است که کسب رضایت عوامل بیرونی (قوانین و مقررات) و خدمات تحویل آب به کشاورزان را هم‌زمان و با یک هزینه معقول و توجیه‌پذیر لحاظ کنند.

۲-۴- ارزیابی شبکه‌های آبیاری موجود پیش از مدرن‌سازی

جهت ارزیابی و پایش سامانه‌های توزیع آب آبیاری برای بانک جهانی، یک راهکار مشخص تدوین شد (Burt and Styles, 1999) که بعدا به تصویب سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد (فائو) نیز رسید. این راهکار برای ارزیابی

فرایندهای داخلی و بیرونی مرتبط با سامانه‌های آبیاری است که «روش فرآیند ارزیابی سریع» (RAP[1]) نام‌گرفت و داده‌ها و فایل صفحه گسترده (اِکسل) مفصلی نیز برای نظام‌مندکردن این روش در دسترس قرار دارد. این روش توسط فائو در روش ماسکات[2] (Renualt et al. 2007)، که برای دربرگرفتن مفاهیمی مانند حساسیت روابط هیدرولیکی سازه‌ها و نقشه تحلیلی ظرفیت جریان[3] بسط داده شده است، یک بررسی متمرکز و سریع بر روی یک طرح آبیاری می‌تواند یک شرح کاربردی با دقت قابل قبولی را از فرایندها و سخت‌افزارهای تاثیرگذار بر شرایط آن طرح حاصل‌کند. این نتایج، به‌خصوص در صورت استفاده از روش فرآیند ارزیابی سریع، امکان مشخص‌کردن فعالیت‌های اصلی را برای ارتقای خدمات تحویل آب با همکاری مسوولین فراهم می‌کند. داده‌های مرجع معمول برای شاخص‌های بیرونی، مانند بازده آبیاری و بیلان آبی، یا موجود هستند یا به کل وجود ندارند. تفاوت‌های زیادی در دستیابی به اطلاعات پایه‌ای، داده‌های هواشناسی، ذخایر آبی و غیره از یک طرح آبیاری به طرح دیگر وجود دارد. جمع‌آوری این اطلاعات ممکن است برای یک طرح در یک روز انجام شود و در طرح دیگری هفته‌ها یا ماه‌ها به طول انجامد.

همواره دامنه «دقت قابل قبول» در جمع‌آوری و پردازش داده‌ها مورد سوال و بحث بوده است. برای بیش‌تر داده‌های استخراج‌شده بیلان آب، باید یک بازه اطمینان[4] تعیین‌شود؛ چرا که همیشه در واقعیت، روش‌های محاسبه و کسب داده، دارای عدم‌قطعیت و خطا هستند. عموما در مسایل آبیاری، دقت ۵ تا ۱۰درصدی یک محدوده پذیرفته‌شده است و دقت‌های بالاتر در عمل قابل حصول نیست (Clemmens and Burt, 1997).

۲-۴-۱- شاخص‌های بیرونی

شاخص‌های بیرونی برای طرح‌های آبیاری نسبت‌ها یا درصدهایی هستند که معمولا به شکل زیر معرفی می‌شوند:

$$\frac{\text{مقدار محصول مزرعه}}{\text{مقدار آب تحویل‌شده به مزرعه}} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{آب مورد نیاز}}{\text{کل آب قابل دسترس}}$$

خصوصیت مشترک بین شاخص‌های خارجی، برآورد ورودی‌ها و خروجی‌های طرح است. این شاخص‌ها بیان‌گر اشکال مختلفی از بهره‌وری در طرح، مانند مقدار بازدهی بودجه، آب یا محصول هستند. به‌علاوه، برای تعیین آن‌ها، فقط نیاز به دانستن داده‌های ورودی و خروجی پروژه است. شاخص‌های خارجی، به تنهایی شناختی از مواردی که باید برای بهبود عملکرد یا کارایی انجام شود، ارائه نمی‌دهد. تعیین اقداماتی که باید برای بهبود شاخص‌های خارجی انجام شود، با تجزیه

1 -Rapid Appraisal Process (RAP)
2- MASSCOTE
3- Flow Capacity Analysis Mapping
4- Confidence Intervals

و تحلیل شاخص‌های داخلی، ممکن می‌شود؛ که این شاخص‌های داخلی، فرایندها و سخت‌افزار مورد استفاده در پروژه را بررسی می‌کنند.

با این‌حال، شاخص‌های خارجی تعیین‌کننده موارد کلیدی، مانند امکان یا عدم امکان حفاظت از آب (بدون مشخص‌کردن چگونگی انجام آن) هستند. همین‌طور، مقادیر کم شاخص‌های خارجی نیز معمولا، توجیهی برای مدرن‌سازی شبکه‌ها ارائه می‌دهند؛ چراکه این انتظار وجود دارد که مدرن‌سازی یا تحولات این چنینی موجب افزایش این شاخص‌های خارجی خواهد شد. شاخص‌های خارجی روی عوامل موثر بر بیلان آب در مقیاس بزرگ تمرکز دارند و مقادیری مانند تبخیر و تعرق محصول[1]، بارش موثر و منابع آب، باید تخمین‌زده شود. برای درک و ارزیابی مسایل مدیریت آب در هر مقیاسی، درک «بیلان آب» حیاتی است.

۲-۴-۲- دامنه رواداری

مقداری خطا یا عدم‌قطعیت در همه روش‌های اندازه‌گیری یا تخمینی وجود دارد. بنابراین، دانستن مقادیر حقیقی حجم آب مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌هایی مانند «بازده آبیاری» غیرممکن است. در نتیجه باید بر اساس نوع اندازه‌گیری یا محاسبات، برآوردی از حجم کمیت مورد اندازه‌گیری، حاصل‌شود. در گزارش‌هایی که تخمینی از مقدار محصول تولیدی و توازن آب را با نسبت‌هایی مانند «بهره‌وری آبیاری» و «آب تحویلی نسبی[2]» فراهم می‌کنند، باید مقدار عدم‌قطعیت به‌صورت کمی ذکر شود. در غیراین‌صورت، برای برنامه‌ریزان مشخص نیست که مقدار واقعی بازدهی ۷۰ درصد گزارش‌شده، بین ۶۵ تا ۷۵ درصد است یا بین ۵۰ تا ۹۰ درصد.

یکی از شکل‌های ارائه عدم‌قطعیت در یک تک برآورد، معرفی بازه اطمینان[3] (CI) برای آن برآورد است. اگر در ارزیابی داده‌ها، این نتیجه حاصل شود که کمیت مورد نظر، در بازه ۵ واحدی از عدد تخمینی ۷۰ قراردارد، مقدار آن کمیت برابر با ۵±۷۰ است؛ به طور مشخص هنگام ذکر یک رقم تخمینی، باید ماهیت بازه اطمینان مشابه مثال مقابل بیان‌شود: محققین با اطمینان ۹۵ درصدی مساحت آبیاری‌شده را در بازه ۷٪± از ۵۰۰ هزار هکتار (بین ۴۶۵ هزار هکتار و ۵۳۵ هزار هکتار) تخیمن‌زده‌اند.

1- Crop Evapotranspiration
2- Relative Water Supply
3- Confidence Interval

۲-۴-۳- فرایندها و شاخص‌های داخلی

اهداف کلیدی مدرن‌سازی/خودکارسازی عباتند از: بهبود فرآیند مدیریت توزیع آب، افزایش انعطاف‌پذیری و ارتقای سامانه‌های کنترل شبکه، آسیب کم‌تر در اثر نوسانات خارج از کنترل آب به شبکه، هماهنگی اجتماعی بهتر و بهبود محیط‌زیست از طریق برداشت کم‌تر آب و جریان برگشتی باکیفیت‌تر. به طورکلی، این اهداف تنها با توجه به جزئیات «داخلی» به‌دست می‌آید.

شاخصی که در روش ارزیابی سریع اولیه (RAP) استفاده شده‌است، شاخص اصلی I-1، برای توصیف خدمات واقعی تحویل آب به واحدهای مالکیت فردی است. شاخص اصلی I-1 دارای چهار زیرشاخص است:

- I-1A: اندازه‌گیری حجم آب تحویلی به مزرعه[۱]
- I-1B: انعطاف‌پذیری تحویل آب به مزرعه[۲]
- I-1C: اطمینان در تحویل آب به مزرعه[۳]
- I-1D: عدالت مشهود در مقدار تحویل آب[۴]

برای مثال می‌توان مقدار شاخص اصلی I-1 را با کمک جدول (۲-۱) و به طریق زیر محاسبه کرد: (برای اطلاعات تکمیلی به «راهنمای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری و زهکشی سطحی- ضابطه ۷۵۳ سازمان برنامه و بودجه کشور» و مقاله RAP[۵] مراجعه شود)

- اختصاص یک فاکتور وزن نسبی به هر زیرشاخص؛ فاکتورهای وزنی، تنها در گروه شاخص مربوطه با یکدیگر نسبت‌دارند؛ حداکثر مقدار یک گروه ممکن است ۴ باشد، درحالی‌که حداکثر مقدار برای گروه دیگر، ممکن است ۲ باشد؛ تنها عامل مهم، فاکتورهای وزن نسبی زیرشاخص‌ها در یک گروه است.
- تجمیع مقادیر زیرشاخص‌ها بعد از اعمال فاکتور وزنی به آن‌ها
- مطابقت مقدار نهایی طبق یک مقیاس از ۰ تا ۴ (۴ نشان دهنده بهترین شرایط).

هر زیرشاخص (مانند I-1A) به‌صورت بالقوه دارای حداکثر مقدار ۴/۰ (بهترین) و حداقل مقدار ممکن ۰/۰ (بدترین) است. همچنین امتیاز هر زیرشاخص، با توجه به اهمیت از پیش تعریف‌شده (وزن) مجددا وزن‌گذاری می‌شود. مجموع

1- Measurement of volumes to the field
2- Flexibility to the field
3- Reliability to the field
4- Apparent equity
5- C. Burt, “Rapid Appraisal Process (RAP) and Benchmarking Explanation and Tools”, FAO/Thailand and WB Irrig. Institutions Window, Rev.2 Oct 2002.

مقادیر زیرشاخص‌ها بعد از اعمال وزن، با مقدار شاخص اولیه برابر است. جدول (۲-۱) فهرستی از شاخص‌های اولیه ارائه شده توسط بارت و استایلز (۱۹۹۹) را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- اطلاعات شاخص اصلی I: خدمات واقعی تحویل آب به واحدهای تحت مدیریت خصوصی

علامت	زیرشاخص	معیارهای امتیازدهی	وزن
I-1A	اندازه‌گیری حجم آب تحویلی به واحدها (۴-۰)	۴- تجهیزات اندازه‌گیری و کنترلی عالی که عملکرد و ثبت داده صحیحی دارند ۳- تجهیزات اندازه‌گیری و کنترلی مناسب با عملکرد متوسط ۲- اندازه‌گیری آبدهی و حجم ضعیف اما کاربردی ۱- اندازه‌گیری مناسب آبدهی اما حجمی ضعیف ۰- بدون اندازه‌گیری (آبدهی یا حجم)	۱
I-1B	انعطاف‌پذیری تحویل آب به واحدها (۴-۰)	۴- تناوب، آبدهی و مدت‌زمان بدون محدودیت اما معین‌شده توسط آب‌بران برای چند روز ۳- تناوب، آبدهی و مدت‌زمان ثابت اما معین‌شده ۲- تحویل چرخشی اما با توجه به نیازهای محصول ۱- تحویل چرخشی اما بدون برنامه‌ریزی مشخص ۰- بدون قاعده	۲
I-1C	اطمینان در تحویل آب به واحدها (۴-۰)	۴- تناوب، آبدهی و مدت‌زمان آب‌رسانی همواره طبق برنامه معین‌شده صورت می‌گیرد؛ حجم مشخص ۳- آبدهی و مدت‌زمان آب‌رسانی مطمئن اما گاهی با چند روز تاخیر؛ حجم مشخص ۲- آب به‌مقدار مناسب و در حدود زمانی مورد نیاز تحویل می‌شود؛ حجم مشخص‌نیست ۱- حجم مشخص‌نیست؛ تحویل تاحدی نامطمئن اما کم‌تر از ۵۰ درصد مواقع ۰- تناوب، آبدهی و مدت‌زمان آب‌رسانی بیش‌تر از ۵۰ درصد مواقع نامطمئن؛ حجم مشخص‌نیست	۴
I-1D	عدالت مشهود تحویل آب در قبال واحدها (۴-۰)	۴- بهره‌مندی تمام مزارع در سراسر طرح و درون واحدهای آبیاری، از خدمات تحویل آب یکسان ۳- دریافت متناسب آب در محدوده‌های طرح، اما خدمات نابرابر درون یک محدوده ۲- دریافت آب در محدوده‌های طرح تا حدودی متفاوت (ناخواسته)، اما خدمات برابر درون هر محدوده ۱- نابرابری متوسط بین و درون محدوده‌ها ۰- تفاوت بیش‌تر از ۵۰ درصد در سراسر طرح با گستردگی نسبتا زیاد	۴

۲-۵- مراحل متداول در مدرن‌سازی با نگرش خودکارسازی سامانه

مراحل زیر، به عنوان یک رهنمون کلی، برای فرایند مدرن‌سازی پیشنهاد می‌شوند:

۱- **تعریف سطح فعلی خدمات برای ذی‌نفعان؛** به منظور بهبود کنترل در بهره‌برداری، مدیریت پروژه باید تمایل به شناخت کامل‌تری از شبکه داشته باشد. برای این منظور اختلاف بین مطلوبیت شرایط «واقعی» خدمات تحویل آب و میزان «اظهارشده» آن، توسط مدیران باید مشخص‌شود و باید حتی‌المقدور کاهش یابد. درصورتی که مدیریت طرح این واقعیت را نپذیرد، شبکه بهبود نخواهد یافت.

۲- **شناخت و پذیرش نگرش خدمت‌رسانی توسط تمام کارکنان پروژه؛** این نگرش باید در تمامی سطوح کارکنان ایجاد شود. اگرچه پذیرش این نگرش به یک‌باره حاصل نمی‌شود، اما مفاهیم مدرن‌سازی ریشه در این نگرش دارند و بدون آن، تلاش برای مدرن‌سازی طرح‌ها، بازدهی کمی خواهد داشت.

۳- **آموزش کارکنان با هدف بهره‌برداری خدمت محور؛** دستورالعمل‌هایی که به اپراتورها داده می‌شود، باید به دقت بررسی شود و اگر با اهداف بهره‌برداری هماهنگ نیستند، اصلاح شوند.

اگرچه این سه مورد اول، ساده به‌نظر می‌آیند، اما تحقق آن‌ها سخت‌تر از موارد دیگر است و اگر این سه مورد محقق نشوند، مقدار پیشرفت کمی صورت خواهد پذیرفت. تحقق این سه مورد، نیازمند آموزش، برگزاری تورهای آموزشی، توضیحات عمیق، زمان کافی و منظور نمودن امکانات و محدودیت‌ها توسط مدیریت ارشد است.

مراحل بعدی تاحدودی به ترتیب ارائه شده برای ارتقای کنترل شبکه هستند:

۴- **شناخت شرایطی که منجر به ارائه خدمات تحویل آب ضعیف در طرح می‌شود؛** افراد کارشناس می‌توانند به سرعت پروژه را ارزیابی کرده و با پیشینه خود، سریعا دلایل علت و معلولی و سطح مشکلات خدمات تحویل آب را متوجه شوند، درحالی‌که به ندرت اپراتورها می‌توانند به این شکل مسایل را تشخیص‌دهند.

۵- **انتخاب یک راهبرد بهره‌برداری مناسب برای شبکه؛** این مورد در بخش بعدی (۲-۶) مفصل بررسی خواهد شد.

۶- **بهبود ارتباطات در تمامی سطوح؛** پایین‌ترین سطح این ارتباطات، بین انسان با انسان و معمولا با استفاده از سامانه رادیویی و تلفن همراه است. در شرایط خودکار این ارتباطات شکل بسیار مطلوبی پیدا می‌کند.

۷- **بهبود قابلیت جابه‌جایی کارکنان؛** به طورکلی، یک مجموعه کوچک با توان جابه‌جایی زیاد، کارآمدتر از یک مجموعه بزرگ و نسبتا ساکن است. به‌کارگیری یک سامانه اسکادا در ارتقای قابلیت جابه‌جایی کارکنان بسیار موثر است، چراکه به اپراتورها اجازه می‌دهد تا بدون رفت و آمد به نقاط مختلف و از راه‌دور تغییرات را مشاهده‌کرده و وضعیت دریچه‌ها را درصورت نیاز تغییر دهند.

۸- **فراهم‌کردن امکان کنترل آبدهی دقیق و اندازه‌گیری در ورودی‌ها و انشعاب‌ها؛** باید توجه‌شود که «اندازه‌گیری» و «کنترل» دو مفهوم متفاوتند و هردوی آن‌ها در مدرن‌سازی الزامی به شمار می‌روند. انواع زیادی از ترکیب سازه‌ها و روش‌ها وجود دارد که امکان کنترل/ اندازه‌گیری دقیق و سریع آبدهی را فراهم می‌کند. اندازه‌گیری و کنترل آبدهی در ورودی کانال‌ها و خطوط انتقال تحت‌فشار و همچنین در نقاط تحویل ضروری است؛ که نبود یا اشکال در اندازه‌گیری، یکی از نقاط ضعف در اکثر طرح‌های آبیاری محسوب می‌شود.

۹- **احداث محل‌های بازچرخانی / مخازن تنظیمی در کانال‌های انتقال؛** با توجه به زمان‌های طولانی انتقال موج[1] در کانال، مسایل مرتبط با اندازه‌گیری و کنترل آبدهی و ضرورت انعطاف‌پذیری در تحویل آب، استفاده از

1- Long Wave Travel Times

مخازن تنظیمی در کانال‌های اصلی با قابلیت ذخیره و تنظیم مجدد آب، بسیار کاربردی و معمول است؛ اگرچه این روش همیشه یک گزینه قابل اجرا نیست.

۱۰- **بهبود کنترل تراز سطح آب در سرتاسر شبکه؛** اگر در ورودی (تاسیسات آبگیری)، آبدهی کنترل شود هدف در سازه‌های آب‌بند پایین‌دست، حفظ تراز نسبی آب در یک مقدار مشخص خواهد بود تا مقدار آبدهی در آبگیرهای ثقلی با زمان تغییر نکند و به این ترتیب، دیواره‌های کانال‌ها دچار آسیب نشوند. با سازه‌های مناسب در سامانه، این کار به آسانی ممکن است.

۱۱- **سازماندهی مجدد روند سفارش و توزیع آب؛** در اکثر پروژه‌های مدرن، یک گروه مسوول بهره‌برداری از کانال اصلی، گروه دیگر مسوول بهره‌برداری از کانال درجه دوم است. برای رسیدن به یک نگرش درست از خدمت‌رسانی، در بیش‌تر موارد، سازماندهی مجدد اپراتورها لازم است. برای حفظ این نگرش، باید در بیش‌تر پروژه‌ها در فرایند دریافت تقاضای آب از کشاورزان و پاسخ به این درخواست‌ها تجدیدنظر شود. ضروری است، از نرم‌افزارهای مناسب برای کمک به ساماندهی روزانه سفارشات آب توسط کشاورزان استفاده شود که از طریق وب یا از طریق تماس تلفنی با یک دفتر مرکزی انجام می‌شود.

۱۲- **فراهم‌کردن امکان کنترل از راه‌دور میزان آبدهی در موقعیت‌های مهم؛** این موقعیت‌ها عبارتند از ورودی (تاسیسات آبگیری) کانال یا لوله اصلی، ورودی‌های آبگیرهای واحد زراعی از شبکه اصلی. امکان کنترل از راه‌دور توسط یک فرد (دستی)، نیاز به یک سامانه اسکادا، در کنار کنترلگرهای منطقی برنامه‌پذیر (PLC) و واحدهای پایانه راه‌دور (RTU) در محل‌های مورد نظر، دارد (اطلاعات تکمیلی در فصل‌های آتی ارائه شده است).

۱۳- **ایجاد امکانات جلوگیری از هرزرفت آب و ثبت مقدار آن؛** این امکانات در مخازن تنظیمی و انتهای شبکه آبیاری (خصوصا کانال‌ها) باید دیده‌شوند.

در مورد پوشش و نگهداری و تعمیر تجهیزات کانال‌ها، شکی نیست که نگهداری و تعمیر مناسبی باید انجام گیرد. همچنین، پوشش کانال می‌تواند نشت آب و مقدار نگهداری و تعمیر را کاهش دهد و موجب پایداری مقطع کانال شود. البته پوشش و نگهداری کانال‌ها برای چندین دهه مورد بحث بوده است، اما هزینه فراوانی که برای پوشش کانال‌ها صرف‌شده، به طور کلی افزایش قابل توجهی در خدمات تحویل آب به آب‌بران، که به‌شدت برای رفع کمبود مواد غذایی مورد نیاز است، نداشته است. در عمل، پوشش بتنی کانال‌ها (اغلب به دلیل طراحی و اجرای نادرست) به‌تدریج از بین‌رفته و به پوشش‌دهی مجدد نیاز دارد که یک چرخه معیوب نوسازی و تخریب را می‌سازد. موارد ۴ تا ۱۳ فوق‌الذکر، بیان‌گر فاصله‌گرفتن از تفکر سنتی عمرانی با تکیه بر کارهای بتنی و تمرکز بر روش‌های بهره‌برداری است.

این ۱۳ مورد ذکر شده با این فرض ارائه می‌شود که پروژه بدون خودکارسازی بوده و از کنترل بالادست متداول استفاده می‌کند. اغلب بهتر است که تمام یا برخی از ۱۳ مورد ارائه شده، قبل از انجام خودکارسازی سراسری شبکه، اجرا شود. ارتقا تدریجی کنترل بالادست، کارکنان پروژه را در یک فرایند نسبتا بدون ریسک با فناوری‌های مرتبط با کنترل مدرن، مانند ارتباط رادیویی، حس‌گر سطح آب، RTU/PLCها، سیستم‌های اسکادا و دیگر موارد، آشنا می‌کند.

فصل‌های این راهنما بر کنترل پیچیده‌تر خودکار متمرکز می‌شود تا امکان رسیدن به سطوح بالاتر بهره‌برداری و خدمات در پروژه‌های آبیاری را نسبت به شبکه‌های کاملا دستی فراهم‌کنند. با این‌حال، شکی نیست که روش‌های کنترل خودکار (مبتنی بر RTU/PLC)، نیازمند بودجه‌های قابل توجه سالانه و مهارت‌های فنی لازم برای بهره‌برداری و نگهداری این نوع تجهیزات الکترونیکی است. بنابراین برای ایجاد مهارت‌های لازم، کنترل بالادست مدرن اما دستی با برخی از فناوری‌های پیشرفته و با استفاده از مراحل سیزده‌گانه ارائه شده در بالا، اجازه می‌دهد که در شبکه با یک رویکرد افزایشی، گام‌به‌گام و یک‌پارچه، «اصول و مبانی» پیش از بهره‌برداری تمام خودکار نهادینه گردد و امکان موفقیت طرح با حداقل اشتباه و خطا انجام پذیرد.

۲-۶- انتخاب راهبرد مناسب در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری

مقوله «راهبرد بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری» به یک نقشه و برنامه، در چگونگی تحویل آب به آب‌بران و نحوه کنترل عمق آب و آبدهی در طول یک شبکه به صورت لحظه به لحظه (آنی) اشاره دارد که شامل دو جنبه مهم کنترل آب است:

۱- **نحوه تحویل آب** (تعیین زمان‌بندی و مقدار آب تحویلی به آب‌بران)؛ سامانه‌های غیرمنعطف در ابتدای فصل آبیاری دارای یک برنامه زمانی از پیش‌تعریف شده هستند. درحالی‌که در سامانه‌های منعطف، امکان تغییر در تقاضای کشاورزان، در برخی موارد وجود دارد. با توجه به تاخیر زمانی جریان آب تا مقصد و اطمینان از عدم افزایش تقاضا بیش از ظرفیت شبکه، غالبا مسوولین شبکه جهت دریافت سفارشات جدید نیازمند مدت زمان مناسب و کافی هستند. قابلیت شبکه در عکس‌العمل به تغییرات (برای مثال قطع دیرتر یا زودتر یا تغییر در آبدهی) به طراحی فیزیکی کانال، ظرفیت‌های سامانه کنترلی و سیاست‌های آن شبکه بستگی دارد.

۲- **راهبردهای کنترلی**؛ یک طراح نه تنها باید جایگاه و دلیل جانمایی هر یک از کنترل‌ها را مشخص‌کند، بلکه باید شناخت کاملی از اثرگذاری این شکل از طراحی، روی مدیریت و ارائه خدمات تحویل آب داشته باشد؛ که شامل شناخت تاثیر اقدامات انجام‌گرفته در هر نقطه، بر نتایج و اقدامات لازم در دیگر موقعیت‌های سامانه می‌شود.

ادبیات رایج در مراجع، معمولا شامل «کنترل بالادست» و «کنترل پایین‌دست» می‌شود که عموما تنها به اعمال کنترل سطح آب اطلاق می‌شود. فرایند بازکردن زودتر آب، برای دردست بودن آب در پایین‌دست به منظور تامین آب، اغلب «کنترل پیشخوردی[1]» نامیده می‌شود. گزینه‌های دیگر کنترل، متعاقبا در این راهنما مورد بحث قرار می‌گیرند.

1- Feed-Forward Control

در اوایل خودکارسازی کانال‌ها در کشورهای توسعه‌یافته، نگاه طراحان به یک شبکه، به شکل یک سامانه شاخه شاخه و پیچیده بود. با تکامل دانش خودکارسازی، یک توصیف ساده‌تر، توسط بسیاری از طراحان موفق پذیرفته شد. در نگرش ساده‌تر، یک کانال با کنترل بالادست، دارای کنترل آبدهی در ورودی اصلی (تاسیسات آبگیری)، ورودی کانال‌های جانبی و کنترل ثابت تراز آب در بالادست هر آبگیر در سرتاسر کانال است. از اهداف اصلی کنترل بهتر، کنترل دقیق آبدهی در هر نقطه تحویل (آبگیر) است. به‌علاوه، انتظار می‌رود که مجموع آبدهی آبگیرهای پایین‌دست، با آبدهی در تاسیسات آبگیری کانال یکسان باشد. خودکارسازی شامل کنترل تراز آب درون کانال‌های انتقال و توزیع و در برخی موارد کنترل خودکار آبدهی در آبگیرهای تحویل آب است. زیاد یا کم بودن مقدار آب در انتهای کانال، یکی از مشکلات این سامانه‌ها است. چرا که، تقریبا فراهم کردن آبدهی مورد نیاز در یک کانال، هم‌زمان با ثابت نگه‌داشتن تراز آب بدون اخلال در آبدهی در انتهای کانال غیرممکن است.

کنترل پایین‌دست، به‌عنوان یک روش کاملا خودکار کنترلی تراز آب در کانال‌ها معرفی شد. در شکل ابتدایی این روش، هر تنظیم‌کننده عرضی، تنها مقدار آبدهی لازم برای حفظ تراز سطح آب تعیین‌شده در پایین‌دست را عبور می‌دهد؛ با این منظر که دیگر در انتهای کانال مشکلی به وجود نمی‌آید و به دلیل کنترل خودکار در هرنقطه با توجه به مصرف پایین‌دست، از مقدار ارتباطات می‌توان کاست. در ابتدا از دریچه‌های ساده هیدرولیکی استفاده می‌شد، اما در طراحی‌های جدیدتر و نوین، در برخی موارد از انواع دریچه‌های خودکار رایانه‌ای استفاده می‌شود. این سامانه‌ها، پیچیده بوده و از جهاتی نسبت به کنترل بالادست دارای مخاطرات بیش‌تری هستند؛ چراکه در این روش «جریان داخل کانال» کنترل می‌شود و درصورت بروز مشکل در یکی از اجزا، ممکن است دریچه ورودی کانال (تاسیسات آبگیری) به طور کامل باز یا بسته شود، مگر در صورتی که محافظ‌های (پادمان‌ها) لازم لحاظ شده باشد. به همین دلیل در اولین اقدامات خودکارسازی، بهتر است از روش کنترل پایین‌دست استفاده نشود. هنگامی که در یک ناحیه، تجربه کافی در استفاده از سامانه‌های خودکار کسب شد، می‌توان مجموع مزایای کنترل پایین‌دست را بیش‌تر از مخاطرات آن دانست و از آن بهره برد.

در سال‌های اخیر، با بازچرخانی هدفمند هرزآب‌ها و زهکش‌ها و برگشت آن به داخل شبکه آبیاری، کنترل آب در بعضی از سامانه‌ها بسیار ساده‌تر شده است. در این رویکرد، به‌جای تلاش برای رسیدن به مقدار عرضه و تقاضا در سرتاسر پروژه، آبدهی‌ها را می‌توان تقریبا به مقادیر مورد نیاز در بخش‌های بالایی پروژه نزدیک کرد. به این ترتیب، هرزآب‌ها در پایین‌دست جمع‌آوری می‌شود و اختلاف در آبدهی‌های درون کانال‌ها، در مخازن تنظیمی نزدیک به انتهای کانال در پایین‌دست، مجددا تنظیم می‌شود. درنتیجه فرایند کنترل ساده‌تر شده و نسبت به کنترل پایین‌دست، مطمئن‌تر است. به این ترتیب، پایش سطح آب در مخازن تنظیمی، یک بازخورد ساده‌ای را فراهم می‌کند که با آن میزان مطابقت عرضه با تقاضا ارزیابی شود. قطعا مخازن تنظیمی، نیاز به زمین داشته و پرهزینه هستند؛ با این وجود، در صورت طراحی اصولی، این مخازن می‌توانند به عنوان ابزار ساده برای دستیابی به درجه بالایی از انعطاف‌پذیری در اختیار باشند.

امروزه اکثر طرح‌های آبیاری که نیازمند نوسازی هستند، مستلزم استفاده از ترکیبی از راهبردهای کنترلی برای تطابق با محدودیت‌های فنی، فیزیکی و مدیریتی هستند. برای مثال، بهره‌برداری خودکار از یک کانال اصلی ممکن است

با یک نوع از کنترل بالادست (مثلا با عناصری از روش تحلیل پیش‌بینانه) انجام‌شود. یا گاهی اوقات کانال اصلی دارای کنترل بالادست در ۷۵ درصد بخش بالایی با یک مخزن تنظیم در بخش انتهایی و کنترل پایین‌دست در ۲۵درصد پایانی شبکه بعد از مخزن باشد. به طور خلاصه، به ندرت ممکن است انتخاب یک روش کنترل در سرتاسر یک طرح آبیاری، بهترین طراحی باشد.

بدیهی است، خودکارسازی رایانه‌ای در کانال‌های بزرگ مناسب است. چراکه هزینه یک کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر (PLC)، برنامه‌نویسی، مدل‌سازی، منبع تغذیه، عمل‌گر دریچه‌ها، ارتباطات رادیویی، حصارهای محافظت از خراب‌کاری و غیره، به ازای هر سازه، چه سامانه بزرگ یا کوچک باشد، تقریبا یکسان است. بنابراین، خودکارسازی رایانه‌ای اغلب در کانال‌های کوچک توجیه اقتصادی ندارد.

۲-۶-۱- مقایسه کنترل مرکزی، محلی و پراکنده

بیش‌تر سامانه‌های کنترل مرکزی شناخته‌شده، در کانال‌های متوسط و بزرگ مانند کانال دِ پروانس در فرانسه، شبکه انتقال کالیفرنیا[1] یا پروژه کانال آریزونا مرکزی (CAP[2])، اجرا شده است. معمولا بهره‌برداری کانال‌های بزرگ، ساده‌تر از کانال‌های کوچک‌تر است، چراکه در کانال‌های کوچک نوسانات آبدهی بسیار زیاد و غیرمنتظره است. علاوه بر این، کانال‌های بزرگ اغلب دارای مخازن بسیار بزرگ در پایانه‌های خود هستند و عمدتا شبکه انتقال هستند تا یک شبکه توزیع. همچنین در مواقعی ممکن است در کنترل این کانال‌ها از بازه‌های کانال به عنوان استخر ذخیره‌سازی موقت استفاده شود. اما در شرایط دیگر، کنترل پراکنده ترجیح داده می‌شود.

برای انتخاب مناسب‌ترین روش کنترل در هنگام شالوده‌بندی و برنامه‌ریزی یک طرح کنترلی (چه مناسب‌ترین روش کنترل مرکزی باشد، چه کنترل پراکنده)، به یک فرایند انتخاب آگاهانه نیاز است.

۲-۶-۲- برنامه عکس‌العمل فوری و حفاظتی در شرایط اضطراری

سوالی که در هنگام استفاده از تجهیزات الکترونیکی مطرح است، این است که در چه مدت و تناوبی این تجهیزات دچار مشکل می‌شوند؟ حس‌گرها و منبع تغذیه کنترل‌گرها می‌توانند خراب شوند، چراکه احتمال اصابت رعد و برق، خراب‌کاری، مشکل در ارتباطات، گیرکردن دریچه‌ها، حتی مشکلاتی در منطق عملکرد، مانند حرکت دریچه در خلاف جهت مورد نظر نیز وجود دارد.

1- California Aqueduct
2 -Central Arizona Project

بنابراین، ضروری است که هر سامانه خودکار، مرحله به مرحله عملیاتی شود و فرایندهایی در مورد چگونگی واکنش در شرایط اضطراری برای آن در نظرگرفته شود. به طورکلی، هر طرح خودکارسازی مبتنی بر PLC، ابتدا باید به یک پایگاه مجهز اسکادا به همراه یک سامانه ارتباطی کامل بین این پایگاه و هر موقعیت کنترلی محلی در سامانه، مجهزشود. زمانی که سازه‌ها به‌تدریج خودکار شوند، عملکرد هر سازه را می‌توان بلافاصله از مرکز پایش‌کرد تا هر نوع مشکلی سریع مشخص و برطرف شود.

بعد از راه‌اندازی اولیه، می‌توان سامانه اسکادا را برای نمایش اخطار در زمان بروز مشکل در کنترل آماده کرد. توصیه می‌شود که در تمام سازه‌های خودکار (برای اندازه‌گیری سطح آب، گشودگی دریچه یا آبدهی) از حس‌گرهایی با نوع متفاوت (مانند سطح‌سنج راداری و آلتراسونیک) استفاده شود، همچنین ذخیره آن‌ها به تعداد لازم خریداری شده و در انبار نگهداری شود. اگر قرائت این حس‌گرها با یکدیگر تفاوت داشت، یک تکنسین را می‌توان برای تعیین این‌که کدام حس‌گر دچار مشکل شده، فرستاد؛ این درحالی‌است که در طی مراحل تعمیر حس‌گر خراب، بهره‌برداری خودکار می‌تواند با استفاده از حس‌گر ذخیره ادامه یابد.

در شرایط بحرانی مانند قطعی سراسری برق، باید واکنش هر یک از اجزای مختلف سامانه، افزون بر سامانه اسکادا، درنظر گرفته شود. امکان دارد در شرایطی مثلا از انرژی خورشیدی یا ژنراتورهای پشتیبان استفاده شود تا قطعی برق بر عملکرد دریچه‌ها تاثیری نداشته باشد. اما این احتمال زیاد است که تعداد زیادی از پمپ‌های آبیاری خاموش شوند و جریان در کانال به سرعت افزایش یا کاهش یابد. همچنین باید احتمال خرابی در خود سامانه کنترل را نیز درنظر گرفت. از این‌رو نیاز به سرریزهای اضطراری با خودکارسازی کانال کاهش نمی‌یابد و در واقعیت باید پذیرفت که، نیاز به آن‌ها افزایش یابد. سامانه‌های اعلام خطر و آژیر هشدار نیز در چنین شرایطی کاربرد دارند.

۲-۶-۳- توضیحی بر موفقیت‌های خودکارسازی موضعی و توسعه آن‌ها

در طرح‌های متعددی در دنیا، کنترل تعداد زیادی از سازه‌ها با استفاده از PLCها یا تجهیزات الکترونیکی، خودکار شده‌اند که این سازه‌ها اکثرا منفرد و مجزا هستند و مستقل عمل می‌کنند. برای مثال، متداول‌ترین سازه برای خودکارسازی، تنظیم‌کننده ورودی کانال است که معمولا برای کنترل آبدهی و با استفاده از فناوری‌هایی که نتیجه عملکردشان اثبات‌شده، خودکار می‌شوند.

هنگامی که طرح خودکارسازی برای بیش‌تر از سه دریچه سری، همراه با تغییرات شدید آبدهی لحاظ می‌شود، روش‌های خودکارسازی رایانه‌ای که تنها یک سری از اقدامات کنترلی ساده‌اند نمی‌توانند کنترل سریع و پایدار لازم را فراهم کند. در پروژه‌های خودکارسازی شامل چندین سازه تنظیم، به یک رویکرد کاملا متفاوت در خودکارسازی کانال نیاز است. در این رویکرد باید ویژگی‌های منحصربه‌فرد هیدرولیکی هر بازه و تنظیم‌گرهای عرضی، به‌همراه تاثیر بین بازه‌ها و دریچه‌های مجاور مشخص شوند. از آنجاکه اکثر افراد با منطق کنترلی ساده به‌کاررفته در یک یا دو دریچه آشنا هستند، پذیرش این مساله که افزون‌بر منطق کنترل نوین، نیاز به واسنجی ثابت‌های دریچه‌های تنظیم با مدل‌سازی

جریان ناپایدار است، با مقاومت همراه می‌شود. این راهنما تلاش می‌کند تا در مورد اجزای مدرن کنترلی کانال‌ها شفافیت ایجادکند تا تصمیم‌های مناسب و بر پایه اطلاعات صحیح گرفته شود.

۲-۷- مواردی که استفاده از خودکارسازی مبتنی بر PLC توصیه نمی‌شود

برای حصول موفقیت و رسیدن به مزایای مورد انتظار در طرح‌های خودکارسازی لازم است تا تمامی عوامل دخیل، متعهد و فعال باشند. این افراد شامل کلیه دستگاه‌های ذی‌نفع و ذی‌مدخل نیرو و کشاورزی، سازمان محیط‌زیست، هیات مدیره و مدیرعامل شرکت‌های تعاونی و عوامل تشکل‌های آب‌بران، مشاوران و سازندگان و پیمانکاران می‌شوند. حصول موفقیت نیاز به یک رویکرد تیمی دارد.

اگرچه افزایش سطح خدمات به مصرف‌کنندگان آب که بهره‌وری عملیات کشاورزی آن‌ها را افزایش می‌دهد دارای مزایایی هست، اما مواردی وجود دارد که طرح‌های خودکارسازی مبتنی بر PLC کانال‌ها توصیه نمی‌شود یا حداقل باید به تعویق افتد. هر یک از موارد اخطاردهنده زیر، می‌تواند در بی‌اثر کردن یک طرح خودکارسازی کانال کافی باشد:

۱- مسوولین یک پروژه آبیاری به هر دلیلی تمایل نداشته یا متعهد به نگهداری و تعمیر از زیرساخت‌های شبکه آبیاری نیستند، که معمولا از طریق یک بازدید سریع در منطقه به‌وضوح مشخص است که نگهداری و تعمیر به شکل وسیعی به تعویق افتاده است. این نقص ناشی از عدم پاسخگویی و شفافیت مالی، عدم وجود یک برنامه نگهداری و تعمیر و غیره است.

۲- بودجه برای پشتیبانی پایدار از پروژه خودکارسازی ناکافی باشد.

۳- برای طراحی و اجرای یک طرح خودکارسازی بزرگ در مدت زمانی کوتاه تعجیل وجود داشته باشد، درحالی‌که کارکنان پروژه تجربه کافی در مسایل مدرن‌سازی، اسکادا و تجهیزات خودکارسازی نداشته باشند.

۴- کارکنان پروژه، واجد شرایط بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات نیستند و مقامات پروژه پیش از شروع بهره‌برداری تمایلی به صرف وقت و هزینه کافی برای آموزش صحیح کارمندان ندارند.

۵- قبل از اجرای خودکارسازی، در تهیه تعداد لازم و کافی از تجهیزات تشخیص خطای الکترونیکی و قطعات یدکی مورد نیاز مشکلاتی وجود داشته باشد.

۶- از مدرن‌سازی و خودکارسازی، انتظارات غیرواقعی در صرفه‌جویی از آب و بهره‌برداری سهل و آسان وجود داشته باشد.

۷- کارکنان پروژه آبیاری، انتظار گردش مالی بالایی داشته باشند.

۸- یک شرح وظایف شفاف و مترقی از مسوولیت‌ها بین طراحان، سازندگان، اپراتورها، اسکادا و دیگران تعریف نشود.

۹- مدیران طرح آبیاری درخواست استفاده ازPLCها و حس‌گرهای ارزان، بدون توجه به مشخصات و ظرفیت‌های لازم را داشته باشند.

۱۰- درک روشنی از وقوع ناگزیر مشکلات هنگام اجرا وجود نداشته باشد.
۱۱- مدیران پروژه تمایل داشته باشند تا حس‌گرها و عمل‌گرهای خود را ابداع کرده، توسعه‌دهند یا بسازند.
۱۲- شرکت‌ها یا سازمان‌های مجرب بهره‌بردار شبکه در منطقه حضور نداشته و امکان آموزش تشکل‌ها در زمان کوتاه وجود ندارد.
۱۳- هدف تعریف‌شده و مشخص در بهره‌برداری از مدرن‌سازی و خودکارسازی شبکه وجود ندارد.
۱۴- مشارکت فعال کشاورزان و ذی‌نفعان در بحث‌های اولیه و ادامه آن‌ها و تدوین طرح خودکارسازی در تمام جلسات برنامه‌ریزی و طراحی که محدود به طراحان و مقامات سطح بالا و اقتصاددانان پروژه‌های آبیاری شود، وجود نداشته باشد.
۱۵- طراحان در طراحی شبکه‌های آبیاری مدرن کم تجربه یا بی‌تجربه باشند.
۱۶- تولیدکنندگان سخت‌افزارها، سامانه را تنها مطابق سخت‌افزارهای موجود و دردسترس طراحی کنند و نه نیازهای طرح.

خودکارسازی موفق مبتنی بر PLC، یک فرایند پیچیده و گران است و به تجهیزات و تعمیر و نگهداری بسیارخوب نیازدارد. این فرایند مستلزم کارسخت، توجه دائمی به جزئیات و واکنش سریع در زمان بروز مشکل است. در حقیقت هیچ میان‌بری برای موفقیت در این فرایند وجود ندارد. برای موفقیت، باید این مسایل برای همه از پیش روشن باشد و بودجه کافی فراهم شود.

در جواب به این سوال «که اساسا چرا باید خودکارسازی مبتنی بر PLC انجام شود؟» تنها می‌توان گفت که پاسخ آن پیچیده است. اگر اهداف مشابه را بتوان به‌روش‌های کنترلی ساده‌تری به‌دست آورد، باید از آن روش‌های ساده‌تر استفاده‌کرد. با این‌حال، با پیچیده‌تر شدن کنترل آب و برای رسیدن به انعطاف‌پذیری بیش‌تر در شبکه، معمولا لازم می‌شود تا از برخی جنبه‌های خودکارسازی مبتنی بر PLC در محل‌هایی از سامانه کنترلی استفاده شود. در مواردی که سامانه کنترلی بزرگ و پیچیده می‌شود، تعداد این نقاط کنترلی نیز می‌تواند تا حد قابل توجهی افزایش یابد.

اما همواره باید این نکته را به‌یاد داشت که خودکارسازی مبتنی بر PLC یا هر نوعی از خودکارسازی هدف نیست. به طورکلی اهداف عبارتند از بهبود خدمات تحویل آب، حفاظت از محیط زیست و بهبود بهره‌وری در انتقال آب. در برخی موارد، هدف اصلی خودکارسازی، کاهش وابستگی به نیروی کار است. طیف وسیعی از ابزارهای خودکارسازی به عنوان گزینه‌هایی برای کمک به انجام این اهداف در دسترس هستند.

فصل ۳

عوامل و اجزای تاثیرگذار در بهره‌برداری خودکار شبکه‌های آبیاری

۳-۱- کلیات

برای خودکارسازی سامانه‌های آبیاری ثقلی و تحت‌فشار موجود، تمرکز بیش‌تر روی چگونگی ارتقای کنترل (شامل تجهیزات اندازه‌گیری، ارتباطی و روش‌های کنترلی) در آن‌ها خواهد بود تا طراحی و ساخت یک شبکه کاملا جدیدی از کانال‌ها و لوله‌ها. با این‌حال در مواردی نیز باید بین خودکارسازی الکترونیکی سازه‌های موجود یا ساخت سازه‌های جدید درون و خارج از شبکه، تصمیم‌گیری شود. در سطح جهانی، با وجود مزایا و معایب برای این راهکارها، هر دو رویکرد موفقیت‌آمیز بوده‌اند. در کلی‌ترین حالت می‌توان گفت تغییرات عمده و تاثیرگذار در زیرساخت‌های فیزیکی خودکارسازی در موارد زیر خلاصه می‌شود:

- نصب موتورها و عمل‌گرها روی تنظیم‌کننده‌های عرضی (سازه‌های تنظیم) و دریچه‌های کنترل جریان دستی
- تجهیز الکتروپمپ‌های تک سرعته به درایورهای فرکانس متغیر برای توان‌های کم و تعویض الکتروموتورهای با توان زیاد برای امکان استفاده از درایور
- اصلاح و بهبود پوشش کانال‌ها در موارد ضروری
- تعویض سازه‌های تنظیم قدیمی موجود با دریچه‌های جدید و سالم که پایه و اساس طراحی یکسانی دارند
- تعویض سازه‌های تنظیم قدیمی موجود با دریچه‌هایی سازگار با خودکارسازی
- تعویض تیرک‌های آب بند[1] فاقد کارایی لازم با دریچه‌های کشویی با بازشدگی مناسب
- نصب تجهیزات جدید کنترل‌کننده و اندازه‌گیری در آبگیرها
- نصب تجهیزات اندازه‌گیری و کنترلی ارتقا یافته در کانال‌ها
- تجهیز شیرهای کنترلی به عمل‌گرهای برقی قابل کنترل در سامانه خودکار (شبکه تحت‌فشار)
- تجهیز سیستم‌های اندازه‌گیری آبدهی و فشار به سیستم برقی سازگار با پایش از راه‌دور (شبکه تحت‌فشار)

سازه‌های کنترلی در مسیر کانال، معمولا «تنظیم‌کننده‌های عرضی[2]» یا «سازه‌های تنظیم[3]» نیز نامیده می‌شوند. این تنظیم‌کننده‌های عرضی، با استفاده از یکی از منطق‌های کنترلی موجود، معمولا برای ثابت نگه‌داشتن سطح آب در مقدار مورد نظر در بالادست یا پایین‌دست تنظیم‌کننده، استفاده می‌شوند. انواع دیگری از سازه‌های کنترلی که ممکن است مشابه تنظیم‌کننده‌های عرضی باشند، برای کنترل آبدهی در ورودی کانال یا کنترل آبدهی در نقاط توزیع لازم هستند.

1- Stop Logs
2- Cross Regulators
3- Check Structures

در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور، زیرساخت‌های فیزیکی موجود در طرح‌های مختلف یکسان نبوده و بین آن‌ها تفاوت‌هایی وجود دارد. طراحی‌های انجام شده و دردست انجام، معمولا بر پایه یکی از دو رویکرد زیر بوده است:

الف- دستورالعمل طراحی دفتر آبادانی ایالات متحده (USBR)

دستورالعمل طراحی دفتر آبادانی ایالات متحده (USBR) برای تنظیم‌کننده‌های سطح آب در کانال‌های شبکه اصلی بر دریچه‌های قطاعی و آبگیرهای روزنه‌ای کنترل‌شونده دستی تاکید دارد. این آبگیرهای روزنه‌ای براساس روزنه با بار آبی ثابت (CHO[1])، که در آن کنترل و اندازه‌گیری آبدهی یک‌جا است (شبکه آبیاری درودزن و شبکه آبیاری زرینه‌رود)، یا یک روزنه کنترل‌کننده جریان همراه با یک پارشال فلوم (شبکه آبیاری دز) یا سرریز در پایین‌دست آن برای اندازه‌گیری آبدهی بوده است. باید توجه داشت که در این دستورالعمل‌ها «کنترل آبدهی» به هیچ‌گونه روش خودکاری اشاره ندارد و تنها به وسیله‌ای برای رسیدن به یک آبدهی مورد نظر عمل می‌کند.

ب- طراحی هیدرولیکی فرانسوی

در این طراحی‌ها از دریچه‌های هیدرومکانیکی مانند آمیل[2]، آویس[3]، آویو[4]، یا سرریزهای لبه طولانی برای کنترل سطح آب در کانال‌ها استفاده می‌شود. طراحی آبگیرها معمولا به صورت «مدول‌های توزیعی[5]» (دریچه‌های نیرپیک) صورت می‌گیرد. یکی دیگر از مشخصه‌های متداول در برخی از این طراحی‌ها، استفاده از کانالت‌ها، به‌شکل مقاطع نیم‌لوله مستقر در ارتفاعی از سطح زمین بر روی زین و پایه است. (شبکه آبیاری سفیدرود و دشت قزوین و ...) این نوع طراحی در اکثر شبکه‌های جدید مرسوم است.

۳-۲- سامانه‌های انتقال، توزیع و کنترل آب در شبکه آبیاری

در خودکارسازی شبکه‌ها، یک شیوه بهینه خودکارسازی که بتوان بهترین شیوه قابل توصیه نامید، وجود ندارد. نوع خودکارسازی عملی و ممکن برای یک شبکه، به خصوصیات فیزیکی موجود آن بستگی دارد. در ادامه مثال‌هایی از آن آورده شده‌است:

1- Constant Head Orifice
2- AMIL
3- AVIS
4- AVIO
5- Distributor Module

- برخی از سامانه‌های انتقال و توزیع تنها شامل یک کانال انتقال و یک منبع به همراه شاخه‌هایی هستند که آب را به پایین‌دست هدایت می‌کنند. اما سامانه‌های دیگری نیز می‌توانند وجود داشته باشند که دارای منابع آبی متنوع و به تعبیری شرایط پیچیده‌ای هستند، مانند:

- سامانه‌های آبیاری تلفیقی[1]؛ طرح‌های استفاده تلفیقی، از منابع سطحی و زیرزمینی (چاه‌ها) به صورت هم‌زمان بهره‌برداری می‌کنند. از آب چاه‌ها ممکن است برای انعطاف‌پذیری بیش‌تر (بسیار نادر) یا برای تامین آب اضافه طی فصل‌های پیک مصرف (استفاده معمول‌تر) بهره‌برداری شود. پمپاژ از چاه‌ها، ممکن است آب را به‌طور مستقیم به کانال‌های درون شبکه تحت کنترل مدیریت شبکه، انتقال دهند یا در پایین‌دست این کانال‌ها، مستقیم به دست آب‌بران و کشاورزان برسانند.
- سامانه‌های بازچرخانی آب؛ در شبکه‌های آبیاری شالیزارها در ایران (بیش‌تر در شمال کشور) روش آبیاری غرقابی و تحویل، دائمی است. در این شبکه‌ها معمولا منبع آب، رودخانه‌های منشا گرفته از کوهستان یا شکل گرفته در دشت و با ترکیبی از آب با کیفیت و زه‌آب با شرایط کیفی متفاوت، مانند شبکه‌های مدرن و سنتی مازندران و گیلان است. در برخی از پروژه‌های مناطق خشک، آب حاصل از فرونشت آب از بدنه کانال‌ها و انهار سنتی، آب‌های خروجی از مزارع و هدررفت آب‌های ناشی از بهره‌برداری نامناسب کانال‌ها، دوباره به چرخه انتقال آب هدایت می‌شوند و مورد استفاده قرار می‌گیرند (مانند شبکه‌های آبیاری خوزستان). البته در مورد استفاده مجدد از این آب‌های کم‌کیفیت که می‌تواند به مشکلات شوری منجر شود و چگونگی واردکردن این جریان‌های متغیر حاصل از زهکشی اراضی بالادست به سامانه انتقال و توزیع آب آبیاری، تمهیداتی لازم و ضروری است.
- منابع سطحی چندگانه؛ معمولا در سامانه‌های آبیاری، جریان‌های ورودی کنترل‌شده و کنترل‌نشده سطحی در نقاط مختلف وجود دارد. مثلا در شرایطی که آبگیری شبکه، در فاصله‌ای از مخزن ذخیره آب قرار داشته باشد و حوضه میانی نیز جریان پایه متغیری را شامل شود یا آب برگشتی شبکه‌های بالادست به حوضه میانی یا مستقیم به بدنه شبکه وارد شود، آبدهی متغیر می‌شود. بدین‌جهت یک راه‌کار کنترلی که در یک سامانه ساده کانال شاخه‌ای به خوبی عمل می‌کند، در این شرایط درست عمل نمی‌کند.
- برخی از سامانه‌ها، فاقد مصرف‌کننده کشاورزی و صنعتی در پایین‌دست بوده و پساب و زهکشی آن‌ها به دریا، دریاچه، تالاب یا منابع شور دیگر ختم می‌شوند که ازجمله آن‌ها شبکه آبیاری آبادان – خرمشهر از طریق اروند رود به خلیج فارس، شبکه زرینه‌رود، سیمینه‌رود، مهاباد، نقده، شهرچای، سلماس و ... به

1- Conjunctive use systems

دریاچه ارومیه و شبکه مغان و سفیدرود و .... به دریای خزر تخلیه می‌شود. استفاده مجدد از این پساب‌ها و تعیین محل مصرف آن‌ها باید بررسی گردد.

- بر خلاف حالت قبل سامانه‌هایی وجود دارند که شبکه‌های آبیاری متعددی در پایین‌دست آن‌ها قرار گرفته‌اند. اگر در رودخانه، بلافاصله در پایین‌دست محل انشعاب، هیچ‌گونه مشکل مربوط به آبزیان و محیط زیست وجود نداشته باشد و اگر آب بازگشتی به رودخانه در انتهای سامانه نیز دارای کیفیت بالایی باشد، امکان ارائه خدمات تحویل آب انعطاف‌پذیر به آب‌بران به سادگی از طریق هدایت آب بیش‌تر از نیاز به شبکه انتقال، فراهم می‌شود و مقدار آب اضافی برای استفاده در پایین‌دست شبکه به رودخانه بازمی‌گردد. شبکه‌های آبیاری واقع در خوزستان بیش‌تر در چنین شرایطی بوده‌اند و آب برگشتی غیرقابل کنترل یا آب مازاد شبانه به دلیل مشکلات کار یا امتناع کشاورزان از آبیاری شبانه، به رودخانه‌های شاوور و دز بر می‌گردد.

- در کانال‌هایی با شیب تند، روش‌های کنترلی کم‌تری نسبت به کانال‌های با شیب کم قابل استفاده هستند. به‌ویژه اعمال کنترل پایین‌دست در این شرایط بسیار مشکل است. تعیین این‌که شیب تند چه مقدار است نیازمند تعیین خصوصیات هیدرولیکی کانال‌ها است.
- مقدار رسوب در آب، می‌تواند بر روی کم‌ترین سرعت مجاز کانال تاثیرگذار شود. در سرعت‌های کم، ذرات مواد معلق از آب جداشده و کانال‌ها و لوله‌ها را مسدود می‌کند. یک طراحی که آب انعطاف‌پذیر را با سطح ثابت آب در کانال‌ها فراهم می‌کند، می‌تواند منجر به مشکلات جدی رسوب‌گذاری شود. در برخی از پروژه‌ها، کانال‌هایی با سرعت‌های جریان کم در مسیرهای طولانی ساخته شده‌است که در آن‌ها ماسه و گل و لای رسوب کرده و سپس لایروبی شده‌اند. در برخی از پروژه‌ها، در ورودی شبکه حوضچه‌های رسوب‌گیر ساخته شده است.
- دسترسی به مخازن آبی، یک مساله کلیدی در خودکارسازی محسوب می‌شود. در بیش‌تر بحث‌های مربوط به خودکارسازی کانال، وجود منبع آب انعطاف‌پذیر، یک پیش‌فرض اولیه است. به عبارتی جریان ورودی به کانال‌های اصلی، برحسب تقاضا قابل تنظیم است. این فرض هنگامی عملی است که یک مخزن تامین آب وجود داشته باشد یا اندازه انشعاب کانال نسبت به آبدهی پایه رودخانه کوچک باشد. اما در برخی از پروژه‌ها هیچ مخزنی در رودخانه وجود ندارد، در این حالت شبکه آبیاری منشعب از رودخانه، وابسته به رژیم طبیعی رودخانه بوده که در آن میزان آب انشعابی در شبکه آبیاری، متناسب با تغییرات جریان رودخانه، تغییر می‌کند. در چنین مواردی رعایت نظام حقابه‌بری در طول رودخانه برای روستاها و دیگر ذی‌نفعان پایین‌دست الزامی است. دراین شرایط، زمان‌بندی در دسترس قرارگرفتن مقدار آبدهی در کانال، ممکن است هیچ ارتباطی با برنامه زمانی نیاز الگوهای کشت نداشته باشد. طراحی این شبکه‌ها، معمولا باید برای توزیع متناسب با نظامات حقابه‌بری حاکم و رعایت قوانین و اسناد بالادست آب انجام شود و امکان این‌که برحسب تقاضا آب فراهم شود، مشکل خواهد بود.

- در بیش‌تر موارد، باید محدودیت ظرفیت آبدهی شبکه، قبل از ارتقا تجهیزات سخت‌افزاری برطرف شود تا امکان تحویل انعطاف‌پذیر و مطمئن آب، کارساز واقع شود. چنین محدودیت‌هایی بیش‌تر در مجاری صلب و تونل‌های انتقال آب، فلوم‌ها، مسیرهای عبور از جاده و غیره ایجاد می‌شود.

۳-۲-۱- انواع سازه‌های کنترل

با معیارهای متفاوتی می‌توان سازه‌های کنترل (تنظیم‌کننده‌های عرضی) و دیگر دریچه‌های کنترلی را دسته‌بندی کرد. این معیارها عبارتند از:

- نوع سامانه کنترل سازه در یک شبکه آبیاری (کنترل سطح بالادست یا پایین‌دست)
- نحوه عبور جریان از سازه (روگذر یا زیرگذر)
- مکانیزم حرکت در سازه (مکانیکی، فعال‌شونده با عمل‌گر الکتریکی، دریچه‌های هیدرولیکی، سازه‌های ثابت)
- حساسیت به غرقاب شدن

با توجه به مشخصات هیدرولیکی سازه‌های کنترل، برخی از این سازه‌ها برای اندازه‌گیری آبدهی نیز استفاده می‌شوند. برای خودکارسازی، اغلب ارائه شکلی از معادلات آبدهی که ارتباط میان متغیرهای مورد نظر (مانند سطح آب، موقعیت دریچه یا آبدهی) را بیان کنند، ضروری است. در ادامه برخی از این روابط ساده ذکر می‌شود، در این راهنما به جزئیات واسنجی سازه‌ها به منظور اندازه‌گیری پرداخته نمی‌شود. برای اطلاعات بیش‌تر به ضابطه ۸۳۳ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «ضوابط انتخاب و بهره‌برداری از تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی» مراجعه شود. در سامانه‌های خودکار، اکثر سازه‌های کنترل عرضی در کانال‌ها، مناسب کنترل سطح آب یا تغییر آبدهی هستند و برای اندازه‌گیری دقیق طراحی نشده‌اند.

هیدرولیک دریچه‌های زیرگذر (روزنه‌ها) و دریچه‌های روگذر (سرریزها) در ادامه توضیح داده شده است. با در نظر داشتن اهداف این فصل، موارد زیر نکات اصلی هستند:

- برای یک روزنه، آبدهی (Q) با مجذور اختلاف بار آبی (ΔH) در طول روزنه متناسب است،
- $Q \propto \sqrt{\Delta H}$
- برای یک سرریز مستطیلی، آبدهی (Q) با بار آبی بالادست عبوری از روی لبه سرریز (H) با توان ۱/۵ متناسب است،
- $Q \propto H\sqrt{H} = H^{1.5}$
- مساحت جریان عبوری از روی لبه سرریز با افزایش بار آبی (H) افزایش می‌یابد، اما مساحت جریان در یک روزنه با افزایش بار آبی، تغییر نمی‌کند. بنابراین در میزان مشخص و ثابت تغییرات بار آبی در بالادست، درصد تغییر آبدهی در طول سرریز، به مراتب بیش‌تر از یک روزنه خواهد بود.

با توجه به توضیح اخیر، چند اصل پایه‌ای برای سازه‌های کنترل در شبکه‌هایی که دستی بهره‌برداری می‌شوند وجود دارد:

- روزنه‌ها برای کنترل آبدهی بهتر از سرریزها هستند.
- سرریزها برای کنترل سطح آب مناسب‌تر از روزنه‌ها هستند.
- درصورتی که یک سرریز به مقدار لازم طولانی باشد، با مقدار مطلق تغییرات کم H، تغییر نسبی بزرگ آبدهی عبوری از سرریز رخ خواهد داد.

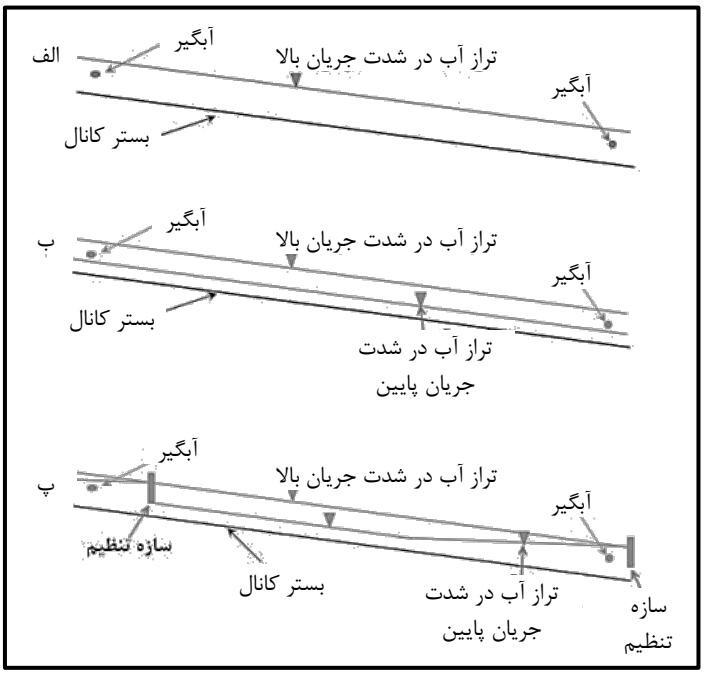
۳-۲-۲- سازه‌های کنترل و جانمایی آن

برخی از سازه‌های کنترلی، ثابت و برخی متحرک هستند. در نوع متحرک سازهای کنترلی، میزان بازشدگی به‌صورت دستی یا به‌شکل خودکار انجام می‌گیرد. در خودکارسازی با استفاده از RTU/PLC (کنترل‌گرهای برنامه‌پذیر منطقی و پایانه‌های راه‌دور)، زمان دقیق تنظیم (درصورت متحرک‌بودن)، مقدار حرکت در هر گام، نوع متغیرها و قرائت‌هایی که اندازه گشودگی به آن وابسته است، همگی به نوع روش کنترلی اختیار شده بستگی دارد. برای مثال، در خودکارسازی شبکه، میزان گشودگی ممکن است بر مبنای نیاز به یکی از موارد زیر صورت‌گیرد:

- ثابت نگه‌داشتن آبدهی در مقدار موردنظر، با استفاده از اندازه‌گیری آبدهی در بالادست یا پایین‌دست سازه تنظیم، توسط ابزار اندازه‌گیری یا توسط خود سازه خودکار
- ثابت نگه‌داشتن تراز آب در بالادست سازه
- ثابت نگه‌داشتن تراز آب در محلی در پایین‌دست سازه که ممکن است کیلومترها دورتر باشد.
- تغییر مقدار آبدهی با این پیش‌بینی که در محل دیگری از سامانه آبیاری، نیاز به این تغییر آبدهی است.

اساسا، تحقق این اقدامات الزامات دیگری نیز دارد: در کانال‌هایی با شیب تند، بدون درنظر گرفتن شدت‌جریان، برای تحویل آب به آبگیرها، نیاز به سازه‌های تنظیمی است تا تراز آب را به مقدار کافی بالا نگه‌دارد. در بیش‌تر کانال‌های طویل با شیب تند، در آبدهی‌های کم، عمق آب کم و در آبدهی‌های بالا، عمق زیاد خواهد بود. در بیش‌تر روش‌های کنترلی (اما نه همه آن‌ها)، سازه‌های تنظیم، تراز آب کانال را صرف‌نظر از آبدهی کانال، بالا نگه می‌دارند.

طراحی بسیاری از شبکه‌های روباز موجود به‌گونه‌ای است که بهره‌برداری با شدت جریان‌های بالا صورت‌گیرد، در نتیجه تراز آب در این شبکه‌ها تا حدی بالا است. درصورتی که در این کانال‌ها تغییری در بهره‌برداری ایجاد شود، برای مثال کاهش برداشت آب در مقطع خاصی از سال، این احتمال وجود دارد که به مقدار کافی سازه‌های تنظیم برای حفظ تراز لازم آب برای تحویل وجود نداشته باشد. این مثال در شکل (۳-۱) تصویر شده است. به همین ترتیب اگر یک راهبرد کنترلی جدید اجرا شود، ممکن است نیاز به افزایش تراکم سازه‌های تنظیم باشد.



شکل ۳-۱- مقطع طولی مختلف تراز آب در (الف) شدت جریان بالا، (ب) شدت جریان بالا و پایین، (ج) شدت جریان بالا و پایین در حضور دو سازه تنظیم و امکان تحویل آب در هر دو شدت جریان

۳-۳- دریچه‌ها در سازه‌های تنظیم

نیازها و نوآوری‌ها، شکل‌های متنوعی از دریچه‌ها را فراهم کرده‌اند، که برخی از آن‌ها نیازمند تجهیزات الکترونیکی هستند، اما یک شکل بهینه کلی واحد قابل توصیه وجود ندارد. توضیح مختصری از شکل‌های گسترده و متنوع موجود در شبکه‌های آبیاری که تعداد قابل توجهی از آن‌ها در حال حاضر در شبکه‌ها استفاده شده و دارای تولیدات داخلی می‌باشد در ادامه آورده شده است.

۳-۳-۱- سازه‌های متحرک الکتریکی قابل کنترل با PLC

جهت آشنایی بیش‌تر انواع سازه‌های متحرک مورد استفاده در خودکارسازی، حتی اگر در حال حاضر نیز در شبکه‌های آبیاری داخل کشور استفاده نشده باشند، معرفی می‌شود تا در شرایطی که نیاز به بهره‌گیری از آن‌ها ضرورت پیدا کرد بتوان آن را در گزینه‌ها مدنظر قرار داد. از این‌رو سازه‌های تنظیم قابل کنترل با PLC مورد بحث در این بخش شامل موارد زیر است:

- سرریزهای متحرک (مانند روگذر آرمتک[1]، دریچه‌های با عمل‌گر نیوماتیک[2] (اوبرمیر[3])، فلوم-دریچه روبیکان[4]، دریچه لنگمن[5])،
- دریچه‌های کشویی[6]
- دریچه‌های قطاعی[7]
- دریچه‌های سالونی[8]

در این بخش، خصوصیات مکانیکی و هیدرولیکی این نوع دریچه‌ها بحث می‌شود که منطق کنترلی و برنامه‌های رایانه‌ای را دربر نمی‌گیرد. درصورتی‌که خودکارسازی با تجهیزات مبتنی بر PLC، به‌درستی انجام شود، تفاوتی در عملکرد دریچه‌های روگذر و زیرگذر از منظر تنظیم تراز آب در بالادست یا پایین‌دست، وجود نخواهد داشت. از طرف دیگر، یک طراحی ضعیف در خودکارسازی سازه، صرف‌نظر از نحوه عبور جریان از دریچه‌های خودکار، در هرحال مشکلات کنترلی را به همراه دارد. از این‌رو اگر نگرانی از خرابی سامانه کنترل خودکار وجود داشته باشد، بهتر است که از دریچه‌های تنظیم جریان با پیکربندی روزنه و از دریچه‌های تنظیم سطح آب با پیکربندی روگذر استفاده شود.

۳-۳-۱-۱- سرریزهای متحرک

در این سازه‌ها، آب از روی دریچه عبور می‌کند و ارتفاع لبه (تاج) سرریز قابل تنظیم است. صرف‌نظر از کیفیت و جزییات ساخت که به مهارت تولیدکننده بستگی دارد، عملکرد هیدرولیکی سرریزهای متحرک دارای مزایا و معایب خاص خود است.

مزایای سرریزهای متحرک شامل موارد زیر است:

- اجسام غوطه‌ور و شناور می‌توانند از سازه عبور کنند.
- درصورت قطع شدن نیروی محرک، عملکرد این نوع سرریزهای متحرک (روگذر) در مقایسه با دریچه‌های زیرگذر، می‌توانند سطح آب را در بالادست مستقل از شدت‌جریان، ثابت نگهدارد (در شرایط استقرار در رقوم نرمال تعریف‌شده، مانند یک سرریز ثابت عمل می‌کند).

1- Armtec Overshot®
2- Pneumatically Actuated Gates
3- Obermeyer
4- Flume-Gate by Rubicon®
5- Langemann Gate®
6- Sluice Gates
7- Radial Gates
8- Lopac Gates

- تا زمانی که جریان آزاد وجود داشته باشد (سرریز غرقاب نباشد)، محاسبه آبدهی، مستقل از شرایط تراز آب در پایین‌دست خواهد بود. اما جریان عبوری از هر نوع دریچه‌ای (روگذر یا زیرگذر) درصورتی که غرقاب شود، در یک مقدار مشخص از بازشدگی، وابسته به شرایط سطح آب در پایین‌دست آن می‌شود.

محدودیت‌های سرریزهای متحرک (شکل ۳-۲ تا شکل ۳-۵) شامل موارد زیر است:

- اجسام غوطه‌ور سنگین و بار بستر در جریان، مقابل دریچه مانده یا ته‌نشین شده و از این سازه‌ها عبور نمی‌کنند.
- درصورت قطع نیروی محرک، عملکرد سرریز نمی‌تواند شدت‌جریان ورودی به بازه پایین‌دست را به‌خوبی دریچه زیرگذر، با همان عرض، کنترل کند.
- در شرایط غرقابی، دقت اندازه‌گیری جریان در یک سرریز متحرک به‌شدت کاهش می‌یابد.

تعدادی از سرریزهای متحرک به قرار زیر است:

الف- دریچه روگذر آرمتک

دریچه روگذر آرمتک به دیواره سازه لولا شده و وزن آب دریچه را به پایین فشار داده و تنظیم تراز دریچه با استفاده از کابل‌های متصل به آن از بالا انجام می‌شود.

در نصب دریچه روگذر آرمتک، صفحه فلزی، بین دو دیواره بتنی جانبی لولا شده است. هنگامی که دریچه به طور کامل باز (افقی) است، سازه در برابر جریان مانعی ایجاد نمی‌کند و سطح آب در بالادست، به‌جز به خاطر مقطع سازه، تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. این سرریز با استفاده از دو کابل که به قسمت بالای صفحه فلزی متصل هستند، حرکت می‌کند. این کابل‌ها به‌صورت دستی یا الکتریکی، توسط عمل‌گرهای نصب‌شده در بالاتر از سطح آب، به بالا یا پایین حرکت می‌کنند (شکل ۳-۲).

ب- دریچه نیوماتیک (اوبرمیر)

دریچه نیوماتیک (اوبرمیر) توسط تشکچه‌های بادشونده، زاویه بازشدگی دریچه را کنترل می‌کنند. سپر دریچه به کف، لولا شده‌است. این دریچه‌ها عمدتا برای کنترل حدودی سطح آب در سرریز بند انحراف جریان از رودخانه یا سرریز سد استفاده می‌شوند؛ چراکه معمولا هیچ‌گونه سازه‌ای برروی آن‌ها نیازی نیست. گرچه در برخی از پروژه‌های در دست بهره‌برداری، پایش و کنترل دقیق موقعیت بازشدگی این دریچه‌ها با مشکل همراه بوده است. شکل (۳-۳) دید از پایین‌دست دریچه نیوماتیک (اوبرمیر) را در شرایط بدون عبور آب در اواخر تابستان در ناحیه آبیاری رودخانه واکر، نوادا، آمریکا را نشان می‌دهد.

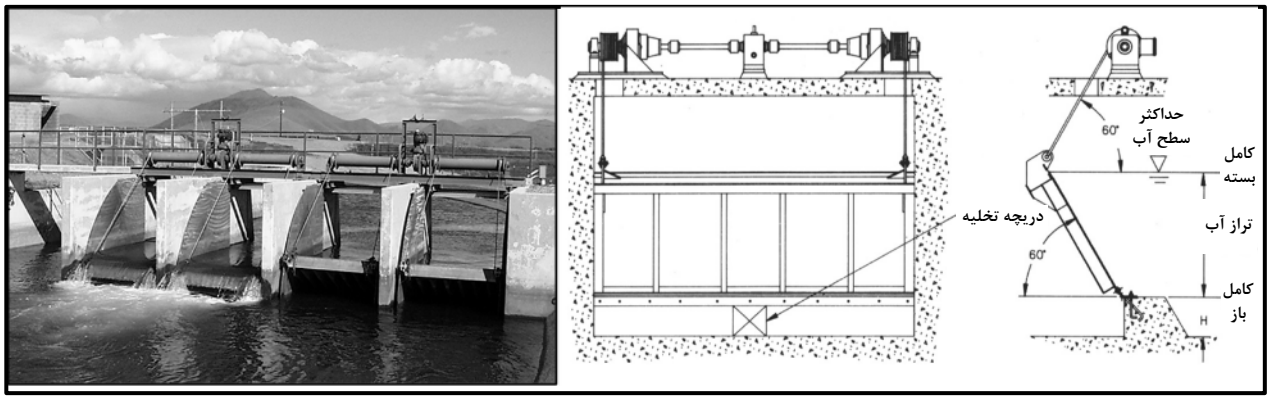
پ- فلوم - دریچه روبیکان

فلوم- دریچه روبیکان، مورد جدیدتر از دریچه‌های روگذر ساده آرمتک هستند. تفاوت اصلی فلوم-دریچه روبیکان در یک‌پارچه بودن صفحه فلزی با دیواره‌های فلزی فلوم دریچه و در نتیجه دیوارهای جانبی متحرک و حرکت به هر دو

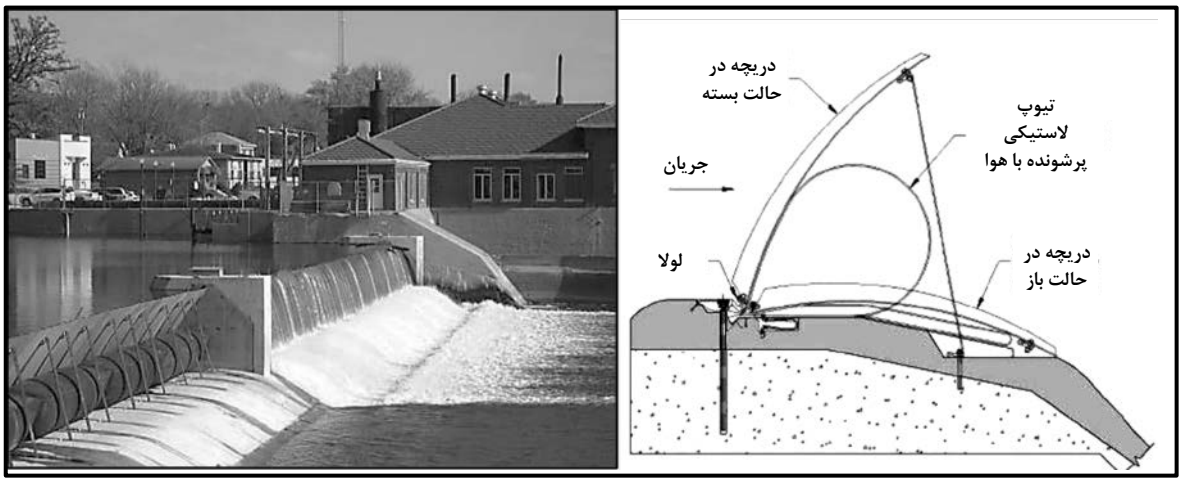
سمت بالادست و پایین‌دست است. این دریچه‌ها در اکثر موارد خودکار هستند. شکل (۳-۴) عملکرد این دریچه را در ناحیه آبیاری امپریال، کالیفرنیا، آمریکا در اوایل دهه ۱۹۹۰نشان می‌دهد.

ت- دریچه لنگمن

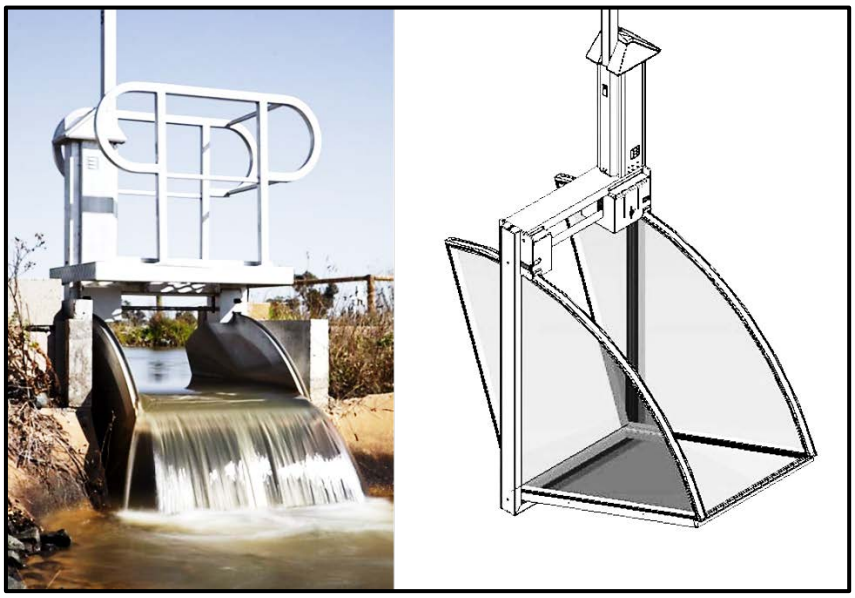
دریچه لنگمن، برخلاف دیگر دریچه‌های روگذر معرفی‌شده، شامل دو لنگه در بالا و پایین است که در یک محور افقی به یکدیگر لولا شده‌اند. تاج سرریز با حرکت عمودی لبه بالای لنگه رویی، بالا و پایین می‌شود. سرریز هنگامی کم‌ترین ارتفاع را دارد (کاملا باز است) که دو لنگه، به‌صورت افقی در کف دریچه، روی هم قرار گرفته‌باشند. این طراحی همچنین موجب می‌شود تا نیروی مورد نیاز برای حرکت دریچه کاهش یابد (شکل ۳-۵). این پیکربندی شامل لولاهایی در کف و وسط سازه است. حرکت لبه (تاج) این سرریز کاملا در راستای عمودی است (برخلاف حرکت قوس‌دار همانند سه دریچه معرفی‌شده قبلی).



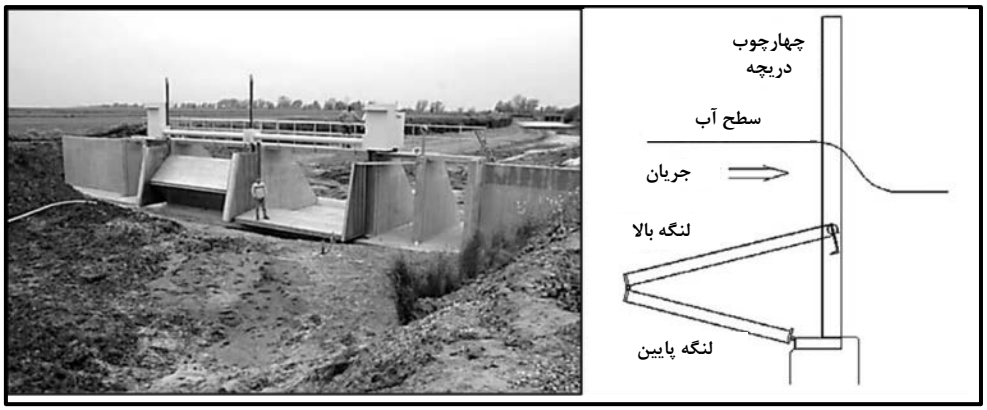
شکل ۳-۲- دریچه روگذر آرمتک در ناحیه آبیاری امپریال، کالیفرنیا، آمریکا



شکل ۳-۳- دریچه نیوماتیک (اوبرمیر) در ناحیه آبیاری رودخانه واکر، نوادا، آمریکا



شکل ۳-۴- فلوم-دریچه روبیکان



شکل ۳-۵- دریچه‌های لنگمن (آکواسیستمز ۲۰۰۰) از دید بالادست

۳-۳-۱-۲- دریچه‌های کشویی

دریچه‌های کشویی (شکل ۳-۶ و شکل ۳-۷) دارای مجرای عبوری زیرگذر (روزنه) هستند. اگرچه به‌ندرت در نمونه‌هایی هر دو حالت روگذر و زیرگذر نیز استفاده شده‌است. دریچه‌های کشویی در امتداد عمودی به بالا و پایین حرکت می‌کنند. مشابه دریچه‌های روگذر متصل به کف، برای باز و بستن دریچه‌های کشویی به نیروی قابل‌توجهی نیاز است. دریچه‌های کشویی عریض یا بلند، باید به شدت تقویت شوند تا بتوانند فشار هیدرولیکی را تحمل کنند، که می‌تواند ساخت و نصب آن‌ها را مشکل سازد. به همین دلیل و در صورت نیاز، به جای یک دریچه با عرض زیاد، تعدادی دریچه‌های کشویی با عرض کم‌تر از ۱/۵ متر را به‌صورت موازی در کنار هم قرار می‌دهند.

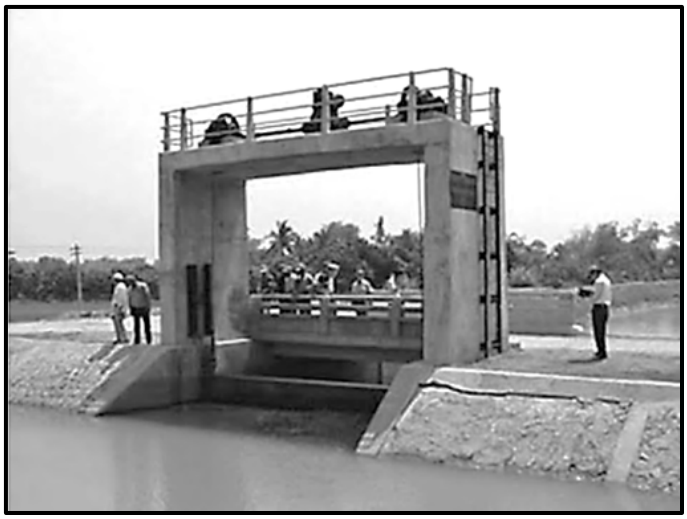
شکل ۳-۶- دریچه‌های کشویی خودکار و یک ایستگاه پایش در کانال گیگناک فرانسه

شکل ۳-۷- دریچه‌های کشویی با جعبه دنده دستی به‌صورت موازی در شبکه ورامین

اگر دریچه کشویی، داخل یک سازه با دیوارهای صلب در بالادست و پایین‌دست و بدون تغییر در بستر کانال نصب شود، می‌تواند تقریبا به سادگی برای اندازه‌گیری جریان، واسنجی شود. این دریچه‌ها در شرایط تنظیم دستی برای کنترل سطح آب، به‌ویژه هنگامی که تفاوت سطح آب بالادست و پایین‌دست آن‌ها زیاد باشد، مناسب نیستند چراکه حتی تغییر کوچکی در شدت جریان در طول سازه، تغییر نسبتا بزرگی در سطح آب بالادست ایجاد می‌کند.

یک مشکل اصلی در دریچه‌های کشویی می‌تواند مقدار حرکت عمودی مورد نیاز، به‌علاوه سازه مناسب نگهدارنده آن باشد. در بسیاری از کشورها، دریچه‌های کشویی، روی سازه‌های بسیار بلندی ساخته می‌شود که دسترسی به آن برای اپراتور اگر خطرناک نباشد، بسیار مشکل است. حرکت‌دادن این دریچه‌های بزرگ بدون موتورهای الکتریکی بسیار دشوار

است؛ برای همین نیز تمایلی به تغییر در گشودگی آن‌ها در دفعات زیاد وجود ندارد. شکل (۳-۸) تا شکل (۳-۱۱) نمونه‌هایی از دریچه‌های کشویی هستند.



شکل ۳-۸- یک دریچه کشویی خودکار بزرگ در تایلند

شکل ۳-۹- دریچه کشویی دستی با یک فرمان بزرگ و جعبه‌دنده (چپ) -دریچه کشویی بعد از سازه رسوب‌گیر (راست)

شکل ۳-۱۰- چند دریچه کشویی موازی در شبکه چمران خوزستان

شکل ۳-۱۱- نمونه‌ای از دریچه کشویی خودکار همراه با فرمان دستی

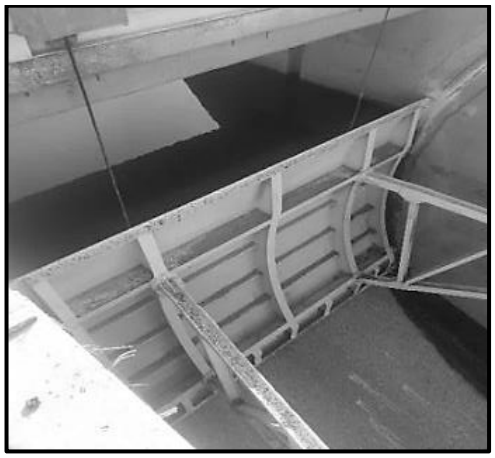
۳-۳-۱-۳- دریچه‌های قطاعی

دریچه‌های قطاعی از نوع دریچه‌های زیرگذر هستند و به‌شکلی طراحی شده‌اند که نسبت به دریچه‌های کشویی با نیروی به مراتب کم‌تری حرکت کنند و از نظر سازه، دریچه‌های قطاعی نسبت به دریچه‌های کشویی هم اندازه، سبک‌تر بوده و ساخت و نصب آسان‌تری دارند. استفاده از این دریچه‌ها در شبکه‌های آبیاری کشور متداول بوده و کارگاه‌های مختلفی برای ساخت آن وجود دارد. شکل (۳-۱۲) و شکل (۳-۱۳) تاسیسات معمول این سازه‌ها را نشان می‌دهد.

از آنجایی که تقریبا تمام نیروهای هیدرولیکی وارده از جریان آب، توسط یاتاقان‌های چرخشی تحمل می‌شود، دریچه‌های قطاعی به راحتی حرکت می‌کنند. شکل (۳-۱۳) نشان می‌دهد که با اتصال کابل‌ها به لبه پایین دریچه‌ها می‌توان قرقره‌ها و شفت را در محل مناسب برای دسترسی آسان قرار داد. همین‌طور بخش بالای دریچه قطاعی، می‌تواند از محور نگهدارنده و چرخشی و بازوهای نگهدارنده بالاتر رود (شکل ۳-۱۲).

به‌علاوه، از آنجا که دریچه‌های قطاعی اصطکاک کمی دارند، نیازمند نیروی کم برای حرکت هستند. این بدین معنی است که هنگام پایین رفتن دریچه، زمانی که نیروی محرکه موتور قطع می‌شود، احتمال دارد دریچه چند سانتی‌متر بیش‌تر حرکت کند. در خودکارسازی، موتورها و عمل‌گرها باید به ترمز (یا جعبه‌دنده خاصی) مجهز شوند تا با توقف موتور (قطع انرژی از موتور)، بلافاصله حرکت دریچه متوقف شود. همچنین به دلیل ناچیز بودن نیروی لازم بالابر، امکان بهره‌برداری اضطراری با طراحی مناسب موتور و عمل‌گر در این شرایط وجود دارد.

شکل ۳-۱۲- دریچه‌های قطاعی در سد تنظیمی دز



شکل ۳-۱۳- دید پایین‌دست دریچه‌های قطاعی – شبکه آبیاری ورامین

۳-۳-۱-۴- دریچه سالونی

دریچه‌های سالونی، کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما از آنجایی که به دیواره‌های جانبی لولا می‌شوند (شکل ۳-۱۴) می‌توانند هم اجسام شناور در آب و هم بار بستر را عبور دهند. فشار وارده بر روی لولاهای این دریچه‌ها قابل توجه است و برای همین معمولا در اندازه‌های کوچک ساخته می‌شوند.

شکل ۳-۱۴- دید بالادست و پایین‌دست دریچه سالونی

۳-۳-۲- سازه‌های تنظیم خودکار بدون استفاده از RTU/PLC

اگرچه این دستورالعمل بر تجهیزات مبتنی بر کنترل RTU/PLC تمرکز دارد، اما لازم است به سازه‌های تنظیم متنوعی که از کنترل‌های الکتریکی و الکترونیکی استفاده نمی‌کنند نیز، اشاره شود. به‌دلیل سادگی، بسیاری از این دریچه‌ها در کانال‌های جدید و مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند و از آن‌ها می‌توان در موقعیت‌هایی که تنها کنترل سطح آب لازم است (مانند مخزن درون کانالی) با درنظر گرفتن دیگر سازه‌ها (مانند سرریز جانبی و ...) استفاده شوند. این سازه‌ها شامل سرریزهای لبه طولانی[1]، دریچه‌های هیدرولیکی (آمیل، آویس، آویو) هستند که به دلیل سادگی این دریچه‌ها در مقایسه با تجهیزات قابل کنترل با RTU/PLC، دارای دو ضعف اصلی هستند:

- عدم قابلیت کنترل آبدهی؛ هیچکدام از این دریچه‌ها به تنهایی نمی‌توانند یک مقدار دلخواه آبدهی را به کانال پایین‌دست عبور دهند.
- قابلیت تنظیم تراز سطح آب کانال تنها در یک مقدار هدف؛ دریچه‌های هیدرولیکی مذکور، تنها می‌توانند سطح آب را در یک مقدار مشخص تنظیم کنند.

۳-۳-۲-۱- سرریزهای لبه طولانی

به‌صورت گسترده‌ای در شبکه‌های داخلی از سرریزهای لبه طولانی، به دلیل هزینه پایین و سهولت بهره‌برداری و نگهداری، برای کنترل ساده سطح آب در بالادست استفاده می‌شود. تغییرات اندک عمق آب روی تاج سرریز با لبه طولانی، باعث تغییرات زیاد آبدهی شده و تنها موجب تغییرات اندکی در عمق آب در کانال می‌شود (شکل ۳-۱۵ و شکل ۳-۱۶ نمونه‌هایی را از موارد نصب‌شده نشان می‌دهد).

شکل ۳-۱۵- یک سرریز لبه طولانی با دریچه پاک‌سازی رسوب در انتهای میانه پایین‌دست

1- Long-Crested Weirs

شکل ۳-۱۶- سرریز لبه طولانی از نوع نوک‌مرغابی

۳-۳-۲-۲- دریچه‌های هیدرولیکی آمیل، آویس و آویو

دریچه‌های آویس و آویو برای کنترل پایین‌دست طراحی شده‌اند. دریچه‌های آویو در یک گشودگی تحت‌فشار (روزنه) و دریچه‌های آویس با یک سطح روباز آب عمل می‌کنند (شکل ۳-۱۷). دریچه آمیل برای کنترل بالادست طراحی شده‌است و تولید داخلی آن نیز در کشور وجود دارد.

طراحی آمیل، آویس و آویو بر اساس حضور زوج نیروهای تعادلی است. نیروی شناوری یک جسم شناور (در پایین‌دست برای دریچه‌های آویس و آویو و در بالادست برای دریچه‌های آمیل) یک نیروی رو به بالا را به یک قسمت از دریچه وارد می‌کند. از طرفی، وزن دریچه یک نیروی رو به پایین را که در مقابل نیروی رو به بالای شناوری، مقاومت می‌کند، اعمال می‌کند. این دریچه‌ها به‌شکلی طراحی می‌شوند تا محفظه آن‌ها را بتوان با وزنه‌هایی پر کرد تا زوج نیروی تعادلی لازم و درنتیجه آن موقعیت صحیح دریچه ایجاد شود. اگرچه یک مقدار رواداری در کنترل وجود دارد (سطح آب تحت کنترل تا حدی در دو حالت دریچه باز و بسته تغییر می‌کند؛ هرچه دریچه بزرگ‌تر باشد، رواداری کنترل بیش‌تر می‌شود)، با این‌حال کنترل سطح آب تا حد قابل قبولی دقیق است.

شکل ۳-۱۷- دریچه‌های آویس درشبکه آبیاری ورامین

افت بارآبی دریچه‌های آویس، آویو و آمیل، در طول سازه و درصورتی که به درستی اجرا شود نسبتا کم است. در شرایط بهره‌برداری از این سازه‌ها، سطح آب در رقوم تعیین‌شده نگه‌داشته خواهد شد و دیگر امکان تغییر آن وجود نخواهد داشت (شکل ۳-۱۸). بخش قطاعی این دریچه‌ها باید به‌شکل ذوزنقه‌ای ساخته‌شود، تا حتی در بازشدگی‌های کم، اطراف بخش قطاعی کاملا آزاد و بدون اصطکاک باشد. بدین جهت این دریچه‌ها به سازه‌های بتنی پشتیبان با ابعاد خاصی نیاز دارند و سازه بتنی باید با دقت ساخته شود. با توجه به گستردگی وجود سازه‌های آمیل در شبکه‌های آبیاری کشور، لازم است بررسی‌های لازم در مورد امکانات و محدودیت‌های بهره‌گیری از این دریچه‌ها در بهره‌برداری خودکار از شبکه صورت پذیرد. برای مثال در مواردی که بتوان آبگیرهای مرتبط با این دریچه‌ها را خودکار کرد، این سازه‌ها با ثابت نگه‌داشتن سطح آب (در اجرای مرحله‌ای خودکارسازی)، شرایط مطلوبی را برای این آبگیرها فراهم می‌کنند. یا در موقعیت‌هایی که تغییر سطح آب دائمی نیست، از این سازه‌ها در کنار دیگر سازه‌ها با قابلیت پایش و کنترل می‌توان شرایط را برای حالت‌های اضطراری یا ویژه مهیا کرد.

شکل ۳-۱۸- نمای بالادست دریچه آمیل در شبکه سفید رود گیلان (راست) و شبکه آبیاری قزوین (چپ)

۳-۳-۳- عمل‌گرهای دریچه

عمل‌گرهای الکتریکی جهت پایین دادن یا بالاکشیدن صفحه دریچه کشویی یا برای تنظیم گشودگی دریچه‌ها استفاده می‌شود. در انتخاب آن‌ها باید توجه داشت که در کیفیت، اطمینان و قابلیت‌های عمل‌گرهای موجود در بازار، تفاوت زیادی وجود دارد (شکل ۳-۱۹ تا شکل ۳-۲۰). در مناطقی که دسترسی به چنین مجموعه عمل‌گرهایی وجود ندارد، می‌توان از طراحی و سازنده‌های محلی برای تهیه تجهیزاتی که بتوانند وظایف مشابهی را انجام دهند، استفاده کرد. مجموعه تجهیزات غیرتجاری یا ساخته شده توسط امکانات محلی، در برخی مواقع گران‌تر از تجهیزات تجاری هستند و همچنین از تجربیات تولیدکننده‌های تجاری این‌گونه عمل‌گرها بی‌بهره‌اند. بااین‌حال، درصورتی که تجهیزات غیرتجاری به‌خوبی طراحی و با ابعاد دقیق ساخته شوند، می‌توانند کاربری قابل قبولی داشته باشند. مجموعه‌های غیرتجاری به‌ندرت دارای قابلیت کنترل گشتاور هستند. شکل (۳-۲۱) و شکل (۳-۲۲) نمونه‌ای از چنین عمل‌گرهای غیرتجاری ساخته شده را نشان می‌دهد.

با توجه به سوابق استفاده از عمل‌گرهای برقی دریچه در کشور، این عمل‌گرها معمولا توسط سازنده دریچه ساخته می‌شود. به هرحال درصورتی که عمل‌گرهای تجاری با کیفیت و قیمت مناسب در دسترس باشد استفاده از آن‌ها توصیه می‌شود. تجهیزات عمل‌گر دریچه‌ها باید شامل موارد زیر باشد.

- بسته‌های عیب‌یابی و نمایش
- حس‌گر موقعیت دریچه[1]
- الکتروموتور (موتورهای DC، یا موتورهای AC تک‌فاز یا سه‌فاز)

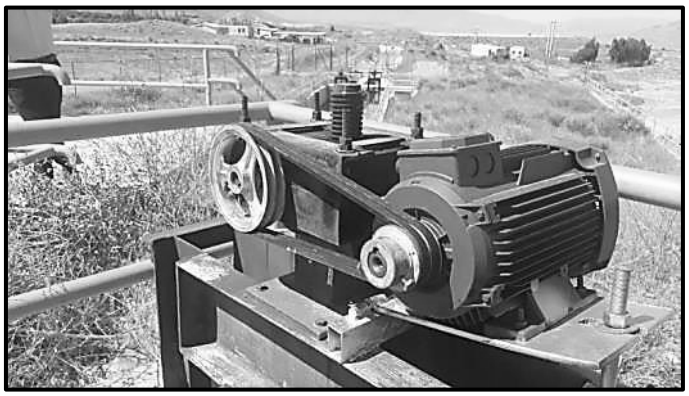
1- Gate Position Sensor

- جعبه دنده
- کلیدهای محدودکننده[1]
- حفاظ گشتاور (یا حفاظ جریان)
- فرمان دستی (یا اتصالات برای نصب فرمان دستی) برای استفاده در زمان بروز مشکل (مثلا قطع برق)

شکل ۳-۱۹- عمل‌گرهای دریچه‌های کشویی در ورودی مخزن تنظیمی

شکل ۳-۲۰- مجموعه عمل‌گر (در سمت راست) برای دریچه کشویی در شبکه ورامین

1- Limit Switches



شکل ۳-۲۱- عمل‌گر برقی یک دریچه کشویی در شبکه آبیاری زنوز در آذربایجان شرقی

شکل ۳-۲۲- عمل‌گر برقی دریچه قطاعی در شبکه آبیاری زنوز آذربایجان شرقی

هنگامی که برای تامین انرژی حرکتی دریچه و تجهیزات RTU/PLC دریچه‌های خودکار، از انرژی خورشیدی و باتری استفاده شود، به‌کارگیری عمل‌گرهایی با بازدهی بالا که برای حرکت نیاز به توان زیادی نداشته باشند، ضروری می‌شود. همچنین سهولت تطبیق موتورهای DC و ملزومات سرویس‌پذیری آن‌ها نیز باید درنظر گرفته شود. به‌ویژه آن‌که میزان انرژی مورد نیاز بیش‌تر با توجه به نوع طراحی دریچه تعیین می‌شود.

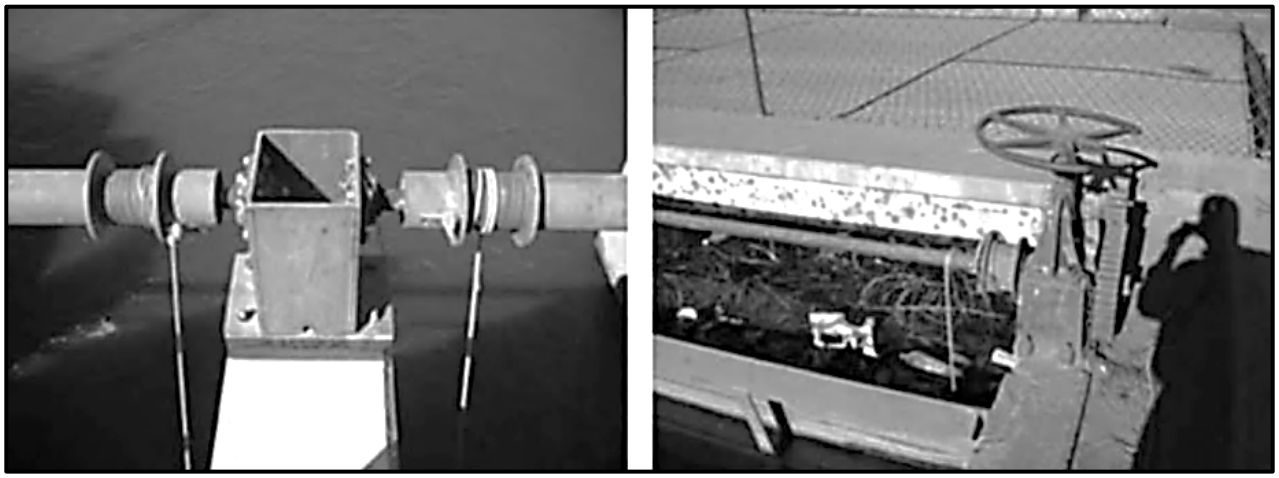
برای تمامی عمل‌گرها، رویه واسنجی حس‌گر وضعیت دریچه باید ساده باشد و به‌خوبی تعریف شود. به‌علاوه، برخی از متخصصین خودکارسازی، نصب حس‌گر اضافی وضعیت را در تمامی دریچه‌های خودکار برای شرایطی که حس‌گر اصلی دچار مشکل شود، یا برای مشاهده تفاوت بین دو حس‌گر (که نشان از بروز مشکل در یکی از حس‌گرها است)، لازم می‌دانند. معمولا در مجموعه عمل‌گرهای ارائه شده در بازار، حس‌گر اضافی وجود ندارد، درنتیجه مدیریت سامانه باید به ضرورت این امر واقف باشد و یک حس‌گر اضافی را نصب کند. برای تمامی تاسیسات، مشخصات فنی زیر لازم است:

- گشتاور مورد نیاز برای حرکت دریچه در شرایطی که بیش‌ترین فشار به دریچه وارد می‌شود.

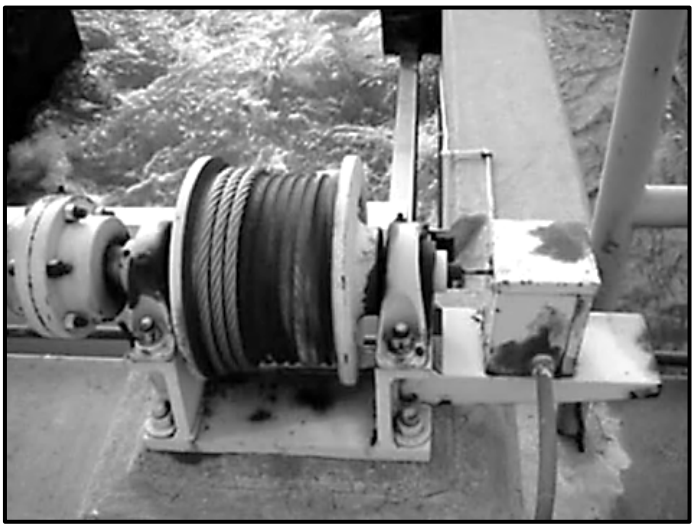
- داشتن کوچک‌ترین گام حرکتی برای کنترل دریچه که این موضوع به‌ویـژه در RTUهـایی کـه بـا اسـتفاده از PLC خودکارسازی انجام می‌دهند، اهمیت زیادی دارد.
- توانایی موتور و عمل‌گر برای توقف بی‌درنگ، هنگامی که رله‌های الکتریکی قطع می‌شوند.
- وضوح اندازه‌گیری گام (رزولوشن) حس‌گر که به کیفیت کنتـرل مـوردنظر وابسـته اسـت (بـرای مثـال، بـرای تشخیص وضعیت در بیش‌تر دریچه‌ها، یک حس‌گر 8-bit مناسب نیست).
- حداقل سرعت حرکت محور دریچه کشویی یا محور دریچه قطاعی؛ طراح بایـد آگـاهی کامـل از دامنـه بـیش‌تـرین مقدار حرکت دریچه در هرگام زمانی، که کنترل نیاز دارد و مقدار زمان لازم برای این مقدار حرکت را داشته باشد.
- قابلیت ذخیره وضعیت دریچه در حافظه توسط حس‌گرها درصورت قطع برق

برای دریچه‌های کشویی که معمولا دارای محور عمودی بوده و در راستای قائم نیز جابه‌جا می‌شوند، تعیین موقعیت دریچه با تعداد دور چرخش محور دریچه رابطه خطی و مستقیم داشته و تعیین موقعیت به راحتی انجام می‌شود. برای دریچه‌های شعاعی با توجه به رابطه غیرخطی بین میزان گشودگی دریچه با تعداد دور چرخش محور، لازم است موقعیت دریچه با تعداد دور چرخش محور در محل واسنجی شود.

حس‌گر وضعیت، مقدار حرکت عمل‌گر را به‌جای حرکت دریچه، اندازه می‌گیرد. بنابراین، برای دریچه‌هایی که با کابل جابه‌جا می‌شوند (دریچه‌های شعاعی و دریچه‌های روگذر و ...)، از آنجایی‌که میزان جابه‌جایی به میزان طول کابل جمع شده روی قرقره‌جمع‌کننده ارتباط دارد، نحوه قرارگیری کابل روی قرقره به صورت منظم و کنار هم بسیار مهم خواهد بود. قرقره‌ها باید دارای شیارهایی باشند تا هنگام چرخش، کابل به تداوم و به طورمنظم درون این شیارها قرار گیرد. همچنین، فرسایش کابل، در اثر طول عمر یا نگهداری نامناسب، می‌تواند موجب بروز خطا در تعیین وضعیت دریچه توسط حس‌گر شود. شکل‌های (۳-۲۳) و (۳-۲۴)، قرقره‌هایی را با شیار و بدون شیار نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۳- قرقره‌های بدون شیار کابل، روی هم قرارگرفتن کابل موجب ایجاد ناهماهنگی بین رابطه چرخش محور و حرکت کابل و دریچه می‌شود



شکل ۳-۲۴- قرقره دارای شیار برای اطمینان از جمع و بازشدن منظم و یک‌دست کابل

۳-۴- ابزاردقیق و اندازه‌گیری

ابزار دقیق به وسایل و ابزار صنعتی که برای کنترل و اندازه‌گیری دقیق کمیت‌های فیزیکی به کار برده می‌شوند، گفته می‌شود و از جمله آن‌ها حس‌گرها هستند. در این قسمت، ویژگی‌های ابزاردقیق که در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری رایج است، (به‌صورت اجمالی) توضیح داده می‌شود. ملاحظات عمومی برای استفاده از حس‌گرها به قرار زیر است:

- در طرح خودکارسازی، تعمیر یا بازتولید برخی تجهیزات اندازه‌گیری مانند حس‌گر سطح آب و حس‌گر وضعیت دریچه توصیه نمی‌شود، مگر این‌که تجهیزات جایگزین قابلیت کنترلی بهتری را فراهم کند و واسنجی آن‌ها به خوبی صورت پذیرد.
- حس‌گرها از انواع تجاری با کیفیت بالا استفاده شود.
- برای اندازه‌گیری‌های حساس در خودکارسازی، از حس‌گرهای اضافی با اعمال تنوع نسبت به حس‌گر اولیه استفاده شود.
- نحوه بازرسی و نگهداری حس‌گرها به راحت‌ترین شکل در نظر گرفته شود، به‌گونه‌ای که در صورت خارج‌کردن حس‌گر برای نگهداری و تعمیر، امکان نصب مجدد آن‌ها در محل یا سوارکردن درون نگهدارنده به نحوی که دقیقا در همان موقعیت قبلی اندازه‌گیری قرار بگیرند، وجود داشته باشد.
- قطعات یدکی به مقدار کافی تهیه شود، تا در زمان آسیب یا خرابی تجهیزات به سرعت بتوان آن‌ها را جایگزین کرد.
- باید یک گروه آموزش‌دیده، مجهز، با ثبات، با انگیزه و سیار را که بتواند تجهیزات دارای مشکل را تشخیص و تعمیر یا جایگزینی آن‌ها را انجام دهند، در پروژه حضور داشته باشد.

- فرایند و روش واسنجی کردن حس‌گرها درنظر گرفته شود. برای مثال آیا می‌توان حس‌گر وضـعیت دریچـه را، هنگامی که آب داخل کانال است، تعویض و واسنجی کرد؟

حس‌گرها دارای ویژگی‌های مهمی به شرح زیر هستند که باید درنظر گرفته شوند:

۱- **وضوح اندازه‌گیری**[1]؛ کوچک‌ترین تغییر قابل اندازه‌گیری توسط حس‌گر برای متغیر موردنظر است. برای مثال وسیله اندازه‌گیری با دقت ۰/۱mm دارای وضوح اندازه‌گیری ۱۰برابر بهتر نسبت به وضوح اندازه‌گیری ۱/۰mm است. وضوحی که در اندازه‌گیری توسط حس‌گرهای الکترونیک به‌دست می‌آید، به شدت به موارد زیر بستگی دارد.

الف- تعداد بیت‌ها به‌دقت حس‌گر و وضوح اندازه‌گیری مورد نیاز بستگی دارد. بیت‌ها تعداد فضاهای باینری هستند که به یک‌بار قرائت متغیر، اختصاص داده می‌شود. اعداد باینری تنها از صفر و یک ساخته می‌شوند (تعداد ترکیب ممکن از صفرها و یک‌ها برابر 2^{bits}). یک مثال از یک عدد ۳-بیتی، ۰۱۰ است. هشت احتمال (2^3) برای اعداد ۳بیتی وجود دارد: ۰۰۰، ۰۰۱، ۰۱۰، ۰۱۱، ۱۰۱، ۱۱۰ و ۱۱۱. بنابراین، یک سیگنال ۳-بیتی دارای دقت بسیار کمی است، چراکه تنها ۸ مقدار خروجی مختلف را در هر مرتبه قرائت متغیر توسط حس‌گر داشته باشد. درنتیجه اگر محدوده اندازه‌گیری حس‌گر ۷۰سانتی‌متر باشد، مبدل آنالوگ یا دیجیتال دارای وضوح اندازه‌گیری (رزولوشن) ۱۰سانتی‌متری خواهد بود (۰، ۱۰، ۲۰ الی ۷۰سانتی‌متر). برای هر یک بیت، دقت اندازه‌گیری دو برابر می‌شود. عموما وضوح اندازه‌گیری، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۳۲ بیتی است و در خودکارسازی‌های نوین، حداقل وضوح مورد نیاز با تجیهزات ۱۶ بیتی تامین می‌شود. مقداری از این بیت‌ها اغلب برای «سربار[2]» دستگاه‌ها استفاده می‌شود.

ب- محدوده اندازه‌گیری حس‌گر[3]؛ این کمیت، تفاوت بین یک حس‌گر ۳۰-۰ سانتی‌متر و ۳-۰ متر را نشان می‌دهد. برای یک مقدار بیت ثابت، حس‌گر ۳۰-۰ سانتی‌متر دارای وضوح اندازه‌گیری ۱۰ برابر بهتر است. به‌عبارتی، اگر محدوده مورد انتظار بازشوندگی دریچه ۳۰سانتی‌متر باشد، نباید یک حس‌گر با محدوده پوشش ۳ متر تهیه شود.

۲- **دقت (صحت)**[4]؛ نسبت بین خطا و حداکثر مقدار قابل قرائت یا نسبت بین خطا و مقدار قرائت شده به درصد است. برای مثال، یک دستگاه ممکن است دقیق باشد اما اطلاعات نادرستی را در موقعیت نصب‌شده ارائه‌دهد.

1- Resolution
2- Overhead
3- Span of Sensor
4- Accuracy

ممکن است از یک حس‌گر دقیق سطح آب استفاده شود، اما از آنجا که کنترل به طور معمول بر اساس ارتفاع نسبی سطح آب است، نه عمق واقعی آب روی ترانسدیوسر فشار حس‌گر؛ بنابراین، واسنجی در محل نصب برای تبدیل عمق دقیق آب روی مبدل فشار حس‌گر به مقدار ارتفاع نسبی با درستی مناسب ضروری است.

۳- **خطی‌بودن**[1]؛ خطی بودن به مفهوم نزدیکی منحنی واسنجی به یک خط معین است. در انتخاب باید توجه شود که حس‌گرهایی کارکرد مطلوب دارند که دارای برازش عالی خطی باشند.

۴- **هیسترزیس**[2]؛ حداکثر اختلاف در خروجی هر کمیت اندازه‌گیری‌شده (شی، موقعیت یا وضعیت) در یک محدوده مشخص، زمانی‌که مقدار آن کمیت در جهت افزایشی و کاهشی اندازه‌گیری‌شود، است. به عبارت دیگر، آیا حس‌گر در هر دو جهت که سطح آب پایین برود یا بالا بیاید، یک مقدار یکسان را برای تراز سطح آب، اندازه‌گیری (قرائت) می‌کند؟

۵- **تکرارپذیری**[3]؛ قابلیت یک مبدل برای تکرار مقادیر قرائت‌شده خروجی است، هنگامی که کمیت اندازه‌گیری (موقعیت، شی و وضعیت)، در زمان‌های متوالی و در شرایط و جهت اندازه‌گیری یکسان، اندازه‌گیری شود. این مساله در تجهیزات اندازه‌گیری صوتی داپلر و زمان‌گذر، که در خروجی آن‌ها «اغتشاش[4]» قابل توجهی وجود دارد، توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. صد قرائت پیوسته در محدوده زمانی ۳۰ ثانیه ممکن است دارای «ضریب تغییرات[5]» ۱/۰ یا بیش‌تر باشد؛ بنابراین، روش میانگین‌گیری خروجی برای رسیدن به کنترل پایدار لازم است.

۶- **انواع سیگنال‌های خروجی حس‌گرها**[6]؛ از لحاظ فنی، خروجی یک مبدل، ولتاژ و خروجی یک فرستنده، جریان است. این راهنما به هر دو مبدل و فرستنده به عنوان «حس‌گر» اشاره می‌کند و گاهی اوقات اصطلاحات «مبدل» و «فرستنده» به طور متناوب استفاده می‌شود.

الف- ولتاژ (پتانسیل) خروجی معمولا بین ۰ تا ۵ ولت یا ۰ تا ۱۰ ولت هستند و مقادیر معمول جریان‌های خروجی هم بین ۴ تا ۲۰میلی‌آمپر است. برای مثال، خروجی متناسب با سطح آب است که معمولا در پایین‌ترین سطح آب برابر با ۴ میلی‌آمپر یا صفر ولت و در بالاترین سطح قابل قرائت ۲۰ میلی‌آمپر یا ۵ ولت است. برخی از حس‌گرهای سطح آب را می‌توان با خروجی‌های ولت،V، میلی‌ولت، mV و میلی‌آمپر، mA تهیه کرد. درهر صورت، قدرت سیگنال خروجی با عمق یا سطح آب اندازه‌گیری‌شده متناسب است. اگرچه برخی از

1- Linearity
2- Hysteresis
3- Repeatyability
4- Noise
5- Coefficient Variation
6- Sensor Output Signal Type

حس‌گرها به طور پیوسته مقدار سطح آب را قرائت نمی‌کنند (تاخیر زمانی دارند)، تمامی سیگنال‌های ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر و ۰ تا ۵ ولت پیوسته هستند. در برخی از حس‌گرهای آلتراسونیک و حباب‌ساز، هنگامی که برق برای بار اول تامین می‌شود، ممکن است، قرائت و ایجاد خروجی تا یک دقیقه طول بکشد. اما در مبدل‌های مستغرق و شناورها، با وصل برق تقریبا بلافاصله قرائت را شروع می‌کنند.

ب- یک خروجی جریان بر حسب میلی‌آمپری، مزایای زیادی دارد. یک خروجی ولتاژی، به نویز ایجاد شده روی خط توسط موتورها، شیرهای برقی، خطوط انتقال اطلاعات و تجهیزات الکتریکی دیگر حساسیت بیش‌تری دارد. افزون بر این که مقاومت ذاتی کابل انتقال اطلاعات، متناسب با طول کابل، باعث از دست‌رفتن سیگنال ولتاژی می‌شود. هنگامی که مقاومت داده‌نگار و منبع انرژی نیز درنظر گرفته شود، مشخص می‌شود که مقدار قابل توجه‌ای از سیگنال ولتاژی بین حس‌گر و محل قرائت افت می‌کند. برعکس، دستگاه‌های با خروجی جریان، یک جریان ثابت را، مستقل از مقاومت، فراهم می‌کنند. علاوه بر این، کابل‌های mA را می‌توان برای صدها متر استفاده کرد؛ درحالی‌که کابل‌های سیگنال ولتاژی باید بسیار کوتاه باشد.

۷- **پروتکل‌های ارتباطی**[1]؛ مجموعه‌ای از قوانین و قالب‌ها است که شکل ارتباطی یک جزء اطلاعات را تعیین می‌کنند و امکان تبادل ارتباط معنادار را بین دستگاه‌های مشخصی مانند حس‌گر و داده‌نگار ایجاد می‌کند. به‌عبارتی، این یک زبان الکترونیکی است که برای ارتباط دستگاه‌ها با یکدیگر استفاده می‌شود و درنتیجه دستگاه‌ها در دو سمت این ارتباط باید پروتکل ارتباطی یکسانی را درک کنند.

۸- **حساسیت دمایی**؛ سه نکته در ارتباط با حساسیت دمایی باید مدنظر قرار گیرد:

الف- تمامی حس‌گرها باید محدوده دمایی مناسبی را منطبق بر شرایط واقعی کار در محل داشته باشند. معمولا در پروژه‌های آبیاری، دمای واقعی محیط (به‌ویژه در اتاقک یا تابلوهایی با عایق‌بندی ضعیف) می‌تواند زیاد باشد و لازم است در تهیه حس‌گرها این دمای واقعی مدنظر قرار گیرد.

ب- سیگنال در برخی از حس‌گرها با تغییرات دمایی، دچار اختلال می‌شود.

ج- بیش‌تر حس‌گرهای آلتراسونیک، تنظیم‌کننده‌های داخلی جبران‌کننده دمایی دارند که تغییرات سرعت صوت در هوا با دماهای مختلف را تصحیح می‌کند. این حس‌گرهای دمایی، معمولا داخل حس‌گر اصلی قرار دارند؛ به‌این ترتیب، حس‌گری که داخل محفظه بسته باشد، ممکن است در دمایی بیش‌تر از دمای خنک اطراف سطح آب قرار گیرد.

1- Communications Protocols

۳-۴-۱- اندازه‌گیری تراز آب

در حال حاضر پنج فناوری اصلی برای اندازه‌گیری سطح آب در پروژه‌های خودکارسازی آبیاری وجود دارد:

- مبدل مستغرق فشار
- حس‌گر آلتراسونیک بالای سطح آب، با دید رو به پایین
- حباب‌ساز با مبدل بالای سطح آب (شکل ۳-۲۵)
- شناور با کابل و پتانسیومتر خطی
- حس‌گر راداری بالای سطح آب، با دید رو به پایین (کم‌تر رایج است) (شکل ۳-۲۶)

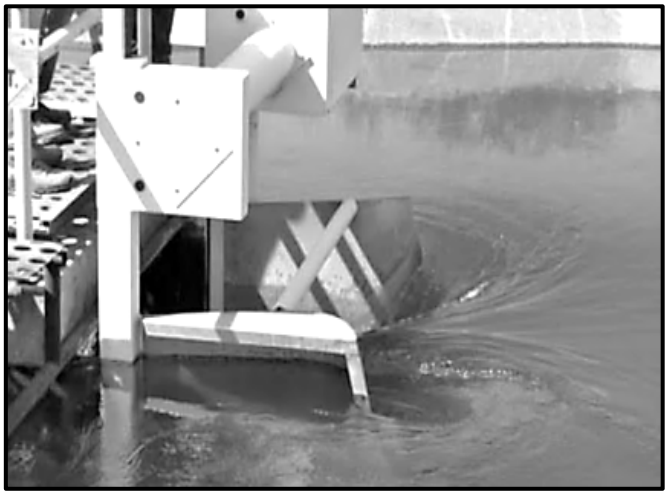
همان‌طور که قبلا ذکر شد، تمایز بین حس‌گرها، بیش‌تر در مرغوبیت خود حس‌گر و کیفیت نصب آن‌ها است تا نوع و فناوری حس‌گر. مشخصات تجاری زیادی برای هر یک از فناوری‌ها وجود دارد. برخی از ویژگی‌های مهم چهار فناوری رایج در جدول (۳-۱) ذکر شده است.

۳-۴-۱-۱- محل نصب حس‌گرهای سطح آب

حس‌گر تراز سطح آب باید در موقعیت معین نصب شود. برای مثال، اگر هدف اندازه‌گیری تراز آب در بالادست آبگیر یک سازه تنظیم باشد، محل صحیح نصب حس‌گر جایی است که سطح آب در آنجا با آبگیر یکسان باشد. ساده‌ترین راه، نصب حس‌گر بر روی سازه و بلافاصله در بالادست دریچه است، اما بسته به سرعت آب در آن نقطه، احتمال تغییرات سطح آب در آن بسیار زیاد است (شکل ۳-۲۷)، درنتیجه محل نصب باید عاری از این تغییرات باشد. در پایین‌دست نیز، حس‌گر باید با فاصله‌ای نصب شود تا از تلاطم و نوسانات سطح آب دور باشد، ولی از طرفی آنقدر دور نصب نشود تا اثر اصطکاکی کانال قابل‌توجه شود.

شکل ۳-۲۵- سطح‌سنج آب حباب‌ساز در داخل یک تابلو RTU.

شکل ۳-۲۶- نمونه‌ای از اندازه‌گیر تراز سطح آب راداری.



شکل ۳-۲۷- همگرایی و نوسان آب در ورودی یک دریچه، محدوده غیرمجاز نصب و استقرار حس‌گر

جدول ۳-۱- تفاوت بین چهار فناوری رایج در اندازه‌گیری تراز آب

	فناوری			
ملاحظات	**مبدل فشار مستغرق**	**حس‌گر آلتراسونیک/راداری بالای سطح آب، با دید رو به پایین**	**حباب‌ساز با مبدل بالای سطح آب**	**شناور با کابل و پتانسیومتر خطی داخل چاهک آرامش**
حساسیت به لجن	زیاد	ندارد	ندارد	متوسط-ایجاد تغییر در وزن شناور
حساسیت به یخ‌زدگی	می‌تواند زیاد باشد	ندارد	ندارد (حس‌گر با آب تماس ندارد)	ندارد
نیاز به چاهک آرامش	ندارد	ندارد	ندارد	دارد
حساسیت به دما	کم	در برخی از مدل‌ها زیاد (برای رادار کم)	کم	کم
سهولت نصب و واسنجی	ساده	ساده	در قیاس دارای اجزا زیادی است	وابسته به نوع طراحی
جای‌گذاری (ابعاد)	مشکل‌ندارد	بسته به زاویه و حساسیت به اختلال در اطراف چاهک آرامش	مشکل‌ندارد	نیاز به شناور بزرگ (قطر کمینه ۲۵cm)کاهش اثر هیسترزیس
نیاز به برق	بسیار کم	در برخی طراحی‌ها کم، در برخی زیاد	در برخی طراحی‌ها کم، در برخی زیاد	بسیار کم
حساسیت به اجسام شناور در سطح و کف	ندارد	خیلی زیاد	ندارد	بسیار کم
ملاحظات دیگر		لازم است بالای عمیق‌ترین قسمت و با فاصله از سطح آب قرار گیرد (فضای خالی)	اختلاف زیاد در چگونگی تخلیه هوای خط لوله و برق مصرفی و اطمینان دستگاه	

۳-۴-۱-۲- چاهک آرامش[1] (چاهک اندازه‌گیری)

به استثنای شناور با حس‌گر کابلی، دیگر حس‌گرها معمولا نیازی به چاهک آرامش برای اندازه‌گیری ندارند. با این حال، چاهک‌های آرامش در کناره کانال‌ها، امکان دسترسی آسان، حفاظت در مقابل خراب‌کاری و پیش‌گیری از آسیب در هنگام تمیزکردن کانال را فراهم می‌کند.

چاهک‌های آرامش به طور سنتی دقیقا برای همان چیزی که از نام آن‌ها مشخص‌است استفاده می‌شدند: تا امواج را آرام و نوسانات را کم کنند، به طوری که قرائت اشل اندازه‌گیری با دقت و بدون این‌که میزان آب به طور مرتب نوسان کند، انجام‌شود. بنابراین، در چاهک‌های آرامش تمرکز بر ساخت لوله طولانی با قطر کم برای ارتباط کانال و چاهک آرامش عمودی با قطر بزرگ بود (شکل ۳-۲۸). نصب حس‌گرهای سطح آب برای خودکارسازی دریچه‌ها یا پمپ‌ها در این نوع از چاهک‌های آرامش می‌تواند بسیار مشکل‌ساز باشد و احتمال عدم انعکاس تغییرات سطح آب در کانال وجود دارد. به علت تاخیر در پاسخ به نوسانات ایجاد شده، ممکن است در بازه‌های زمانی کوچک تعیین شده برای حس‌گر، هم‌زمان با کاهش سطح آب در کانال، سطح آب در چاهک آرامش افزایش یابد. بنابراین، موارد زیر به عنوان دستورالعمل ساخت چاهک‌های آرامش (اندازه‌گیری) برای خودکارسازی ارائه می‌شود:

- نصب در محل مناسب (شکل ۳-۲۹)
- لوله ورودی به چاهک آرامش به خوبی با دیوار کانال ترازشده و به داخل آن وارد نشده باشد.
- اگر سطح آب کانال سریع تغییر می‌کند، قطر لوله ورودی به چاهک آرامش نباید کم‌تر از ۲۵٪ قطر چاهک آرامش باشد. چاهک‌های آرامش با حس‌گرهای ترازسنج آب، بیش‌تر چاهک اندازه‌گیری هستند تا چاهک آرامش، چراکه تجهیزات الکترونیکی می‌توانند با میانگین گرفتن، مقدار تراز صحیح را بسنجند.
- لوله ورودی چاهک اندازه‌گیری باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر بالاتر از کف چاهک باشد (نه در کف)، تا اجازه نشست رسوب فراهم شود.
- لوله ورودی چاهک اندازه‌گیری، باید بالاتر از کف کانال باشد تا از ورود مقادیر زیاد ماسه و گل و لای جلوگیری شود.
- برای شستشوی متناوب چاهک اندازه‌گیری و لوله وروی به آن یک برنامه زمانی و نحوه عمل تعریف شود.
- بر روی درب بالایی چاهک اندازه‌گیری مجرای هوا در نظر گرفته شود.

1- Stilling Well

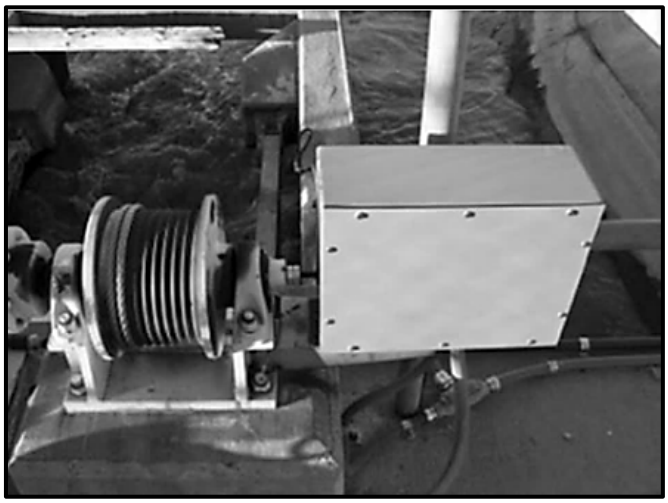
شکل ۳-۲۸- قطر نامناسب لوله ورودی اتصال به چاهک آرامش برای خودکارسازی

شکل ۳-۲۹- چاهک اندازه‌گیری در کنار یک سازه خودکار در موقعیتی با سرعت جریان کم در یک کانال آبگیری‌نشده؛ مناسب قرائت سامانه خودکار

۳-۴-۲- حس‌گرهای وضعیت دریچه‌ها

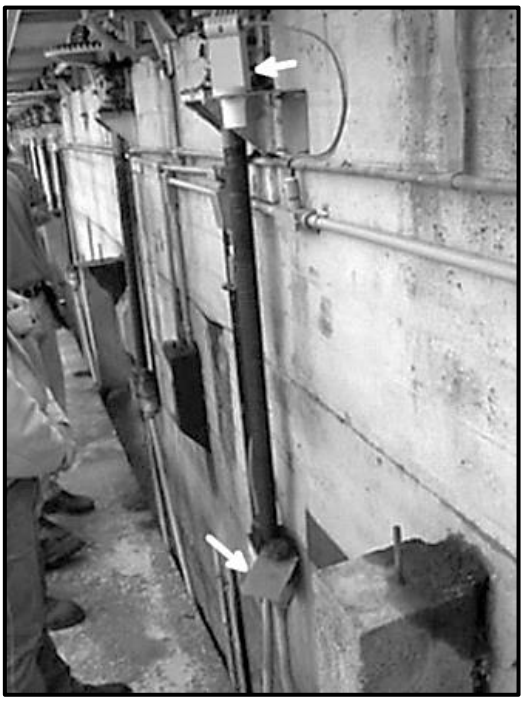
درحال‌حاضر چهار فناوری اصلی در اندازه‌گیری وضعیت دریچه‌ها در پروژه‌های آبیاری خودکار به‌کار می‌روند:

- رمزنگار[1] چرخش محورها را مانند دروازه‌های شعاعی اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۳-۳۰)؛ چنین رمزنگارهایی همیشه باید «رمزنگار مطلق» باشند، چرا که رمزنگارهای مطلق[2]، دارای یک کد اختصاصی برای هر وضعیت محور هستند و در مواقع قطع منبع انرژی، می‌توانند آن را درحافظه نگه‌دارند.
- برخی حس‌گرهای آلتراسونیک که به شکل ثابت روی قاب دریچه‌ها نصب می‌شوند، فاصله بین حس‌گر و بخش متحرک دریچه را تشخیص می‌دهند. این نوع از حس‌گرها، اغلب در دریچه‌های کشویی استفاده می‌شود (شکل ۳-۳۱).
- پتانسیومترهای خطی دارای کابل (شکل ۳-۳۲)؛ یک سمت کابل به بخش متحرک دریچه وصل می‌شود، درحالی‌که انتهای دیگر، به پتانسیومتر خطی وصل است. این حس‌گرها در محور دریچه‌های کشویی و قطاعی استفاده می‌شوند و گاهی نیز به صفحه سپر دریچه قطعاتی متصل می‌شود. این تجهیزات در شرایط دمایی مختلف دچار اختلال می‌شوند.
- شیب‌سنج‌ها[3] که روی قسمتی از قاب دریچه قطاعی نصب می‌شود، زاویه قاب دریچه را اندازه‌گیری می‌کند. این فناوری بسیار غیرمتداول است. اگرچه در برخی از گزارش‌ها، استفاده موفق از این دستگاه‌ها ارائه شده، اما معمولا استفاده از آن‌ها دقیق نبوده و ممکن است نتایج در شرایط یکسان متغیر باشد.



شکل ۳-۳۰- حس‌گر رمزنگار (داخل جعبه) اندازه‌گیری مقدار چرخش در انتهای محور دریچه قطاعی

1- Encoder
2- Absolute encoder
3- Inclinometer



شکل ۳-۳۱- حس‌گر آلتراسونیک (نشان‌گر بالا)، ناظر حرکت نشان‌گر دریچه کشویی (نشان‌گر پایین)

شکل ۳-۳۲- پتانسیومتر خطی و کابلی

۳-۴-۳- اندازه‌گیری آبدهی مجاری انتقال آب

روش‌های اندازه‌گیری شدت جریان، متنوع هستند که همه آن‌ها به تفصیل در ضابطه شماره ۸۳۳ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «ضوابط انتخاب و بهره‌برداری از تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی» ارائه شده است.

۳-۵- پمپ‌ها

پمپ‌ها بخش جدایی‌ناپذیر بسیاری از طرح‌های خودکارسازی هستند که باید آب را با آبدهی‌های متغیر دریافت یا عرضه کنند، که این آبدهی‌ها می‌تواند به‌صورت لحظه‌ای و ناگهانی تغییر کند.

مطالب زیادی درباره پمپ‌ها وکنترل آن‌ها منتشر شده، اما برای بسیاری از پروژه‌های آبیاری ملاحظات خاصی، مهم می‌شود. در پروژه‌های آبیاری که آب را به کانال انتقال می‌دهند، کنترل آبدهی پمپ‌ها، معمولا پیچیده است. منطق کنترلی پیچیده‌ای که پیش‌تر برای شرایط دریچه‌های کانال مورد بحث قرارگرفت، برای پمپ‌ها نیز صادق است؛ با این تفاوت که به‌جای بازشدگی دریچه، مقدار آبدهی پمپ باید تغییر کند. این نوع از کنترل با بیش‌تر پروژه‌های عمرانی که در آن‌ها پمپ‌ها آب را به لوله‌های تحت‌فشار انتقال می‌دهند، و تنها با یک دکمه خاموش و روشن کار می‌کنند، متفاوت است. برای تغییر آبدهی پمپ در انتقال آب لازم است از کنترل‌گرهای با درایو فرکانس متغیر (VFD[1]) استفاده شود. با استفاده از درایو معمولا نیازی به مدل‌سازی هیدرولیکی نیست. توابع کنترل PID (تناسبی، انتگرالی، مشتق‌گیر) که در صفحه کنترل بسیاری از درایوها VFD به‌صورت استاندارد وجود دارند، بسیار ساده‌اند و به‌راحتی با چند مرتبه سعی و خطا تنظیم می‌شوند.

با این‌حال، الگوریتم کنترل آبدهی پمپ برای کنترل سطح در بیش‌تر کانال‌ها، بسیار پیچیده است و توسط کنترل‌گرهای ساده PID داخل VFD، انجام‌پذیر نیست. برای پردازش داده‌های حس‌گر اندازه‌گیری، تعیین سرعت و ترتیب کارکرد پمپ‌ها و انتقال آن به کنترل‌گر VFD، یک RTU مجهز به PLC مجزا مورد نیاز است.

۳-۵-۱- کنترل آبدهی متغیر

چهار روش برای کنترل دقیق آبدهی در ایستگاه‌های پمپاژ در پروژه‌های آبیاری استفاده می‌شود:

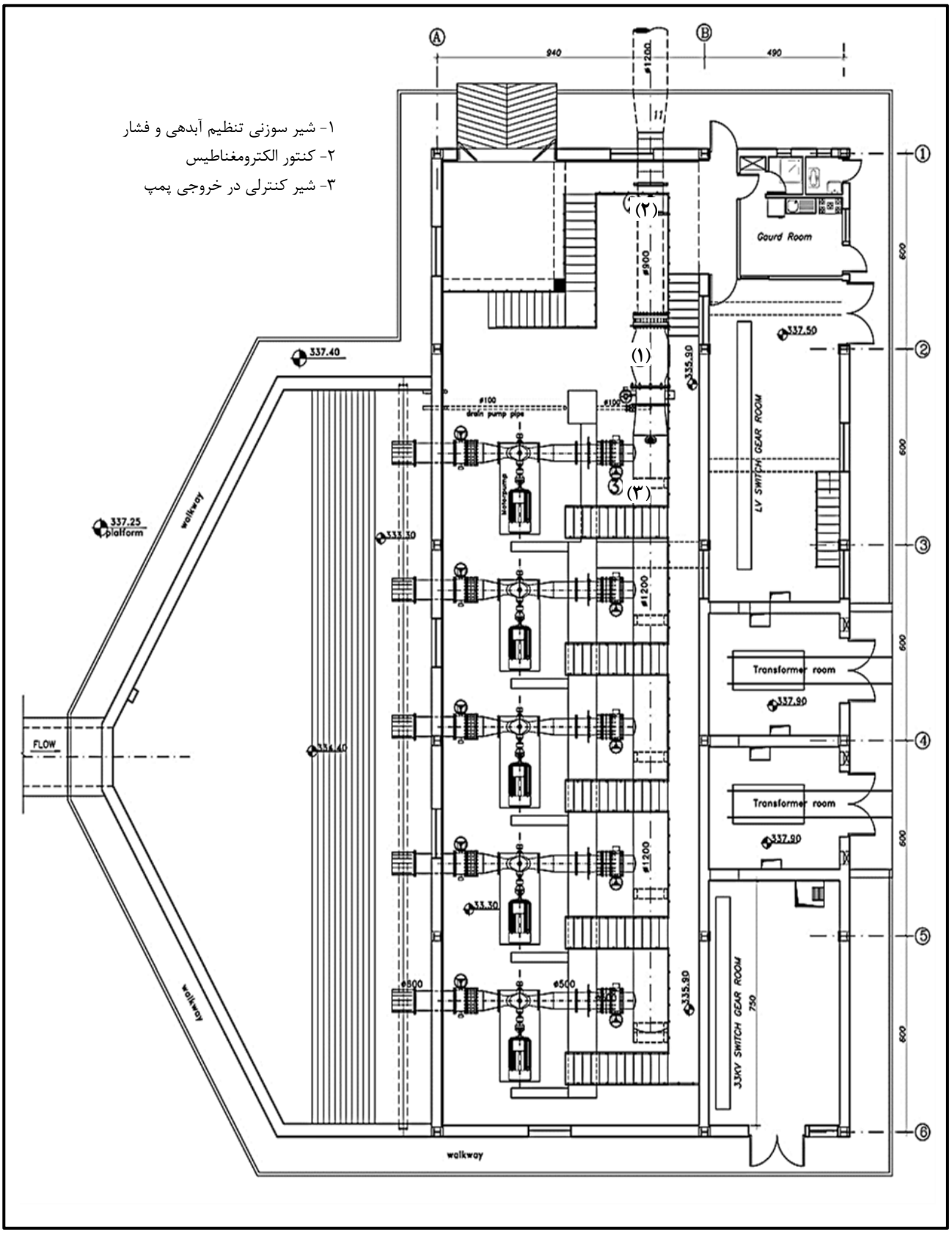
۱- **برگشت آبدهی اضافی** (شکل ۳-۳۳)؛ پمپ‌ها با آبدهی ثابتی کار می‌کنند و مقدار مازاد آب بازگشت داده می‌شود. جریان بازگشتی را می‌توان توسط یک شیر تنظیمی در خروجی پمپ کنترل کرد، یا توسط سرریز تخلیه به ورودی کانال برگرداند. این روش با استفاده از سرریز می‌تواند بسیار ساده باشد. اگرچه در این شرایط هدررفت انرژی زیاد خواهد بود، اما در شرایطی که پمپ تک سرعته جریان محوری یا جریان مخلوط استفاده شود، راه دیگری نیز نخواهد بود. این نوع پمپ‌ها که برای ارتفاع‌های نسبتا کم پمپاژ (حدود ۱۰ متر) استفاده

1- Variable Frequency Drive

می‌شوند و درصورتی‌که برای کاهش آبدهی، آبگذری شیر خروجی پمپ کاهش داده شود، موجب افزایش فشار بر روی موتور خواهد شد.

شکل ۳-۳۳- سرریز تخلیه در بازه کانال پایین‌دست ایستگاه پمپاژ که آب را به ورودی بازه کانال هدایت می‌کند

۲- **نصب یک شیر تنظیمی در بخش خروجی پمپ** (شکل ۳-۳۴)؛ این روش، همان‌طور که ذکر شد، برای پمپ‌های جریان- محوری و جریان- مخلوط مناسب نیست. اما با نصب شیر تنظیمی روی یک پمپ گریز از مرکز (جریان شعاعی)، به توان ورودی کم‌تری نسبت به بازگرداندن مجدد جریان آب نیاز است و با تجهیز شیر تنظیمی به یک عمل‌گر، می‌توان آن را خودکار کرد. در مورد پمپ‌های عمودی تک‌سرعته مجهز به شیر تنظیمی، با توجه به فشار زیادی که پروانه آن‌ها تولید می‌کند، ممکن است در یاتاقان‌های رانش موتور دچار خرابی شوند. درصورتی که شرایط فشار پمپ، قبل از سفارش خرید محاسبه شود و یاتاقان‌های مناسبی به‌کار رود، از وقوع چنین مشکلی پیشگیری خواهد شد. لازم به ذکر است که استفاده از شیرهای کنترلی علاوه بر اتلاف انرژی، هزینه اولیه نسبتا بالایی دارند.



شکل ۳-۳۴- جانمایی شیر تنظیمی در خروجی پمپ به کلکتور در ایستگاه پمپاژ

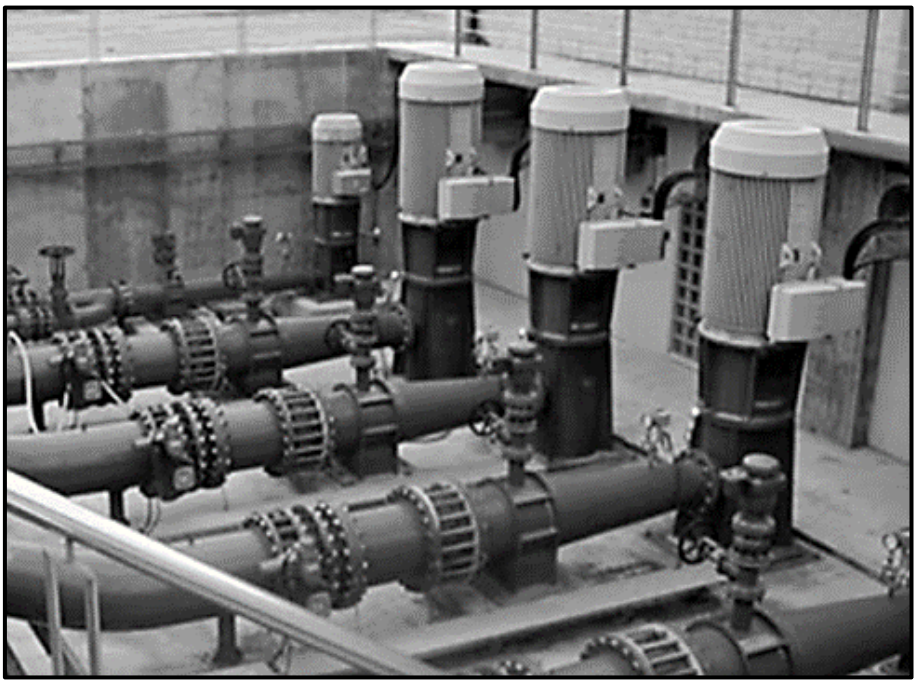
۳- **پمپ‌های تک سرعته ترتیبی** (شکل ۳-۳۵ و شکل ۳-۳۶)؛ تعداد کافی از پمپ‌های موازی که به‌ترتیب روشن یا خاموش می‌شوند، می‌توانند آبدهی را با دقت خوبی تنظیم کنند. تعداد پمپ به میزان تغییرات مجاز سطح آب در کانال وابسته است. به‌شکل نظری، بهره‌برداری از این پمپ‌ها ساده است: با افزایش تراز آب در سمت مکش، پمپ‌ها به تدریج وارد مدار و با کاهش تراز آب پمپ‌ها به تدریج خاموش و از مدار خارج می‌شوند. با تعریف تراز آب در حوضچه مکش، یا رانش تعداد موتورپمپ‌های در حال کار تعریف خواهند شد.

با این وجود، به جزییات زیادی باید توجه شود. برای مثال، باید در یک بازه کانال، فاصله مناسبی بین بیش‌ترین و کم‌ترین تراز سطح آب برای یک پمپ وجود داشته باشد تا از روشن‌شدن بیش از ۵ بار در ساعت جلوگیری کرد (دفعات مجاز روشن شدن به قدرت موتور بستگی دارد). این ملاحظه از استهلاک و داغ شدن بیش از حد موتورها جلوگیری می‌کند. رابطه مناسب برای تعیین این فاصله به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$V = 900\,Q / n \qquad (۱-۳)$$

که در آن V، ظرفیت حجمی لازم بازه بین دو سازه کنترلی به مترمکعب، Q، مقدار آبدهی پمپ (CMS) و n تعداد دفعات مجاز روشن‌شدن موتورها در ساعت است.

شکل ۳-۳۵- چند پمپ موازی در کنار هم، ایستگاه پمپاژ رودخانه سیمره



شکل ۳-۳۶- چند پمپ موازی در ایستگاه پمپاژ در Torres de Serge اسپانیا

۴- **استفاده از پمپ‌های دور متغیر**؛ دو نوع چیدمان معمول وجود دارد:

- تمامی پمپ‌ها مجهز به درایو دور متغیر باشند. درایوها، کنترل‌کننده فرکانس متغیر برای یک موتور الکتریکی خاص هستند. این پیکربندی، ساده‌ترین چیدمان برای خودکارسازی است. به‌علاوه، این روش برای تمامی شرایطی که پمپ‌ها از خطوط لوله تحت‌فشار ورودی می‌گیرند، پیشنهاد می‌شود، چراکه در این شرایط از مشکل ضربه چکشی آب (ضربه قوچ) جلوگیری می‌شود. باید توجه شود که در شرایطی که تمام پمپ‌ها به درایو دور متغیر مجهز باشند، مسائل مرتبط با تامین برق، ازجمله تشدید هارمونیک در شبکه برق، باید به دقت در طراحی درنظر گرفته شود.
- یک یا دو عدد از پمپ‌ها با سرعت متغیر باشند و مابقی آن‌ها سرعت ثابت داشته باشند. این ترکیب زمانی کاربردی است که هر پمپ دارای لوله تخلیه مجزا به کانال باشد. در شکل (۳-۳۷) نمونه‌هایی از ایستگاه پمپاژ موازی با ترکیب موتورهای مختلف مشاهده می‌شود؛ پمپ یا پمپ‌هایی که در فرکانس کمی بالاتر از حداکثر سرعت پمپ‌های دیگر کار کنند، توسط درایو فرکانس متغیر کنترل می‌شوند.

شکل ۳-۳۷- نمونه‌هایی از ایستگاه پمپاژ موازی با ترکیب مختلفی از پمپ/پمپ‌های مجهز به VFD

- چند نمونه ازکنترل آبدهی در شبکه‌های داخل کشور

اکثر پمپ‌های مورد استفاده در طرح‌های آبیاری در سطح کشور، پمپ تک سرعته است. در شرایط استفاده از پمپ‌های تک سرعته با توجه به تغییرات و توزیع ماهانه معنی‌دار آب مورد نیاز شبکه‌ها، معمولا در ایستگاه‌های پمپاژ از تعدادی از پمپ‌ها به صورت موازی استفاده می‌شود. در این حالت تعدد پمپ‌ها امکان تطابق محدود جریان را در شرایط تغییر، میسر می‌سازد. اما غالبا بخشی از آب مازاد خواهد بود که به ناگزیر به شکلی به داخل شبکه آبیاری بازگردانده می‌شود. این میزان برگشت آب می‌تواند از طریق سازه‌های سرریز جانبی پیش‌بینی شده در کانال‌های آبیاری، به سامانه زهکشی تخلیه شود. جهت درک اهمیت خودکارسازی در شبکه‌ها، خصوصا در شرایط پمپاژ و مصداق روش‌های کنترلی، طرح احیای نخیلات آبادان- خرمشهر مرور می‌شود.

پروژه تامین انتقال و توزیع آب شیرین جهت احیای نخیلات آبادان- خرمشهر یکی از بزرگ‌ترین پروژه‌های کشور است که به دلیل پیشروی آب شور خلیج فارس از یک طرف و دلتایی بودن و فاقد شیب بودن اراضی تحت پوشش نخلستان‌ها اقدامات تحولی آبیاری از جزر و مدی به آبیاری برنامه‌ریزی شده و تامین گرادیان هیدرولیکی لازم انتقال آب شیرین به پای نخیلات به صورت پمپاژ چند مرحله‌ای توصیه و اجرا شده است.

در چنین پروژه‌هایی خودکارشدن سامانه از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. البته سامانه خودکار در شرایط هوشمند می‌تواند علاوه بر تامین آب، اهداف گسترده‌تری ازجمله پایش و کنترل شوری و املاح، مدیریت رسوب، صرفه‌جویی در مصارف انرژی و سوخت و سهولت تحویل حجمی آب به کشاورزان را در پی داشته باشد.

۳-۵-۲- نکاتی در استفاده از درایوهای فرکانس متغیر

در ادامه چند مورد از قواعد استفاده از درایوهای فرکانس متغیر (اینورتر)[۱] ارائه شده است:

۱- تنها از کنترل‌گرهای با کیفیت استفاده شود. اگر جزئیات شیوه کنترل معلوم نیست، از متخصص مشورت گرفته‌شود و تنها بر اساس قیمت، اقدام به خرید نشود. بین کنترل‌گرها تفاوت‌های اساسی به قرار زیر وجود دارد:
- کیفیت برق ارسالی به موتورها
- طول کابل قابل استفاده بین موتور و کنترل‌گر
- بازده، از نظر نیاز به یک سامانه خنک‌کننده در تابلو
- محدوده حرارتی کارکرد
- تولید هارمونیک‌های مزاحم در جریان
- سر و صدای مزاحم
- حساسیت به تغییرات ولتاژ منبع تغذیه (یکی از مسایل اصلی در پروژه‌های آبیاری در فواصل دور)

۲- اگر تنها یک درایو فرکانس متغیر (VFD) در ایستگاه پمپاژ با پمپ‌های موازی موجود باشد، این کنترل‌گر VFD باید به پمپ با بیش‌ترین آبدهی متصل شود.

۳- پمپ باید با یک شیب منفی پیوسته (ولی بدون افت) از آبدهی صفر تا آبدهی حداکثر شروع به‌کار کند. از پمپ‌هایی که دارای یک منحنی قابل اعتماد کاهش تا آبدهی صفر نباشند، استفاده نشود. این مساله برای پمپ‌های جریان- محوری و جریان- مخلوط برای جلوگیری از کنترل ناپایداری، حیاتی است.

۴- از موتورهای « قابل کار با اینورتر[۲]» استفاده شود.

۵- بازدهی موتور تحت بار و فرکانس متغیر با موتور تک سرعته که تحت بار مشابه کار می‌کند یکسان است.

۱- اینورتر در اصل تبدیل کننده جریان AC به DC و برعکس است. اما به درایوهای فرکانس متغیر که در آن تبدیل AC به DC و مجددا AC انجام می‌شود نیز اینورتر گفته می‌شود. یک VFD (اینورتر)، بین منبع برق و موتور قرار می‌گیرد. برق ابتدا به اینورتر وارد شده و با توجه به نیاز موتور، فرکانس و ولتاژ آن تنظیم می‌شود و سپس این جریان تنظیم‌شده به موتور تغذیه می‌شود. با تنظیم فرکانس، دور موتور و در نتیجه دور پمپ تغییر خواهد کرد.

2- Inverter-Duty

از آنجایی‌که با تغییر دور موتور، آبدهی و افت اصطکاکی در شبکه تغییر خواهد کرد، لازم است در تعیین نقطه کار، منحنی پمپ با دورهای مختلف با منحنی سامانه تقاطع داده شود و نقطه کار شامل آبدهی، ارتفاع پمپاژ و توان موتور براین اساس تعیین شود. استفاده از قانون تشابه[1] به صورت مستقیم نتایج اشتباهی به دست خواهد داد. طبق این قانون، برای نقاط مشابه دریک پمپ، آبدهی، ارتفاع پمپاژ و توان جذبی پمپ به ترتیب با توان یک، دو و سه سرعت دورانی متناسب هستند.

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{N_1}{N_2} \qquad (۲-۳)$$

$$\frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad (۳-۳)$$

$$\frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \qquad (۴-۳)$$

۶- خنک نگه‌داشتن مناسب تابلوی مجهز به اینورتر بسیار مهم است و اغلب این امر با نصب یک هواکش یا رادیاتور قابل دستیابی است.

۷- برای قابلیت اطمینان بالاتر، بهتر است اندازه اسمی کنترل‌گر VFD یک اندازه بزرگ‌تر از موتور مورد نظر باشد. (در این خصوص باید بسته به شرایط و نسبت توان موتور به توان جذبی پمپ در خصوص توان درایو دور متغیر تصمیم‌گیری شود.)

با توجه به کاهش شدید فشار پمپ با کاهش دور پمپ، استفاده از ترکیب پمپ‌های با کنترل‌گر درایو متغیر و بدون آن باید با توجه به منحنی سامانه انجام شود و در بسیاری از موارد این ترکیب در سیستم تحت‌فشار نامناسب است.

۳-۶- مخزن تنظیمی در شبکه آبیاری

استفاده از مخازن تنظیمی در پروژه‌های مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری توصیه شده و ضروری است. در برخی از نواحی آبیاری در غرب آمریکا تعداد این مخازن به بیش از ۱۲ عدد در هر شبکه می‌رسد. در ایران، غیر از کشت و صنعت هفت تپه در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی دز و مخزن مغان (دریاچه شهرک) در شبکه مغان، در دیگر موارد به عنوان مخزن تنظیمی شبکه‌های تحت‌فشار استفاده شده است. دو نمونه از مخازن تنظیمی در شکل (۳-۳۸) مربوط به شبکه‌های تحت‌فشار زنوز و بناب مرند نشان داده شده است.

1- Affinity Law

شکل ۳-۳۸- نمونه‌هایی از مخازن تنظیمی، تنظیم شبکه تحت‌فشار (بالا)– شبکه روباز (پایین)

۳-۶-۱- ضرورت پیش‌بینی مخازن تنظیمی

اکثر شبکه‌های آبیاری روباز با روش کنترل از بالادست طراحی شده‌اند. در این روش کنترل، آبدهی در تاسیسات آبگیری کانال براساس نیاز پیش‌بینی شده در پایین‌دست تنظیم می‌شود. در این شرایط اگر آبدهی بیش‌تر از مقدار مصرف باشد (مازاد آب)، هرزرفت آب در انتهای کانال به‌وجود می‌آید و اگر مقدار آبدهی کم‌تر از تقاضا باشد (کمبود)، بهره‌برداران در بخش‌های انتهایی کانال با کمبود آب مواجه می‌شوند. پدیده «مازاد یا کمبود» آب در انتهای شبکه در این روش کنترلی، باعث بی‌عدالتی در توزیع آب می‌شود. دلایل این پدیده متعدد و برخی موارد به شرح زیر است:

- با افزایش استفاده از روش‌های قطره‌ای یا میکرو در آبیاری و ارتقای روش‌های آبیاری در مزرعه، کشاورزان خواستار دریافت آب با انعطاف‌پذیری بیش‌تر هستند که در این شرایط انعطاف‌پذیری موجود، کافی نیست.
- تغییرات آبدهی در تاسیسات آبگیری، به‌صورت تدریجی به پایین‌دست می‌رسد و پایدار شدن و یکنواختی آبدهی در نقاط پایین‌دست کانال، به زمان طولانی نیاز دارد.
- آبدهی در آبگیر مزارع غیردقیق اندازه‌گیری می‌شود (صحت ۵٪ ± در مزرعه مطلوب درنظرگرفته می‌شود).
- دلایل مختلفی برای تغییر غیرمنتظره در آبدهی آبگیر تحویل به مزرعه وجود دارد. این تغییرات شامل نوسانات در سطح آب کانال، یا نوسان در فشار، یا نوسان در آب در پایین‌دست آبگیر می‌شود.

در صورت عدم وجود مخازن تنظیمی بی‌عدالتی توزیع رخ می‌دهد و کشاورزان در انتهای کانال بدترین نوع خدمت‌رسانی در طول کانال را خواهند داشت. روش‌های معمول مقابله با پدیده «مازاد یا کمبود» در شرایط عدم وجود مخازن تنظیمی، به قرار زیر است:

- در شرایط سهولت دسترسی به منبع آب و تامین رضایت همگان معمولا بهره‌بردار بیش‌تر از نیاز محاسباتی آب را برای تحویل به کانال وارد می‌کند. بنابراین، هرزرفت آب در انتهای کانال دائمی است. این ساده‌ترین روش برای تحویل آب انعطاف‌پذیر به آب‌بران (کشاورزان) است.
- با استفاده از بازه‌های کانال به عنوان مخزن برای تامین مازاد یا کمبود، هرزرفت آب کاهش پیدا می‌کند. در این حالت سطح آب در کانال نوسان خواهد داشت و درنتیجه، تحویل آب در آبگیرها با نوسان همراه خواهد بود. این نوسانات در تخریب کانال و آسیب‌های وارده توسط جوندگان در کناره کانال موثر است. به‌علاوه، کانال با ابعاد بزرگ‌تر (ذخیره در بازه)، هزینه بیش‌تری دارند و رسوب‌گذاری به دلیل سرعت کم می‌تواند تشدید شود.

۳-۶-۲- مزایای مخازن تنظیمی

نتایج تجربیات حاصل از شبکه‌هایی که از مخازن تنظیمی در موقعیتی در فاصله دوسوم پایینی کانال استفاده کرده‌اند نشان می‌دهد این مخازن مزایایی به شرح زیر دارد:

- هرزرفت آب را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد.
- بهره‌برداری از شبکه بسیار ساده‌تر می‌شود. میراب با توجه به سطح آب در مخزن، تغییرات در درخواست‌ها را تعدیل می‌کند. تاسیسات آبگیری تنظیم دائم آبدهی در ورودی‌ها برای تامین شدت‌جریان نیازی نخواهد بود و یک یا دو مرتبه در روز تنظیم آبدهی در تاسیسات آبگیری ابتدای شبکه کافی است.
- مخازن امکان تحویل آب منعطف در بالادست را درحالی‌که سطح آب در بازه‌های بالادست کانال ثابت می‌ماند نیز فراهم می‌کنند. چراکه تمامی نوسانات آبدهی در مخزن تنظیمی تعدیل خواهد شد.
- مخازن امکان تحویل آب منعطف را در پایین‌دست، به یکی از دو روش زیر فراهم می‌کنند:

• اگر بخش پایین‌دست مخزن تنظیمی با کنترل پایین‌دست بهره‌برداری شود، مقدار آبدهی وارد شده به پایین‌دست با نیاز آب‌بران به خوبی هماهنگ خواهد شد.

• اگر بخش پایین‌دست مخزن تنظیمی با کنترل بالادست بهره‌برداری شود، از منظر کنترلی این بخش، تنها یک‌سوم شبکه را تشکیل می‌دهد. این شرایط به میراب‌ها این توانایی را می‌دهد تا بتوانند به سرعت به تغییرات آبدهی در پایین‌دست واکنش نشان دهند. همچنین این بخش از کانال، دیگر دستخوش تغییرات ایجاد شده در بخش بالادست مخزن تنظیمی نمی‌شود.

۳-۶-۳- عوامل مهم در طراحی مخازن تنظیمی

ضوابط انتخاب حجم مخزن تنظیمی:

۱- **زمین مورد نیاز مخزن؛** برای ایجاد مخزن با ابعاد مناسب در مکان مناسب، نیاز به سطح مشخصی از زمین در آن نقطه است که نیاز به استملاک دارد.

۲- **هزینه احداث؛** هزینه ساخت مخزن به همراه سازه ورودی و خروجی آن، می‌تواند هزینه زیادی را به پروژه تحمیل کند (به طور مثال یک مخزن بتنی با حجم ۲۰۰ هزار مترمکعب به قیمت سال ۱۳۹۸ حدود ۲۰ تا ۳۰ میلیارد ریال هزینه خواهد داشت).

۳- **مشخصات هیدرولیکی و بهره‌برداری؛** این مشخصات شبکه شامل آبدهی کانال‌ها، طول کانال‌ها، نظام بهره‌برداری، سطح کنترل خودکار، مشکلات دسترسی و نحوه حضور به موقع بهره‌بردار در محل سازه‌های کنترلی است.

براساس این مشخصات یک مثال به شرح زیر ارائه می‌شود:

- اختلاف آبدهی واقعی در کانال نسبت به آبدهی تحویلی؛ این اختلاف، به آبدهی در هر دو بخش بالادست و پایین‌دست مخزن تنظیمی مربوط می‌شود. این اختلاف می‌تواند ۵ تا ۱۰ درصد انتخاب شود. در این مثال آبدهی کل ۳۵ مترمکعب بر ثانیه و اختلاف آبدهی ۵ درصد منظور می‌شود.
- زمان لازم برای رسیدن تغییر آبدهی جبرانی در تاسیسات آبگیری کانال به مخزن تنظیمی (زمان تاخیر)؛ این زمان به سرعت جریان در کانال و طول کانال بستگی دارد که برای این مثال، این زمان ۴ ساعت فرض می‌شود. (طول ۲۰ کیلومتر و سرعت متوسط ۱/۴ متر بر ثانیه)
- مدت زمانی که اپراتورها متوجه این اختلاف در آبدهی شده و نسبت به آن واکنش نشان دهند؛ این اختلاف ممکن است در خارج زمان‌کاری رخ دهد (بعد از ظهرها) که می‌تواند زمان واکنش را به ۱۲ساعت نیز برساند.
- در حالت ایده‌آل، مخزن تنظیمی تا شروع هرگونه اختلافی تا نصف پر خواهد بود تا امکان فراهم‌کردن ذخیره و تعدیل مازاد آب را داشته باشد. بنابراین ضریب تعیین حجم بهینه مخزن با انعطاف لازم ۲/۰ فرض می‌شود.

(زمان واکنش + زمان تاخیر) × شدت‌جریان کانال × (۱۰۰÷درصد اختلاف آبدهی) × ضریب حجم بهینه مخزن = حجم مورد نیاز

حجم مخزن برای مثال مطرح‌شده در بالا = ۲/۰ × ۰/۰۵ × ۳۵ CMS × (۴ + ۱۲)h ≈ ۰/۲MCM

برای مثال، حجم مخازن تنظیمی معمول در کالیفرنیا حدود ۵۰.۰۰۰ تا ۳۲۰.۰۰۰ مترمکعب است. تجربه نشان‌داده که در ابتدا تصور بر این است که حجم محاسبه شده مخزن تنظیمی بسیار زیاد است، اما پس از گذشت چندسال، معمولا بهره‌برداران خواهان مخازن بزرگ‌تر و بیش‌تر هستند.

۳-۶-۴- تعیین ظرفیت مجرای ورودی و خروجی مخازن

معمولا ابعاد مجرای ورودی مخزن نسبت به خروجی مخزن برای آبدهی بیش‌تری طراحی می‌شود، چرا که:

۱- معمولا ورودی یک مخزن به‌صورت ثقلی است و خروجی آن در برخی مواقع نیاز به پمپ دارد. به‌علاوه که یک ورودی ثقلی با طراحی بزرگ‌تر از ابعاد مورد نیاز، نسبتا ارزان‌تر از استفاده از پمپ بزرگ‌تر و تجهیزات آن است.

۲- باران‌های ناگهانی باعث می‌شود تا کشاورزان آبگیرهای خود را ببندند، که نیاز به ظرفیت آبدهی ورودی بالایی را به مخزن دارد.

۳- در یک سامانه آبیاری نوین، فراهم بودن انعطاف‌پذیری برای کشاورزان در بستن آبگیرها، بدون اعلام قبلی بسیار مهم است. این انعطاف‌پذیری به کشاورزان اجازه می‌دهد تا در مصرف آب صرفه‌جویی کنند. ازطرفی فراهم‌کردن انعطاف‌پذیری در بازکردن آبگیرها بدون اعلام قبلی، اهمیت کم‌تری از بستن آن‌ها دارد.

با توجه به شرایط اگر در طول روز احتمال ۲۰ درصدی تغییر در حجم مخزن قابل پیش‌بینی باشد، این بدان معنی خواهد بود که تغییرات در آبدهی لحظه‌ای ممکن است به ۴۰٪ برسد.

۳-۶-۵- ملاحظات کنترل مخزن

روش‌های کنترلی متعددی برای کنترل ورودی و خروجی به مخزن وجود دارد. روش کنترلی مورد استفاده معمولا به عوامل نظیر موارد زیر وابسته است:

۱- موقعیت مکانی (توپوگرافی)؛ برای مثال در برخی از موقعیت‌ها می‌توان در ورودی و خروجی از جریان ثقلی استفاده کرد.

۲- عمق و ارتفاع یک مخزن؛ در برخی مخازن ممکن است جریان‌های ورودی/خروجی در زمان‌هایی به‌صورت ثقلی باشد، اما در زمان‌های دیگر، نیاز به پمپاژ آب به داخل مخزن باشد.

۳- سادگی؛ کنترل‌گرهای منطقی برنامه‌پذیر (PLCs) برای بهره‌برداری از پمپ‌ها و دریچه‌ها، در برخی از پروژه‌ها مطابق استاندارد است، درحالی‌که برای پروژه‌های دیگر می‌تواند پیچیده باشند.

۳-۶-۵-۱- طرح‌های کنترلی مخزن

در طرح‌های کنترلی که در ادامه ارائه شده، فرض‌شده است که کنترل کانال در پایین‌دست هر مخزن، مجددا با کنترل آبدهی از مخزن شروع شود؛ به‌عبارتی، بهره‌برداری از کانال به‌شکل کنترل بالادست ادامه می‌یابد. در مواردی، کنترل در پایین‌دست مخزن با کنترل سطح آب پایین‌دست به‌جای کنترل آبدهی انجام می‌شود. نمادهای زیر در شکل (۳-۳۹) تا شکل (۳-۴۹) استفاده شده‌اند:

- ⊳ سازه تنظیم سطح آب بالادست
- □ ابزار اندازه‌گیری جریان

- □ سازه تنظیم جریان
- ○ پمپ
- T مقدار آبدهی هدف
- $\tilde{Q}$ آبدهی متغیر
- $\bar{Q}$ آبدهی ثابت

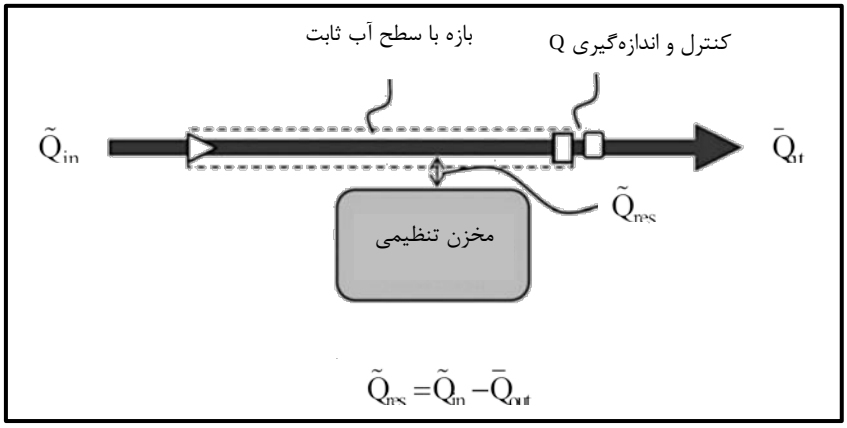
معمولا در ملاحظات کنترلی، موارد زیر با اهمیت هستند:

۱- بهتر است که آب مازاد از بخش فوقانی‌تر کانال وارد مخزن شود تا رسوب‌گذاری در مخزن حداقل شود.

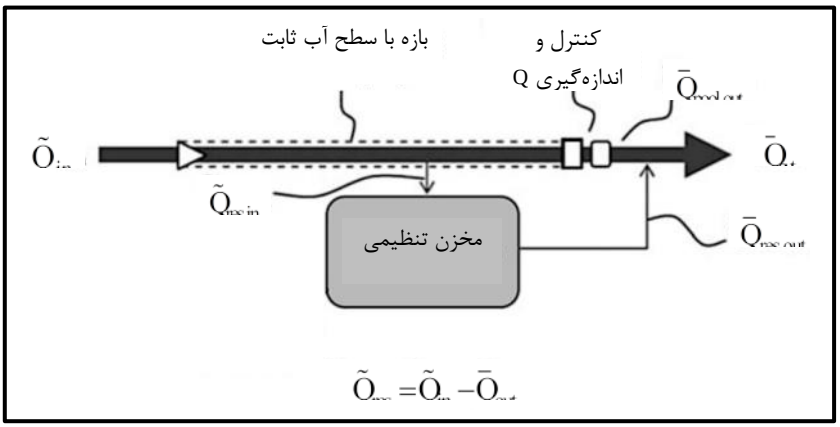
۲- اگر بار آبی کافی در کانال نسبت به مخزن وجود نداشته باشد، کنترل مخزن به شکلی عمل می‌کند که سطح آب نسبتا ثابتی را در بازه کانال مجاور مخزن حفظ کند (شکل ۳-۳۹). در این حالت لازم است موقعیت مناسبی برای پمپ آب، برای تغذیه یا تخلیه آب مخزن پیش‌بینی شود.

۳- اگر بار آبی قابل ملاحظه‌ای در کانال وجود داشته باشد، احتمال‌دارد تا در ورودی و خروجی مخزن، جریان ثقلی برقرار شود (شکل ۳-۴۰). در این شرایط معمولا دو نقطه کنترل جریان وجود دارد؛ کنترل مقدار بیش‌تر آبدهی، در سازه تنظیم داخل کانال انجام می‌شود. جریان ورودی به داخل مخزن متغیر و آبدهی خروجی از مخزن نسبتا کم بوده و با تغییر سطح آب در مخزن تغییر می‌کند. امکان جریان ثقلی ورودی به مخزن، کنترل خودکار سطح آب را در کانال مجاور فراهم می‌کند.

۴- در شرایطی که بار آبی کافی در دسترس نباشد، با در نظر گرفتن جمیع جهات، انتخاب جریان ثقلی برای ورود جریان آب مازاد به مخزن و استفاده از پمپ برای خروج آب از مخزن اقتصادی‌تر بوده و در کاهش مصرف انرژی موثرتر است.



شکل ۳-۳۹- کنترل مخزن بدون وجود افت بارآبی قابل توجه در کانال

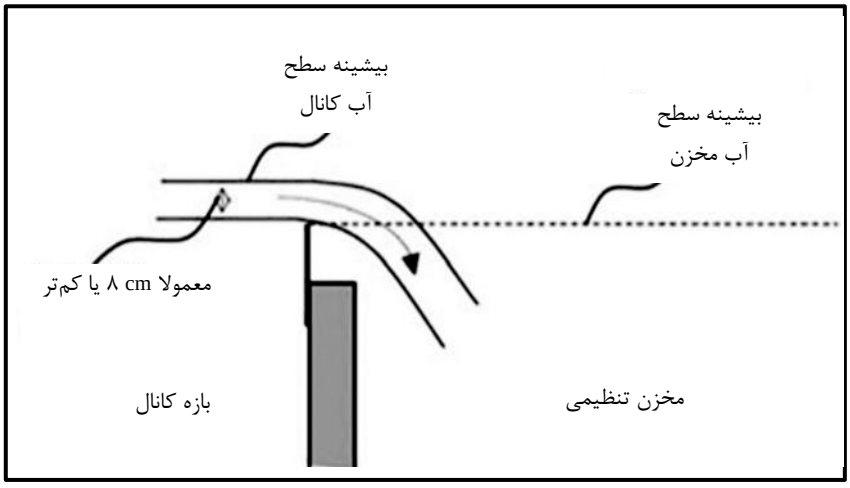


شکل ۳-۴۰- کنترل مخزن با افت بار آبی قابل توجه در کانال

۳-۶-۵-۱-۱- انتقال جریان مازاد آب به مخزن

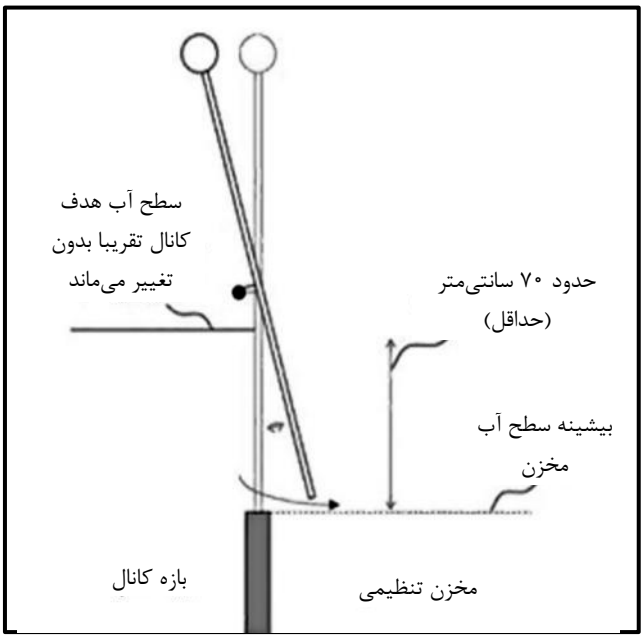
هنگامی که جریان آب مازاد وارد مخزن تنظیمی می‌شود، روش‌های مختلفی برای کنترل بالادست بازه نزدیک به مخزن، وجود دارد. این روش‌ها شامل:

۱- ورود به مخزن از طریق یک سرریز لبه طولانی (شکل ۳-۴۱) که اگر سرریز به مقدار کافی طولانی باشد، می‌توان افزایش رقوم سطح در مخزن را در ۸ سانتی‌متری و کم‌تر از سطح نرمال آب کانال نگه‌داشت، تا مخزن بتواند برابر با لبه این سرریز (به صورت ثقلی) پر شود.



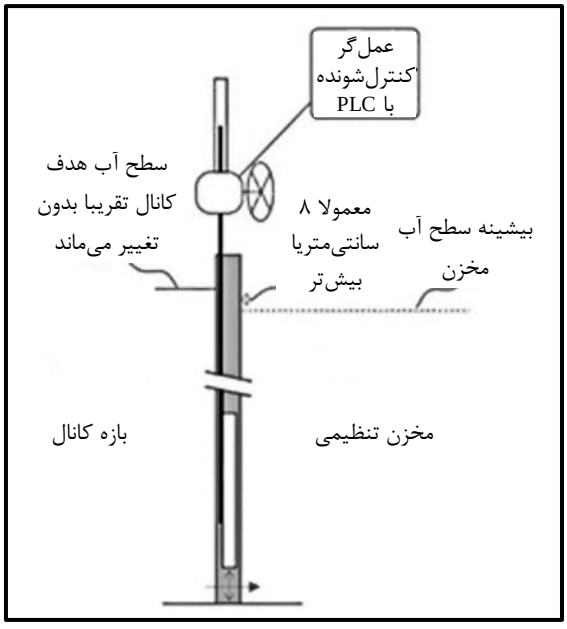
شکل ۳-۴۱- سرریز به مخزن از طریق یک سرریز لبه طولانی

۲- سرریز به مخزن از طریق دریچه یک‌طرفه IRTC (شکل ۳-۴۲). این روش، کنترل دقیق‌تری بر سطح آب بازه مجاور خواهد داشت، ولی حداقل ۷۰ سانتی‌متر ارتفاع ذخیره مخزن تنظیمی (مطابق طراحی دریچه یک‌طرفه) کم می‌شود. به دلیل پر هزینه بودن معمولا انتخاب نمی‌شود.



شکل ۳-۴۲- ورود آب به مخزن از طریق دریچه یک‌طرفه IRTC یا دریچه Begemann (به ندرت کاربردی است)

۳- جریان ثقلی به داخل مخزن توسط یک دریچه تحت کنترل PLC می‌تواند کنترل بالادست را در بازه مجاور ایجاد کند (شکل ۳-۴۳). اگر به خوبی کنترل شود، بهترین حالت را برای ترکیب کنترل بالادست سطح آب بازه در کانال و حداقل کاهش در ظرفیت ذخیره مخزن تنظیم را خواهد داشت. اگرچه نسبت به سرریز لبه طویل، بسیار پیچیده‌تر است.



شکل ۳-۴۳- جریان ثقلی به داخل مخزن توسط یک دریچه تحت کنترل PLC

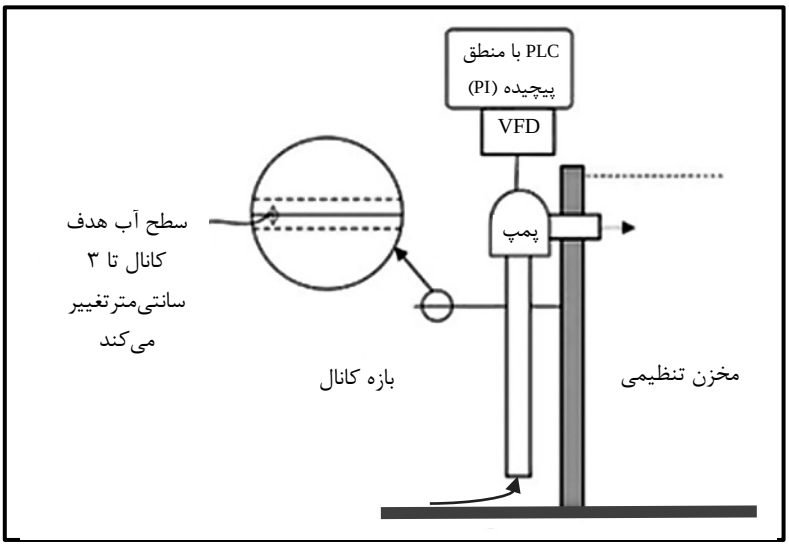
۴- پمپاژ به داخل مخزن؛ در شرایطی که سطح آب در مخزن نسبت به سطح آب در بازه کانال بالاتر باشد، استفاده از پمپ لازم می‌شود. کنترل این حالت ممکن است ساده یا پیچیده باشد. ساده‌ترین کنترل (بدون

VFD، بدون مبدل)، بیش‌ترین نوسانات سطح آب را نیز دارد. چند انتخاب برای این حالت در جدول (۳-۲) فهرست شده که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

جدول ۳-۲- خلاصه انتخاب‌ها در کنترل پمپ

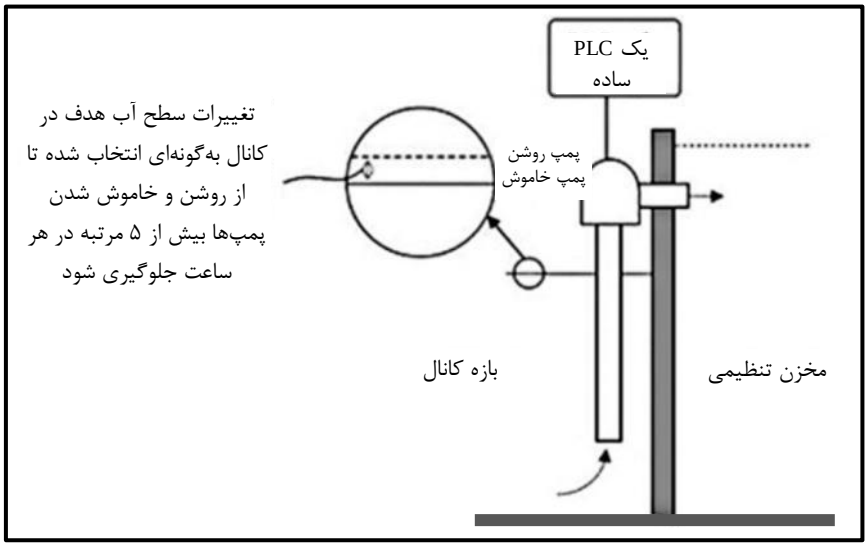
انتخاب	دقت کنترل سطح آب	پیچیدگی
الف	زیاد	زیاد
ب	متوسط	متوسط
پ	پایین	کم

انتخاب الف: ترکیبی از یک کنترل مبتنی بر PLC، حس‌گر الکترونیکی سطح، درایور VFD و یک نرم افزار کنترلی با منطق پیچیده. پمپ‌ها به‌صورت ترتیبی عمل می‌کنند تا سطح آب در یک محدوده کوچک (±۳cm) از مقدار مشخص‌شده ثابت بماند. شکل (۳-۴۴)، این ترکیب را نشان می‌دهد.



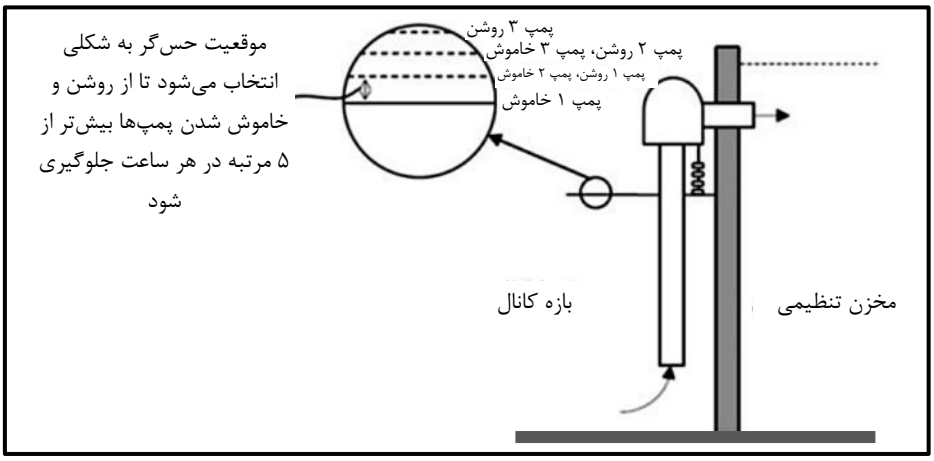
شکل ۳-۴۴- ترکیب در انتخاب الف برای کنترل پمپ

انتخاب ب: ترکیبی از حس‌گر الکترونیکی سطح، کنترل مبتنی بر PLC و پمپ‌های تک سرعته (شکل ۳-۴۵). وقتی سطح آب به نقطه «روشن‌شدن» برسد، یکی از پمپ‌ها شروع به کار می‌کند. اگر جریان کافی باشد، سطح آب کاهش پیدا می‌کند و پمپ در سطح آب هدف خاموش می‌شود. اگر جریان کافی نباشد، سطح آب به بالای نقطه «روشن‌شدن» افزایش پیدا می‌کند و بعد از زمانی مشخص، پمپ دوم روشن می‌شود و همین روال ادامه می‌یابد.



شکل ۳-۴۵- ترکیب در انتخاب ب برای کنترل پمپ

انتخاب پ: استفاده از حس‌گرهای تماسی (بدون مبدل) و پمپ‌های تک سرعته، بدون استفاده از PLC (شکل ۳-۴۶). هر پمپ دارای یک سطح آب متفاوت برای «روشن‌شدن» و «خاموش‌شدن» است. این یک روش کنترل قدیمی است که منجر به نوسانات زیادی در سطح آب کانال می‌شود، اما فرایند ساده‌ای دارد.



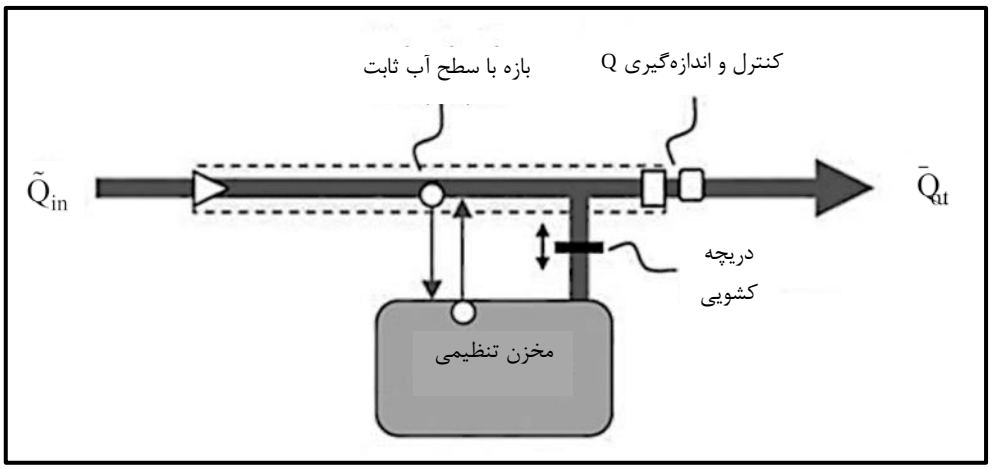
شکل ۳-۴۶- ترکیب در انتخاب پ برای کنترل پمپ

۳-۶-۵-۲- کنترل تخلیه جریان از مخزن

جهت تامین سطح آب ثابت در کانال پایین‌دست مخزن، دو حالت تخلیه جریان از مخزن وجود دارد:

- اگر سطح آب در مخزن، برابر یا پایین‌تر از سطح آب در کانال پایین‌دست باشد، از پمپاژ باید استفاده شود. در این شرایط یکی از انتخاب‌ها (الف، ب و پ) را در جدول (۳-۲) می‌توان برای کنترل پمپ‌ها به‌کار گرفت.
- اگر سطح آب در مخزن، حداقل ۸ سانتی‌متر بیش‌تر از سطح آب در بازه کانال پایین‌دست باشد، انتقال جریان به صورت ثقلی خواهد بود. (با استفاده از دریچه‌های تحت کنترل PLC).

برخی مواقع، مشابه شکل (۳-۴۷)، ممکن است بسته به سطح آب در مخزن، آب با جریان ثقلی یا توسط پمپ به یک مخزن وارد یا خارج شود.



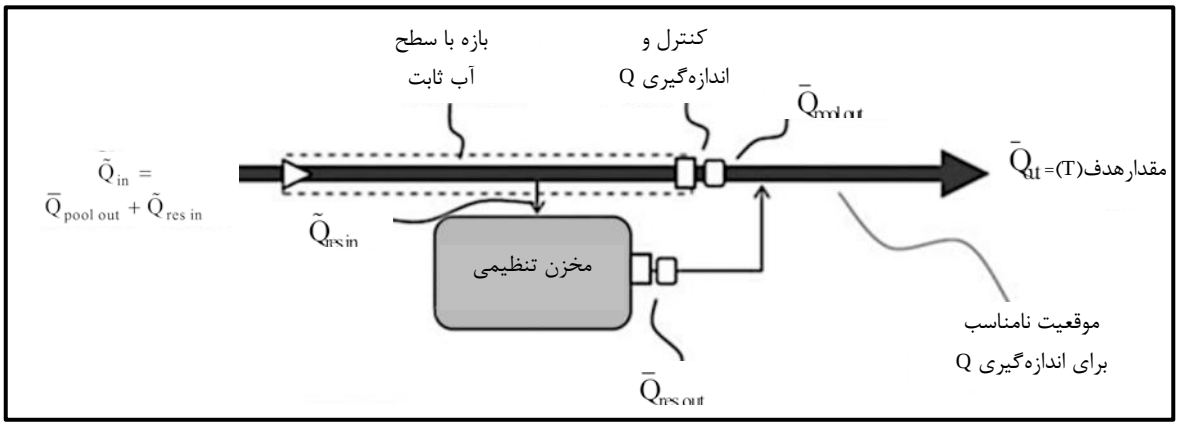
شکل ۳-۴۷- وجود خروجی و ورودی با جریان ثقلی یا توسط پمپ در یک مخزن

۳-۶-۵-۲-۱- جریان ثقلی خروجی

هنگامی که یک افت بار آبی در کانال، امکان جریان ثقلی برای خروج آب از مخزن را ایجاد کند، نکات مهمی در ارتباط با محاسبه و کنترل آبدهی خروجی از مخزن مطرح می‌شود. دو مورد از شرایط متداول به شرح زیر هستند:

۱- برای اندازه‌گیری جریان داخل کانال در پایین‌دست خروجی مخزن، موقعیت مکانی خوب، یا شرایط مناسبی وجود نداشته باشد. برای مثال، ممکن است اختلاف بار آبی کافی برای ساخت سرریز لبه پهن وجود نداشته باشد، یا ممکن است یک مقطع مستقیم مناسب در کانال برای نصب جریان‌سنج‌ها پیدا نشود.

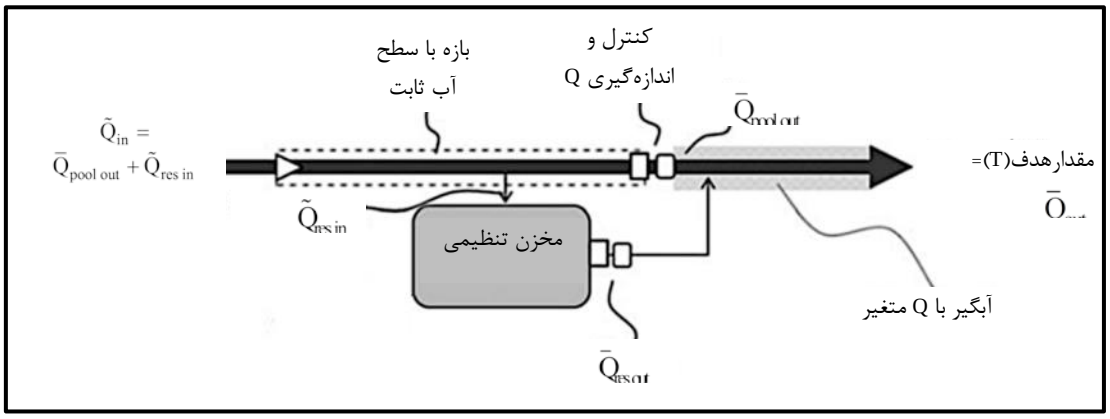
در این شرایط، برای کنترل و اندازه‌گیری باید دو موقعیت مناسب وجود داشته باشد (شکل ۳-۴۸). در این حالت هر دو $\bar{Q}_{\text{خروجی بازه}}$ و $\bar{Q}_{\text{خروجی مخزن}}$ دارای آبدهی‌های مشخص خواهند بود که مجموع آن‌ها برابر با آبدهی هدف در کانال (T) می‌شود. توجه شود که در این طرح کنترلی، $\bar{Q}_{\text{خروجی مخزن}}$ باید به دقت اندازه‌گیری شود.



شکل ۳-۴۸- دو موقعیت برای اندازه‌گیری و کنترل جریان

۲- برای اندازه‌گیری آبدهی کل کانال، یک موقعیت مناسب در بازه پایین‌دست خروجی مخزن باید وجود داشته باشد. در این حالت، دو نقطه تنظیم آبدهی، نیازی به اندازه‌گیری آبدهی با دقت بالا ندارند. مقدار آبدهی از درون یک دریچه بزرگ، ثابت است (چرا که بارآبی ثابتی دارد)، اما به‌صورت دستی می‌تواند تنظیم‌شود. دریچه خروجی از مخزن، معمولا باید خودکار باشد تا با تغییرات سطح آب مخزن تنظیم شود. چنین دریچه تخلیه خودکاری، بازشدگی را به‌گونه‌ای تنظیم می‌کند تا جریان عبوری از جریان‌سنج نصب‌شده در پایین‌دست آن در مقدار مشخص‌شده باقی‌بماند.

یک مزیت این روش، امکان اندازه‌گیری «آبدهی کلی کانال» در پایین‌دست مقطعی است که دارای تعداد زیادی آبگیر باشد. آبدهی واقعی مخزن به علاوه آبدهی کانال، با آبدهی هدف به علاوه آبدهی آبگیر، برابر خواهد شد. در این شرایط می‌توان آبدهی در آبگیرها را با انعطاف‌پذیری زیادی تغییر داد، چراکه مخزن به‌صورت خودکار، آبدهی را در خروجی جبران می‌کند (شکل ۳-۴۹).



شکل ۳-۴۹- مثالی با دو نقطه کنترل جریان

۳-۷- تامین انرژی

شبکه آبیاری خودکار برای عملکرد خود نیاز به یک منبع انرژی دارد. این منبع انرژی هم نیروی لازم جهت باز و بستن دریچه را فراهم می‌کند و هم انرژی سامانه کنترل را تامین می‌کند. برای بررسی منابع انرژی، ابتدا لازم است برای جابه‌جایی خودکار دریچه‌ها، سامانه کنترل و میزان انرژی مورد نیاز در شبکه برآورد شود.

از دید کلی، یک شبکه خودکار شامل مجموعه‌ای از دریچه‌ها است که توسط عمل‌گرها باز و بسته می‌شوند. از آنجایی‌که دریچه‌های کشویی، بیش‌ترین نیرو را برای جابه‌جایی نیاز دارند در اینجا توان مورد نیاز برای یک مورد نمونه، محاسبه می‌شود. در این محاسبه فرضیات زیر منظور شده است:

- جرم دریچه M کیلوگرم
- سرعت حرکت دریچه V متر بر ثانیه
- حداکثر جابه‌جایی دریچه L متر

با این فرض‌ها انرژی لازم به شرح زیر خواهد بود:

(۳-۵) نیروی لازم به نیوتن $F= M.g$

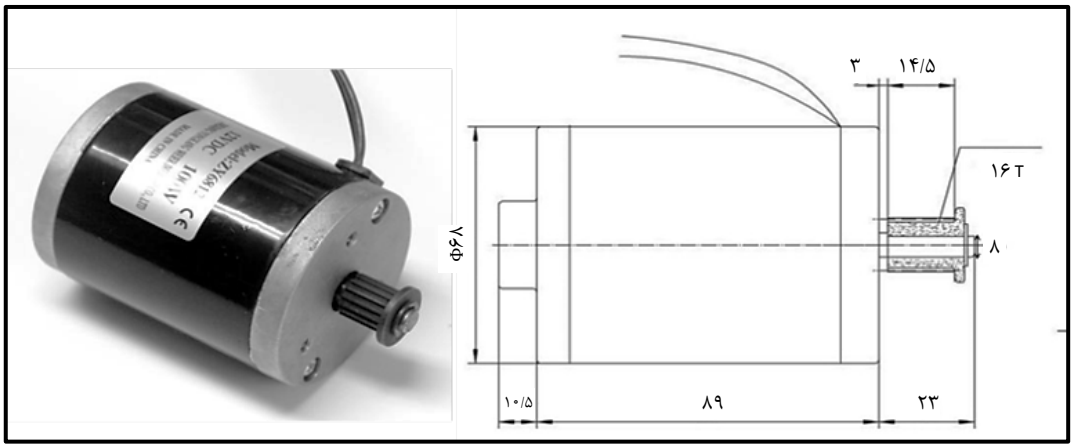
(۳-۶) انرژی لازم به ژول $E= F.L = M.g.L$

توان لازم از تقسیم انرژی بر زمان جابجایی به‌دست خواهد آمد.

$t = L \div V$ (۳-۷)

(۳-۸) توان مورد نیاز P برحسب وات برابر است با $P = E \div t = M.g.V$

براساس رابطه فوق برای بازکردن یک دریچه ۱ تنی (با احتساب وزن کلیه اجزای دریچه و نیروی اصطکاک) با ارتفاع یک متر در مدت دو دقیقه به ۸۴ وات توان نیاز خواهد بود. شکل (۳-۵۰) یک موتور 100Watt را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵۰- نوعی از یک موتور ۱۰۰Watt و طرح نقشه آن (ابعاد به میلی‌متر)

طول این موتور، چنان که در شکل‌های فوق دیده می‌شود، حدود ۱۰ سانتی‌متر و قطر موتور۶/۸cm سانتی‌متر است که نسبت به وزن یک تن، نامتناسب به نظر می‌رسد. این عدم تناسب ناشی از نسبت کم سرعت جابه‌جایی دریچه نسبت به سرعت موتور است. درصورتی‌که سرعت جابه‌جایی به ۱ سانتی‌متر بر ثانیه و وزن موثر دریچه به ۲ تن افزایش یابد قدرت موتور مورد نیاز حدود ۱۹۶ وات خواهد بود که با اعمال ضریب اطمینان ۲، قدرت مورد نیاز حدود ۰/۵اسب بخار خواهد بود.

همان‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد سرعت جابه‌جایی دریچه نسبت به سرعت موتور خیلی کم است که لازم است از یک جعبه‌دنده مناسب برای این منظور استفاده شود. نسبت تبدیل جعبه‌دنده با احتساب نسبت قطر پیچ جعبه‌دنده به شافت دریچه، باید به نحوی انتخاب شود که سرعت جابه‌جایی دریچه در محدوده قابل قبول و متناسب با توان موتور انتخابی باشد. (شکل ۳-۵۱)

شکل ۳-۵۱- یک دریچه کشویی با عمل‌گربرقی و دستی، نحوه عملکرد پیچ طولی در مانور دریچه

۳-۷-۱- انتقال نیرو

برای تامین انرژی راه‌های محدودی وجود دارد. به طور معمول انرژی از طریق شبکه برق یا از طریق سلول‌های خورشیدی یا ترکیبی از هر دو انجام می‌شود.

۳-۷-۱-۱- استفاده از شبکه برق

در شبکه‌هایی که امکان برق‌رسانی وجود دارد، می‌توان از این امکان برای تغذیه عمل‌گرها و سامانه کنترل استفاده کرد. باید توجه کرد که برق‌رسانی برای یک شبکه آبیاری ممکن است نیازمند کیلومترها کابل‌کشی باشد. برای درک مقدار کابل مورد نیاز، به طور تقریبی می‌توان گفت که طول کابل‌کشی لازم برای هر هکتار شبکه تا محل آبگیر مزرعه، حدود ۱۰۰ متر است. به طور مثال تامین برق یک شبکه خودکار به مساحت ۲۰ هزار هکتار، نیاز به حدود ۲ هزار کیلومتر کابل‌کشی دارد. استفاده از شبکه برق می‌تواند تا حدود زیادی تامین انرژی مطمئنی را فراهم سازد، اما مشکلات برق‌رسانی در یک شبکه آبیاری با توجه به این‌که کابل‌ها یا باید در زمین دفن شوند یا به صورت هوایی و توسط تیر عبور داده شوند، همراه با هزینه زیاد و احتمالا مشکلاتی در بهره‌برداری خواهد بود. طراحان شبکه آبیاری، هنگام طراحی شبکه برق‌رسانی باید این مسایل و مشکلات را مدنظر قرار دهند.

۳-۷-۱-۲- استفاده از انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی، منبعی تجدیدپذیر است. کشور ما در یک موقعیت ویژه‌ای از نظر تامین انرژی خورشیدی قرار دارد. این انرژی تقریبا در ۹۰ درصد ایران به راحتی در دسترس است، هزینه تامین خیلی زیادی ندارد و عمر آن بالغ بر ۲۰ سال است. همه این ویژگی‌ها انرژی خورشیدی را گزینه‌ای مناسب برای تامین انرژی یک شبکه آبیاری خودکار می‌کند. مشکل اصلی انرژی خورشیدی، قطع آن به هنگام شب و هنگام وجود ابر است؛ به‌همین دلیل لازم است انرژی خورشیدی همراه با باتری به‌کار گرفته شود. با توجه به هزینه‌های تجهیزات انرژی خورشیدی شامل سلول‌های PV، شارژر، باتری، اینورتر و عمل‌گرها، باید برآورد انرژی مورد نیاز به صورت واقع‌بینانه‌ای به عمل آید تا هزینه‌ها بهینه شود.

۳-۷-۱-۳- استفاده ترکیبی از برق شبکه و انرژی خورشیدی

با توجه به مشکلاتی که هنگام استفاده از انرژی خورشیدی یا شبکه برق، به‌صورت مجزا از هم پدید می‌آید و همچنین با توجه به انتظاراتی که از یک شبکه خودکار می‌رود، جهت بالا بردن قابلیت اطمینان سامانه خودکار، بهتر است از یک سامانه ترکیبی از انرژی خورشیدی و شبکه برق استفاده شود. شاید بهتر باشد در این وضعیت که نقاط کلیدی کنترلی کانال‌های اصلی که تعداد آن‌ها در حدود ۱۰ درصد کل شبکه است، با استفاده هم‌زمان از شبکه برق و انرژی خورشیدی تامین انرژی شود و شبکه‌های فرعی فقط توسط انرژی خورشیدی تغذیه شوند.

همچنین با توجه به صنعت رشد یابنده انرژی خورشیدی می‌توان حالتی را هم در نظر گرفت که با استفاده از سلول‌های PV، انرژی خورشیدی به ولتاژ سه فاز قابل اتصال به شبکه تبدیل شود. در این حالت می‌توان با توزیع برق در کل شبکه، هم برق سامانه خودکار را تامین کرد و هم در مواقعی که شبکه آبیاری نیاز به برق ندارد، انرژی الکتریکی تولیدی را به شبکه برق سراسری منتقل کرد.

۳-۷-۱-۴- سلول‌های خورشیدی

توان مورد نیاز سلول خورشیدی باید بر اساس توان موتور بالابر دریچه محاسبه شود. مطابق محاسبات بخش قبل برای بازکردن یک دریچه کشویی نسبتا بزرگ، توان مورد نیاز حدود ۱۰۰ وات در مدت زمان حدود ۲۰۰ ثانیه است. برای استفاده از سلول‌های خورشیدی به این منظور لازم است که از یک مجموعه باتری و اینورتر استفاده شود.

فرض می‌شود که ولتاژ باتری ۲۴ ولت باشد. با توجه به توان نامی موتور و توان مورد نیاز و در نظر گرفتن پارامترهایی مثل راه‌اندازی موتور و اصطکاک استاتیک راه‌اندازی دریچه، منطقی است که توان موثر حدود ۲۰۰ وات در نظر گرفته شود. دراین‌صورت جریان باتری مطابق رابطه زیر برابر خواهد شد با

$$P = V.\ I \Rightarrow I = P/V \Rightarrow I = 200/24 = 8.33A$$

باتری باید این جریان را در طول زمان بازشدن دریچه یا بستن آن تامین کند، از این‌رو میزان مصرف باتری مطابق محاسبه زیر برابر خواهد شد با:

$$I \times t = 8.33 \times 200/3600 = 0.462Ah$$

یعنی میزان آمپر- ساعت مصرفی باتری برابر با ۰/۴۶۲ است. این ظرفیت برای یک باتری بسیار کم است و در عمل ملاحظات دیگری هم لازم است. مهم‌ترین مساله‌ای که باید در نظر گرفته شود، جریان راه‌اندازی موتور است که این نیاز، به جریان‌دهی بالا در هنگام راه‌اندازی، ظرفیت بالاتری را برای باتری ضروری می‌کند چرا که باتری با ظرفیت بالا، مقاومت داخلی کم‌تر و از این‌رو قابلیت جریان‌دهی بالاتری دارد.

درصورتی‌که فرض کنیم یک دریچه در طول روز حداکثر دو بار باز یا بسته شود لازم است یک سلول خورشیدی با احتساب ضرایب اطمینان کافی در طول دو ساعت انرژی مورد نیاز یک بار مانور دریچه را فراهم نماید.

اگر جریان مصرفی متوسط از باتری را ۸/۳ آمپر در نظر بگیریم و مدت زمان تامین این جریان را ۲۰۰ ثانیه فرض کنیم خواهیم داشت: $8.3 \times 200/3600 = I_{ch} \times 2 \Rightarrow I_{ch} = 0.23A$

یعنی جریان شارژ برابر با ۲۳۰ میلی آمپر خواهد شد. اگر ولتاژ سلول خورشیدی را ۳۳ ولت در نظر بگیریم توان سلول خورشیدی حدود ۸ وات خواهد شد: $33 \times 230 = 7590mW$

در عمل توان سلول خورشیدی را بالاتر انتخاب می‌کنند. این‌کار قابلیت اطمینان کار را بالاتر می‌برد چون با سلول خورشیدی با توان بالاتر می‌توان در روزهای ابری هم باتری را شارژ کرد. درعمل استفاده از یک سلول خورشیدی ۱۵ تا ۲۰ وات برای چنین سامانه‌ای قابل توصیه است.

لازم به ذکر است که مواردی که در اینجا محاسبه شده، فقط برای تشریح مفاهیم و نحوه محاسبه بوده و لازم است در عمل برای هر سازه کنترلی محاسبه مربوطه انجام شود.

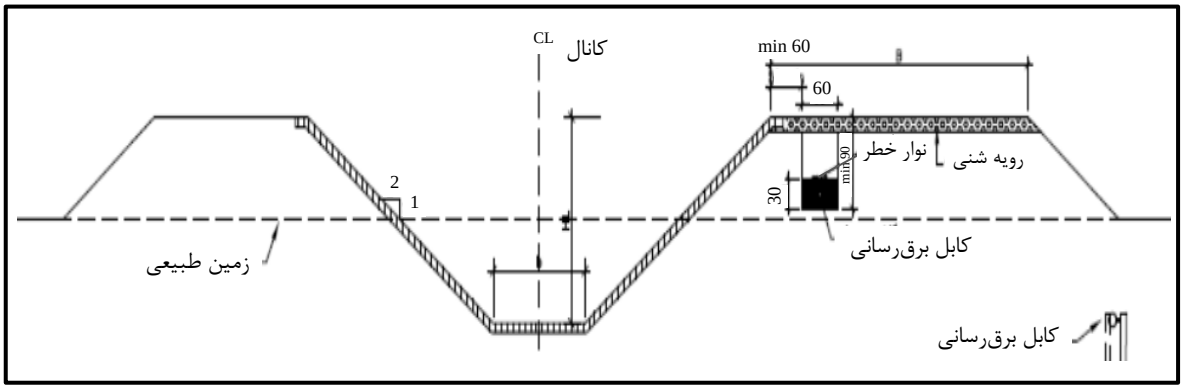
چنان‌که قبلا گفته شد بهتر است برای کانال‌های اصلی از برق شبکه استفاده شود و در صورت نیاز به عملکرد با اطمینان بالاتر از ترکیب سلول خورشیدی نیز با شبکه برق استفاده شود. کانال‌های اصلی حساسیت بالاتری دارند و اطمینان از عملکرد دریچه‌های اصلی اطمینان از عملکرد بهینه شبکه را بالا می‌برد.

۳-۷-۱-۵- شبکه برق

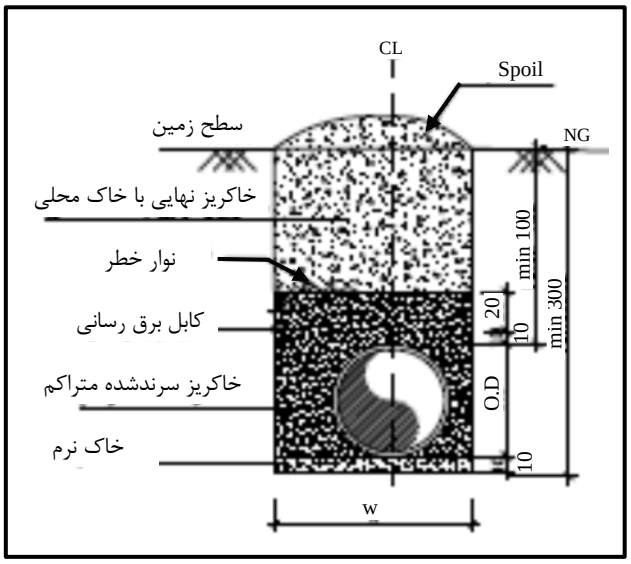
برای استفاده از شبکه برق مهم‌ترین مساله نحوه انتقال و توزیع برق خواهد بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از محاسباتی که برای یک شبکه نمونه انجام شده، با توجه به توان مصرفی کم سامانه کنترل، برای تامین انرژی از شبکه برق نیاز به ولتاژ بالا (۲۰ کیلو ولت) نیست و می‌توان از ولتاژهای متعارف پایین مثل ۶۶۰ ولت یا ۱۰۰۰ ولت استفاده کرد. استفاده از این ولتاژها هزینه انشعاب در محل هر سازه کنترل را به شدت کاهش خواهد داد.

برای مصرف کننده‌ها دو حالت متصور است. حالت اول این است که شبکه برق تنها به عنوان شارژ کننده باتری عمل کند و مصرف‌کننده دیگری هم به برق وصل نباشد. حالت دوم این است که از برق شبکه جهت روشنایی یا تامین برق اتاق کنترل (در صورت وجود) هم استفاده شود و کارکرد موتور نیز بدون استفاده از باتری و اینورتر انجام شود. در حالت اول با توجه به جریان کم لازم جهت شارژ باتری و انتخاب ولتاژی مثل ۶۶۰ ولت به کابل با مقطع کوچک به طور مثال حداکثر ۱۰ میلی‌متر مربع نیاز خواهد بود. در حالت دوم محاسبات کابل بر اساس مصارف، همانند توان مصرفی موتور، روشنایی یا تامین برق اتاق کنترل و طبق افت مجاز و جریان در کابل و مطابق استانداردها انجام می‌شود. محاسبات باید به گونه‌ای باشد که ولتاژ خط و سطح مقطع کابل با لحاظ هزینه‌های انتقال و انشعاب به صورت بهینه‌ای تعیین گردد.

بهتر است کابل برق در ترانشه کنار کانال اصلی با عمق حدود ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر کارگذاری شود (شکل ۳-۵۲). در خصوص لوله‌های انتقال آب، می‌توان کابل‌گذاری را در ترانشه لوله انجام داد و تراز کارگذاری کابل حدود ۲۰ سانتی‌متر بالاتر از لوله مطابق مقطع تیپ شکل (۳-۵۳) باشد. در استفاده از این گزینه اخیر باید به مشکلات ناشی از وجود کابل در هنگام تعمیر لوله توجه نمود.



شکل ۳-۵۲- مقطع عرضی تیپ کانال و جاده سرویس با ترانشه کابل برق‌رسانی



شکل ۳-۵۳- مقطع تیپ کارگذاری لوله انتقال آب همراه با کابل برق‌رسانی

فصل ۴

مبانی کنترل و بهره‌برداری خودکار سامانه آبیاری

۴-۱- مقدمه

سامانه کنترل صنعتی (ICS[1]) یک اصطلاح کلی است که شامل چندین نوع سامانه کنترل، از جمله سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده‌ها (اسکادا)، سامانه‌های کنترل توزیع‌شده (DCS[2]) و سایر سامانه‌های کنترل کوچک‌تر از قبیل کنترل‌گرهای منطقی برنامه‌پذیر (PLC) است که اغلب در بخش‌های صنعتی و زیرساخت‌های مهم کاربرد دارد. سامانه‌های کنترل صنعتی معمولا در صنایعی مانند برق، آب، روغن و گاز، مواد شیمیایی، حمل و نقل، داروسازی، خمیر و کاغذ، مواد غذایی و نوشیدنی و تولیداتی مانند خودرو، هوافضا و کالاهای بادوام مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سامانه‌های کنترل توزیع‌شده (DCS) یا زیرسامانه‌های کنترل‌شده با PLC معمولا به یک کارخانه یا حوالی کارخانه محدود می‌شوند، درحالی‌که ایستگاه‌ها و نقاط میدانی اسکادا، در یک محدوده جغرافیایی گسترده پخش هستند. ارتباطات DCS و PLC معمولا با استفاده از فناوری‌های شبکه محلی (LAN) انجام می‌شوند، اما سامانه‌های اسکادا به طور خاص برای رفع چالش‌های ارتباطی از راه‌دور (مانند تاخیر و از بین رفتن داده‌ها توسط راه‌های مختلف ارتباطی) طراحی شده‌اند.

۴-۲- مشخصات سامانه‌های کنترل

اصول عملکرد سامانه‌های کنترل در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. اجزای اصلی سامانه کنترل شامل موارد زیر است:

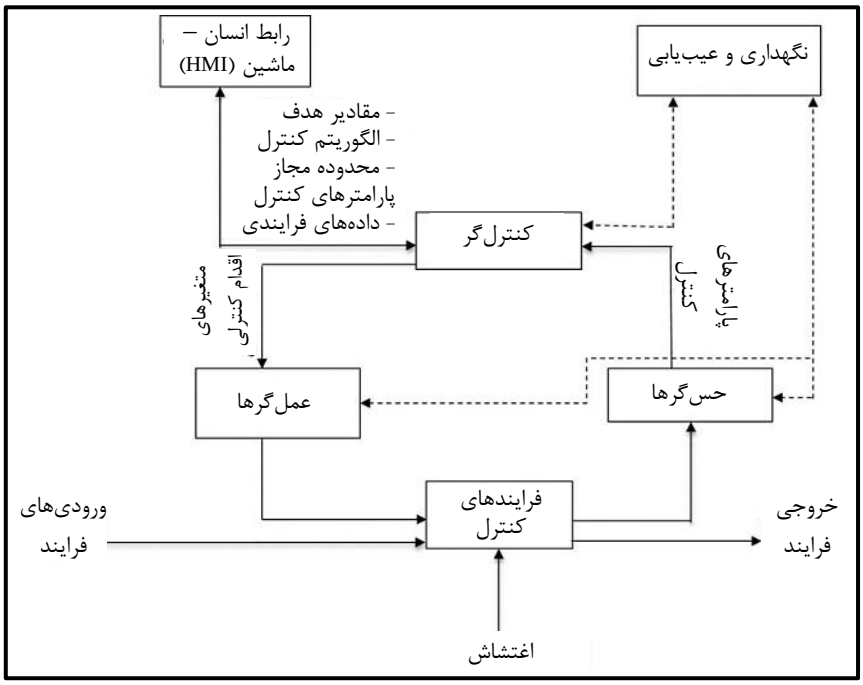
حلقه کنترل؛ یک حلقه کنترل شامل حس‌گرهای اندازه‌گیری، سخت‌افزار کنترل‌گر (مانند PLCها)، عمل‌گرها (مانند شیرهای کنترل، کلیدهای برقی، سوئیچ‌ها و موتورها) و ارتباط بین متغیرها (نرم‌افزار و الگوریتم کنترل) است. مقادیر قرائت شده مرتبط با پارامتر کنترل[3] از حس‌گرها به کنترل‌گر منتقل می‌شوند. کنترل‌گر، سیگنال‌ها را بر اساس مقدار تعیین‌شده (هدف)[4] تفسیر می‌کند و متغیرهای متناظر جدیدی (متغیرهای اقدام کنترلی[5]) را تولید می‌کند، که به عمل‌گرها منتقل می‌شود. تغییرات ناشی از این اغتشاش، منجر به ایجاد سیگنال‌های جدیدی در حس‌گرها می‌شود (شرایط جدید سامانه) که مجددا به کنترل‌گر منتقل می‌شود.

1- Industrial Control System
2- Distributed Control Systems
3- Controlled Variables
4- Set point
5- Controlled Action Variables

رابط انسان- ماشین (HMI)؛ اپراتورها و مهندسان از HMIها برای تنظیم نقاط هدف، الگوریتم‌های کنترل، تنظیم و ایجاد پارامترها در کنترل‌گر استفاده می‌کنند. رابط انسان- ماشین همچنین اطلاعات وضعیت فرایند و اطلاعات سابقه را نمایش می‌دهد.

عیب‌یابی از راه‌دور و خدمات نگهداری و تعمیرات؛ ابزارهای تشخیصی و تعمیر و نگهداری برای جلوگیری، شناسایی و بازیابی خرابی‌ها استفاده می‌شود.

یک سامانه کنترل صنعتی به طور کلی شامل تعداد بسیار زیادی حلقه‌های کنترل، HMI، عیب‌یابی از راه‌دور و ابزارهای تعمیرات و نگهداری در آرایه‌ای از پروتکل‌های شبکه با قالب لایه‌ای است. گاهی اوقات این حلقه‌های کنترل، زنجیره‌ای[1] یا تو در تو[2] هستند که براساس آن، مقدار هدف[3] برای هر حلقه بر مبنای متغیر تعیین‌شده توسط حلقه دیگر مشخص می‌شود. حلقه‌های سطح نظارتی[4] و حلقه‌های سطح پایین‌تر[5] به طور پیوسته در طول مدت یک فرایند با چرخهٔ زمانی از هزارم ثانیه تا دقیقه، عمل می‌کند.



شکل ۴-۱- عملیات اصلی سامانه کنترل صنعتی

1- Cascading
2- Nested
3- Set Point
4- Supervisory-level Loops
5- Lower-level Loops

ابزار و ادوات الکترونیکی و کنترلی برخلاف ابزار و ادوات مکانیکی، وابستگی زیادی به صنعتی که در آن استفاده می‌شوند، ندارند. ابزار الکترونیکی و کنترلی توسط سیگنال‌های الکتریکی با سامانه تحت‌کنترل خود ارتباط دارند، بنابراین برای این ابزار، نحوه پردازش سیگنال‌های ورودی و تولید سیگنال‌های لازم خروجی، اهمیت دارد و نه فرایند تحت کنترل؛ ازاین‌رو، این ادوات به قدر کفایت، انعطاف‌پذیری لازم جهت انطباق با انواع سامانه‌ها را دارا هستند (ر.ک. پ.۱-۴).

۴-۳- متغیرها و پارامترهای کنترل

عملکرد موفق یک سامانه کنترل بستگی به توانایی آن در تعیین دقیق «متغیرهای اقدام کنترلی» برای رسیدن به مقدار تعیین‌شده «پارامتر کنترل» دارد. الگوریتم کنترل یک روال تصمیم‌گیری است که با بررسی و پردازش ورودی‌های کنترل، شامل متغیرهای اندازه‌گیری شده و مقدار هدف در یک سازه، یک متغیر اقدام کنترلی (مانند بازشدگی دریچه) را محاسبه و برای اعمال تغییر به عمل‌گر ارسال می‌کند. به این ترتیب متغیرهای سامانه کنترل عبارتند از؛ ۱- پارامترهای کنترل، ۲- متغیرهای اندازه‌گیری شده و ۳- متغیرهای اقدام کنترلی.

پارامترهای کنترل؛ به متغیرهایی گفته می‌شود که سامانه کنترل سعی در حفظ آن‌ها در مقداری ثابت دارد که این مقادیر ثابت معمولا مقادیر هدف گفته می‌شوند و در شبکه‌های آبیاری، آبدهی، سطح آب (عمق) بازه، حجم آب بازه کانال و فشار در لوله هستند. در کانال‌های آبیاری با توجه به آسان‌تر بودن اندازه‌گیری سطح آب و همچنین بیان‌شدن بسیاری از خصوصیات هیدرولیکی جریان و محدودیت‌های فیزیکی بر اساس تراز سطح آب، معمولا این متغیر به عنوان پارامتر کنترل در نظر گرفته می‌شود. اما در یک طرح کنترلی در نقاط مختلف شبکه آبیاری، ممکن است پارامترهای کنترل متفاوتی به کار رود. برای مثال معمولا در روش کنترل بالادست، در تاسیسات آبگیری کانال پارامتر کنترل، آبدهی و در سازه‌های تنظیم پایین‌دست پارامتر کنترل، سطح آب انتخاب می‌شود تا بار آبی/فشار ثابت برای آبگیرها فراهم شود.

متغیرهای اندازه‌گیری شده؛ شامل سطح (عمق) آب (در بالادست یا پایین‌دست یا نقطه میانی بازه)، آبدهی سازه/پمپ و میزان گشودگی سازه تنظیم است. این متغیرها نیز افزون بر مقدار هدف در هر سازه، ورودی الگوریتم کنترل هستند.

متغیرهای اقدام کنترلی؛ به متغیرهایی گفته می‌شود که سامانه کنترل برای بازگرداندن «پارامتر کنترل» به مقدار هدف، تنظیم می‌کند. زمانی که پارامتر کنترل مشخص شد، یک متغیر اقدام کنترلی مناسب باید انتخاب شود. در شبکه‌های آبیاری، تقریبا همیشه متغیرهای اقدام کنترلی برای دریچه و شیر، میزان گشودگی و در پمپ‌ها خاموش و روشن یا فرکانس VFD است، حتی اگر خروجی مورد نظر در نقطه کنترلی آبدهی باشد. به عنوان مثال، برای یک تنظیم‌کننده سطح آب خودکار، سطح آب پارامتر کنترل و گشودگی دریچه (وضعیت دریچه) متغیر اقدام کنترلی است. بنابراین، کنترل‌گر میزان گشودگی دریچه را برای تنظیم سطح آب در نقطه هدف تغییر می‌دهد. در شرایط دیگری، سطح آب یک بازه از کانال می‌تواند تحت تاثیر گشودگی دریچه تنظیمی در پایین‌دست یا بالادست موقعیت اندازه‌گیری

سطح آب قرار گیرد. از هر دو دریچه می‌توان برای تغییر سطح آب بازه استفاده کرد، اما نتایج حاصل از استفاده از یکی یا دیگری برایند کاملا متفاوتی در بهره‌برداری دارد.

۴-۴- روش‌های کنترل سامانه‌های آبیاری

راهبردهای بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری را می‌توان به دو دسته تقسیم‌کرد: عرضه‌گرا و تقاضاگرا. بیش‌تر راهبردهای بهره‌برداری در شبکه‌های کشور شامل جنبه‌هایی از هر دو روش هستند.

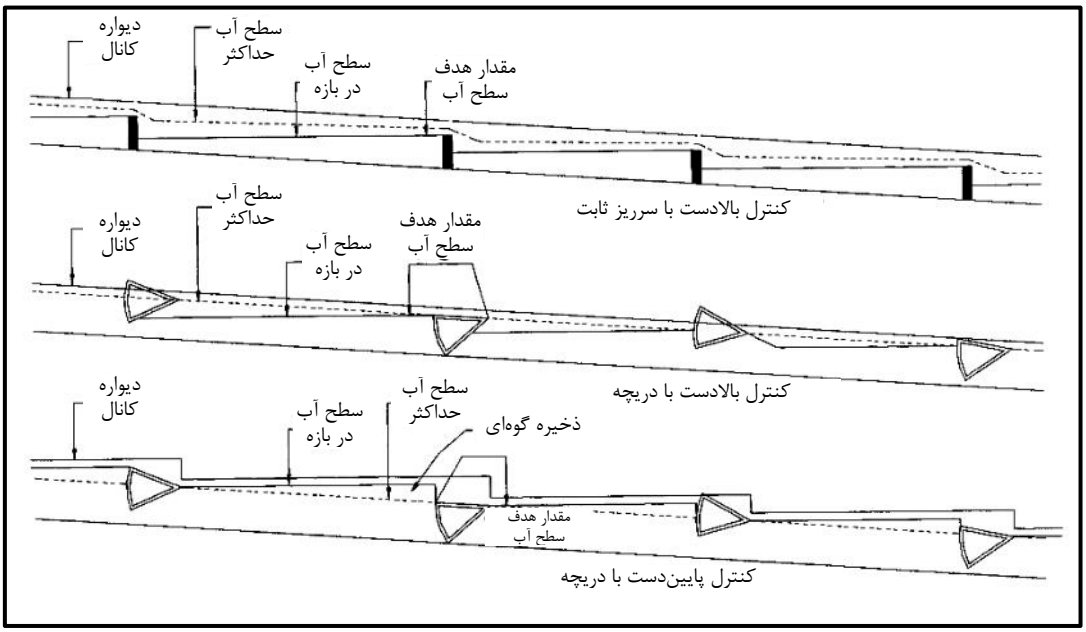
برای یک سامانه عرضه‌گرا، تصمیم‌گیری در مورد مقدار آب برداشت شده و تحویل شده به آب‌بران، توسط یک سازمان دولتی یا نهاد بهره‌بردار صورت می‌گیرد. چنین تصمیماتی مقدار جریان را از یک کانال به کانال بعدی مشخص می‌کند. در نهایت، آب به گروه‌هایی از ذی‌نفعان تحویل‌داده می‌شود و اعمال تغییر را می‌توان تا چنین سطوحی گسترش داد.

سامانه‌های تقاضاگرا، به کشاورزان اجازه می‌دهد تا آب را با توجه به برنامه مدیریت مزرعه، در زمان لازم سفارش‌دهند؛ اگرچه به ندرت روشی اجازه برداشت آب به مقدار نامحدود را در هر زمان به کشاورزان می‌دهد. درهرصورت ظرفیت شبکه و خروجی‌ها، مقدار جریان را محدود می‌کنند و در برخی موارد، امکان تامین آب می‌تواند بیش‌تر از ظرفیت شبکه ایجاد محدودیت کند. از این‌رو منعطف‌ترین شبکه‌های آبیاری درحال حاضر، شبکه‌هایی با تحویل آب توافقی هستند که در آن‌ها کشاورز باید درخواست آب را از پیش به شرکت یا تشکل بهره‌بردار داده باشد.

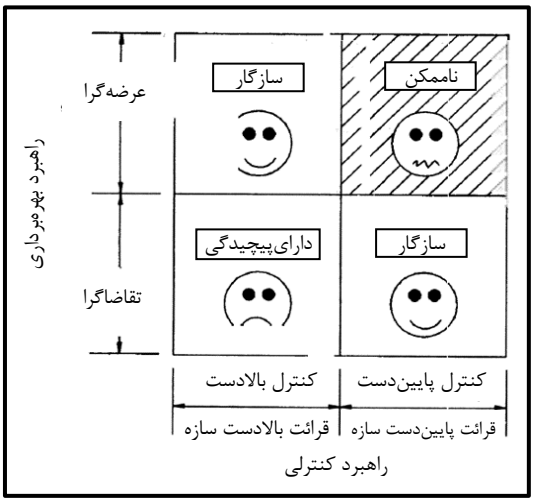
محدودیت‌ها در تامین آب، تاثیر قابل توجهی را در روش‌ها و راهبردهای کنترلی شبکه دارد. صرف‌نظر از این‌که آیا تحویل آب بر اساس تصمیم یک مرکز یا بر اساس سفارش کشاورزان برنامه‌ریزی شده باشد، در برخی مواقع، تصمیم‌گیری برای مقدار جریان برداشت شده از منبع آب، مستقل از ملاحظات نیاز آبیاری خواهد بود. به‌علاوه اندازه‌گیری شدت جریان همیشه دارای مقداری خطا است؛ حتی اگر مقدار کل آبدهی در محل تامین آب با مقدار سفارش واقعی کشاورزان برابر باشد، همچنان در طول شبکه آبیاری به‌دلیل وجود خطا در هر انشعابی، تامین دقیق میزان درخواست آب برای هر یک از کانال‌ها مشکل است. درنتیجه در هر کانالی شرایط به‌گونه‌ای خواهد بود که بین مقدار آب در دسترس و سفارش‌شده اختلاف وجود خواهد داشت. به همین دلیل می‌توان گفت که روش‌ها و راهبردهای کنترلی، امکاناتی را برای غلبه بر این اختلاف‌ها فراهم می‌کنند.

به شکل ساده، روش عمل در کنترل بالادست دارای کنترل آبدهی در ورودی اصلی (تاسیسات آبگیری)، ورودی کانال‌های جانبی و کنترل ثابت تراز آب در بالادست هر آب‌بند در سرتاسر کانال است و در شکل ابتدایی کنترل پایین‌دست، هر تنظیم‌کننده عرضی، تنها مقدار آبدهی لازم برای حفظ تراز سطح آب تعیین‌شده در پایین‌دست را عبور می‌دهد و این مقادیر جمع شده و در نهایت مقدار آبدهی لازم از تاسیسات آبگیری وارد شبکه می‌شود (شکل ۴-۲).

کنترل یک سامانه آبیاری عرضه‌گرا با روش کنترل بالادست امکان‌پذیر است و کنترل یک سامانه آبیاری تقاضاگرا با روش کنترل پایین‌دست کارآیی لازم را فراهم می‌کند. به این ترتیب سازگاری رویکردها در انتخاب راهبرد بهره‌برداری و کنترل (بالادست و پایین) با اهمیت است که به صورت مقایسه ترسیمی در شکل (۴-۳) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۲- نمایش روش‌های کنترل بالادست و پایین‌دست در شبکه آبیاری



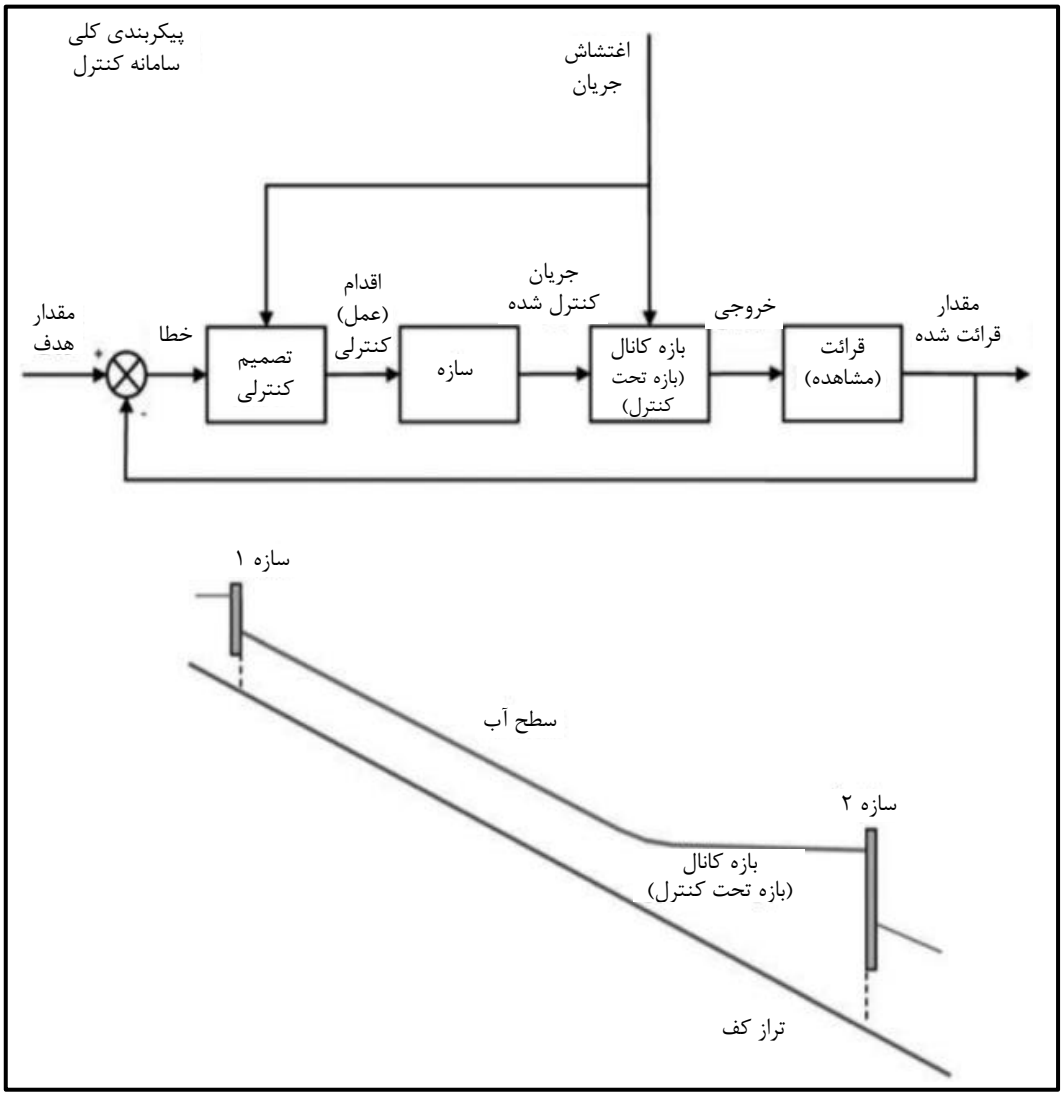
شکل ۴-۳- سازگاری راهبرد بهره‌برداری و راهبرد کنترلی در شبکه آبیاری

۴-۵- فلسفه و مفاهیم کنترل

برای درک بهتر راهبردهای کنترلی و مزایا و محدودیت‌های مفاهیم کنترلی، فرایند کار با نمودار و طرحی از یک بازه کانال ارائه شده‌است. این مفاهیم پایه‌ای در هر بخشی از یک شبکه می‌تواند اعمال شود. طبقه‌بندی این مفاهیم باید به درستی شناخته‌شده و در بخش‌های مختلف به‌کارگرفته شوند تا یک طرح کنترلی جامع را ایجاد کنند.

نمودار کلی کنترل (شکل ۴-۴) اجزای تشکیل‌دهنده یک طرح کنترلی را نشان می‌دهد. هر بلوک در نمودار نشان‌دهنده یک جز فرایند کنترل است. مقدار هدف یا مقدار تعیین‌شده برای پارامتر کنترل در سمت چپ دیده می‌شود. این پارامتر کنترل می‌تواند سطح (تراز) آب، آبدهی، فشار و حجم باشد. مقدار هدف با مقدار واقعی پارامتر (در سمت

راست انتها) مقایسه شده و خطای آن (اختلاف مقدار قرائت شده با مقدار هدف) محاسبه می‌شود. بر اساس این خطا، یک تصمیم کنترلی گرفته خواهد شد و یک اقدام کنترلی روی سازه (دریچه، عمل‌گر یا پمپ) اعمال می‌شود. تصمیم کنترلی عبارت است از گشودگی سازه به اندازه مشخص و اقدام کنترلی، اعمال فیزیکی این تغییر خواهد بود. تغییر در سازه موجب تغییر جریان در سامانه می‌شود که بر شرایط موجود در بازه کانال تاثیر می‌گذارد. همچنین اختلالات خارجی، مانند تغییر ناگهانی جریان ورودی به بازه کانال، یا یک تغییر در جریان خروجی، می‌تواند شرایط بازه کانال را تغییر دهد. به مجموع اثرات اقدام کنترلی و این اختلالات، «خروجی» گفته می‌شود که به بیان ساده همان شرایط داخل بازه کانال است، همچنین متغیر قرائت‌شده (متغیر اندازه‌گیری) به عنوان «ورودی» برای تصمیم کنترلی هستند. پارامتر کنترل و متغیر اقدام کنترلی برای انواع مختلف کنترل متفاوت است، اما هر سامانه کنترل دستی یا خودکار شامل این ویژگی‌های پایه‌ای مذکور می‌شود. چنین نمودارهایی به مشخص‌کردن شرایط و الزامات سامانه‌های کنترل کمک می‌کند.



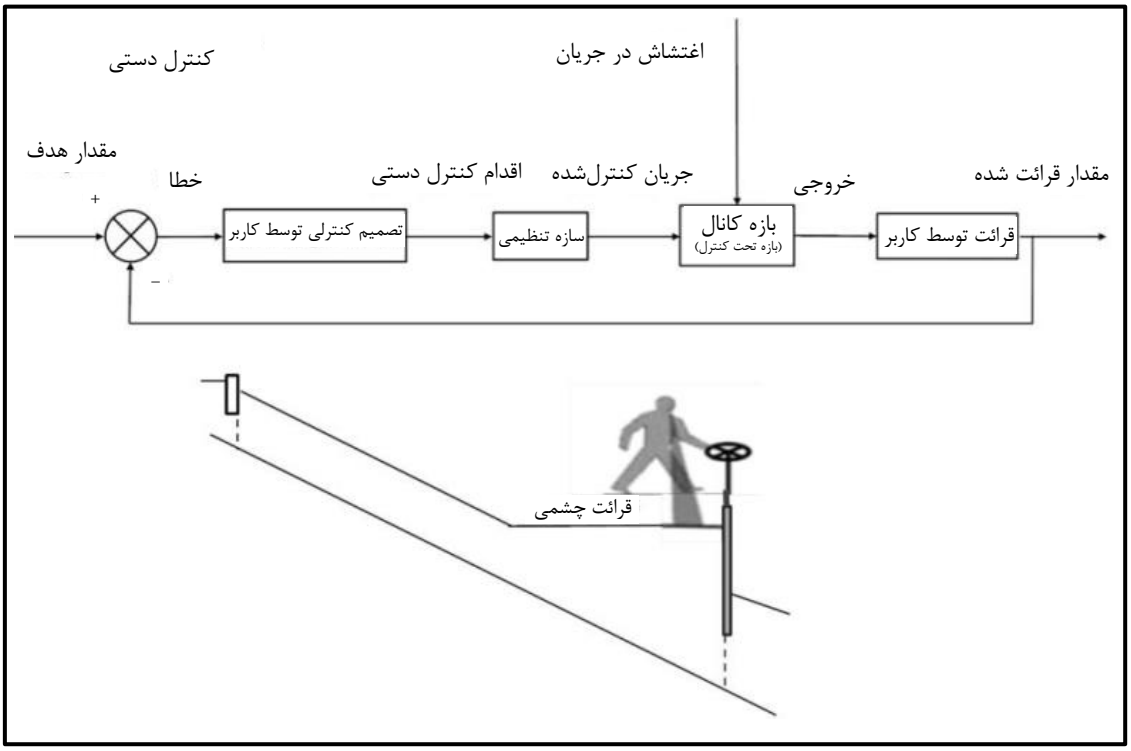
شکل ۴-۴- نمودار پیکربندی کلی کنترل

۴-۵-۱- کنترل دستی و کنترل خودکار

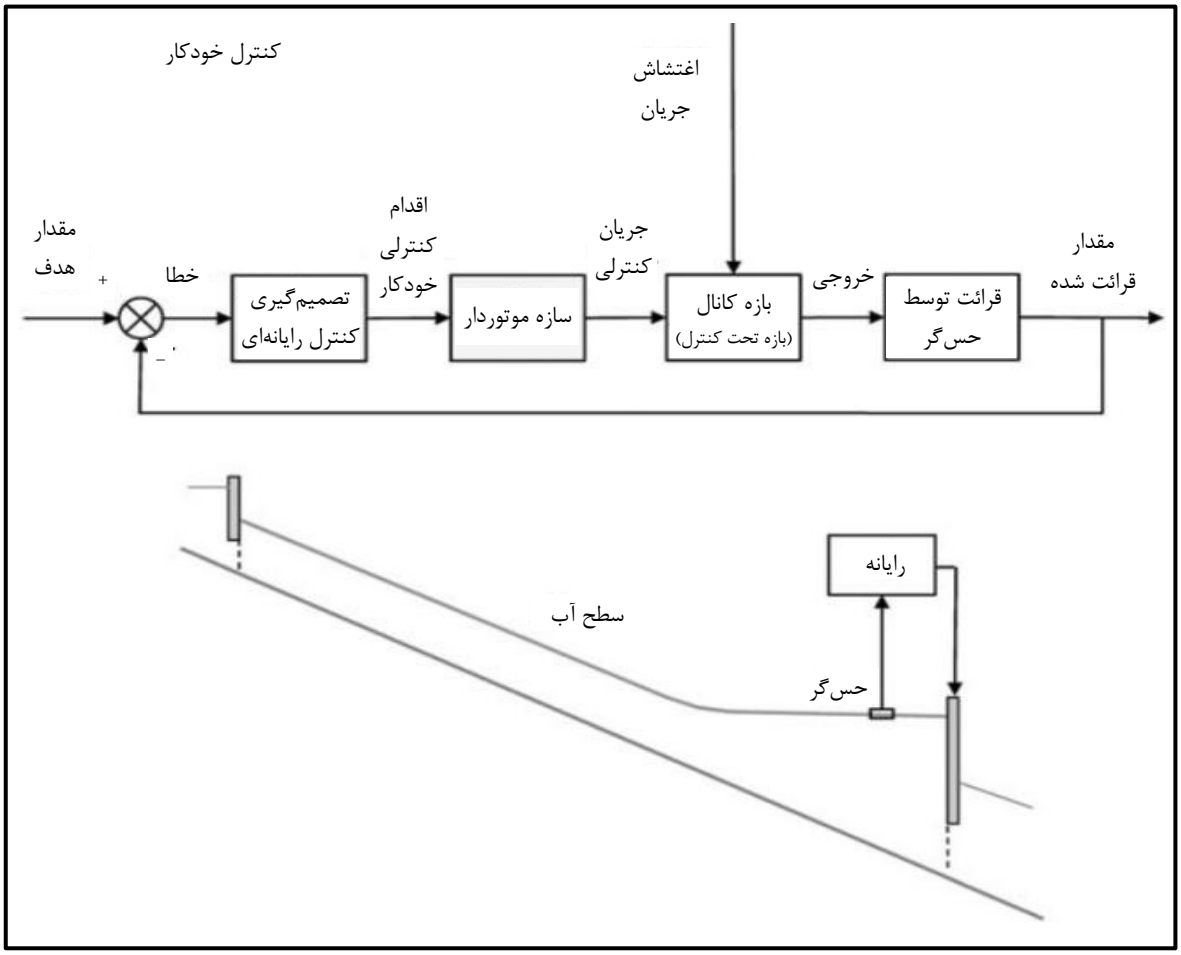
کانال‌ها یا بخشی از کانال‌ها را می‌توان توسط اپراتورها یا رایانه‌ها کنترل‌کرد. در حالت اول، یک اپراتور در منطقه، تراز سطح آب را در محلی که نیاز به کنترل دارد، قرائت می‌کند و در صورت لزوم تنظیم سازه را تغییر می‌دهد. این مفهوم کنترل به کنترل «دستی» (شکل ۴-۵) شناخته می‌شود. کنترل دستی می‌تواند با استفاده از یک سامانه اسکادا با طراحی مناسب، به‌شکل «کنترل راه‌دور دستی» نیز اجرا شود.

در کنترل خودکار نوین (شکل ۴-۶)، حس‌گرهای الکترونیکی، مقدار متغیر مورد نظر را اندازه‌گیری می‌کنند و سیگنالی را به یک ریزپردازنده یا کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر (PLC) ارسال می‌کنند. یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، سیگنال را برای کامپیوتر قابل خواندن می‌کند. یک الگوریتم، اقدام کنترلی لازم را محاسبه کرده و آن را از طریق یک مبدل دیجیتال به آنالوگ، یا یک سیگنال خاموش-روشن دیجیتال به موتور سازه می‌فرستد. موتور، تغییر مورد نیاز را اعمال می‌کند. معمولا این چرخه به‌صورت خودکار در یک فاصله زمانی ثابت تکرار می‌شود.

در شکل (۴-۶) کنترل خودکار، به‌شکل کنترل محلی نمایش‌داده شده است. یکی دیگر از راه‌های غیردستی کنترل دریچه‌ها، توسط دریچه‌های هیدرولیکی (شناور) مانند آویس و آویو یا دریچه‌های آمیل است. این نوع از دریچه‌ها در فصل ۳ به طور خلاصه مورد بحث قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۵- دیاگرام پیکربندی کنترل دستی



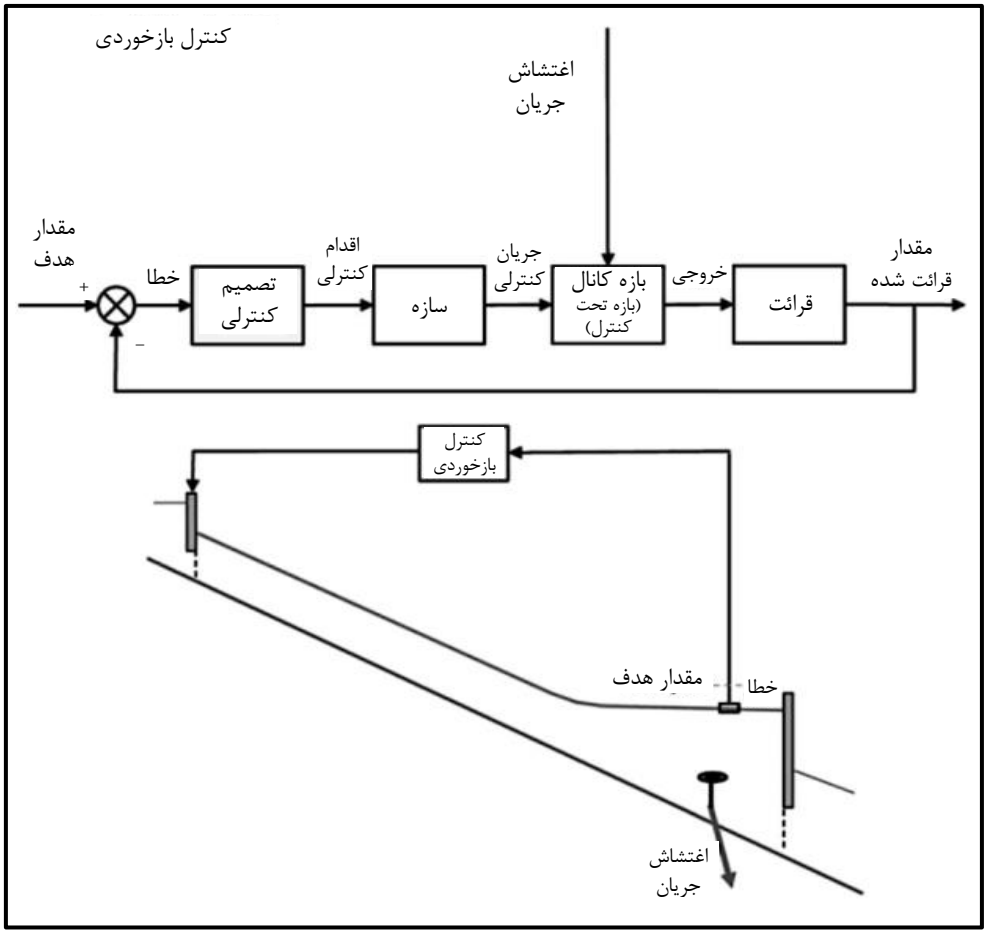
شکل ۴-۶- دیاگرام پیکربندی کنترل خودکار

۴-۵-۲- کنترل بازخوردی و کنترل پیش‌خوردی (نوع کنترل)

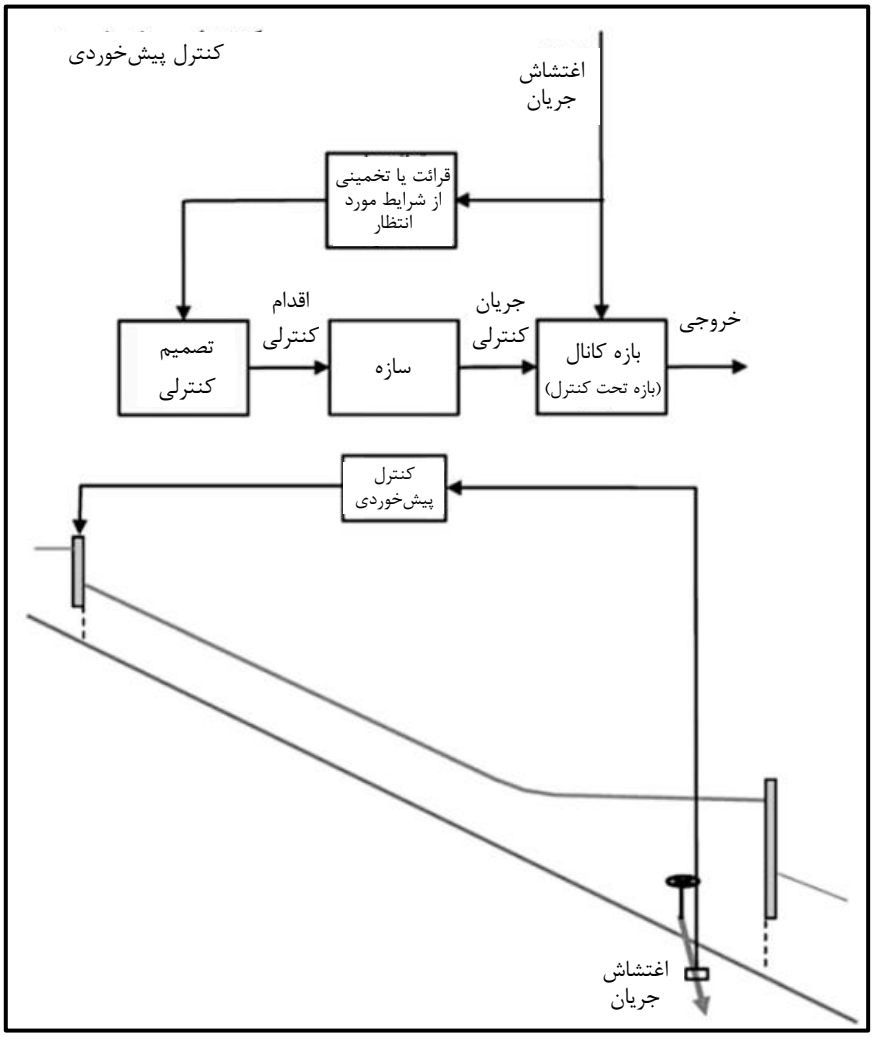
کنترل بازخوردی یک روش کنترل است که مقدار متغیر مورد نظر را با یک مقدار هدف مقایسه می‌کند. هنگامی که بین مقدار مشاهده شده و مورد نظر انحرافی وجود داشته‌باشد، یک کنترل‌گر، مقدار تغییر لازم در ورودی بازه کانال را بر اساس این خطا، محاسبه می‌کند. این تغییر برای اعمال، به سازه ارسال می‌شود که منجر به تنظیم جریان در سازه می‌شود و بر شرایط هیدرولیکی بازه کانال تاثیر می‌گذارد. این چرخه کنترلی بسته است، زیرا کنترل‌گر تغییرات ایجاد شده در سطح آب (بعد از اعمال تغییر) را در گام زمانی بعدی مشاهده می‌کند و چرخه کنترل تکرار می‌شود. در شکل (۴-۷) کنترل بازخوردی پایین‌دست در فاصله دور مشاهده می‌شود.

کنترل پیش‌خوردی، بر خلاف کنترل بازخوردی، به خطای بین مقدار هدف و مقدار مشاهده شده، واکنش نشان نمی‌دهد، بلکه به یک تغییر (اختلال) که می‌تواند موجب بروز خطا در آب تحویلی شود (به عنوان مثال، خطا در آب تحویل داده شده) واکنش نشان می‌دهد. برای تعدیل اثر اختلال بر سطح آب، کنترل‌گر پیش‌خوردی از یک مدل برای تعیین اقدامات کنترلی که تاثیر این اختلال‌ها را به حداقل برساند، استفاده می‌کند. برای مثال در شکل (۴-۸)، مدل تنها شامل زمان تاخیر تخمینی (τ_d)، بین سازه بالادست بازه و محل آبگیر است. هنگامی که معلوم باشد که آبگیر در زمان t با

آبدهی Q_d باز خواهدشد، سازه بالادست می‌تواند مقدار مورد نیاز را به مقدار Q_d و در زمان $t-\tau_d$ (زمان پیش‌بینی‌شده) به بازه وارد کند. کنترل‌گرهای پیش‌خوردی، اغلب از پیش‌بینی آبدهی آبگیرهای متوالی استفاده می‌کنند.



شکل ۴-۷- نمودار پیکربندی کنترل بازخوردی

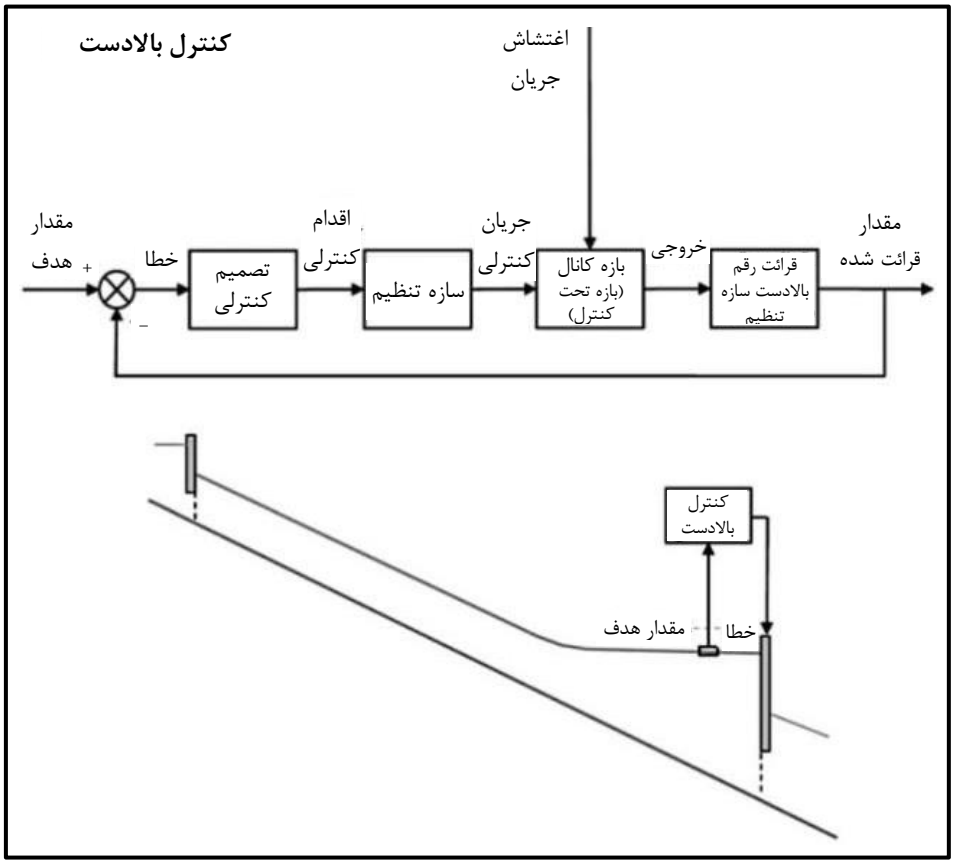


شکل ۴-۸- نمودار پیکربندی کنترل پیش‌خوردی

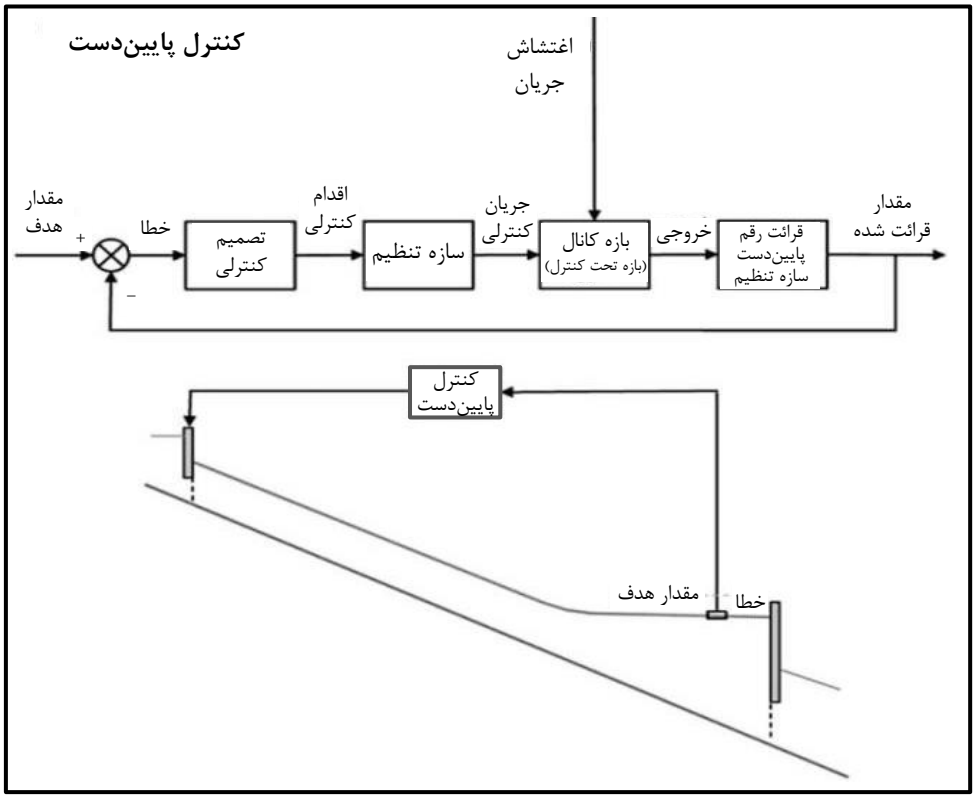
۴-۵-۳- جهت کنترل بالادست و پایین‌دست

هنگام استفاده از کنترل بازخوردی سطح آب در کانال، از دو جهت کنترلی می‌توان استفاده کرد؛ بالادست یا پایین‌دست. هنگام استفاده از جهت کنترل بالادست (شکل ۴-۹)، مشاهدات (قرائت‌ها) از بالادست سازه تنظیم انجام می‌شود. هنگامی که افزایش جریان در بالادست اتفاق افتد، تغییر در سطح آب تشخیص داده‌شده و کنترل‌گر این اختلال (تغییر جریان) را به بازه پایین‌دست سازه، انتقال می‌دهد.

در جهت کنترل پایین‌دست (شکل ۴-۱۰)، مشاهده (قرائت) در پایین‌دست سازه تنظیم انجام می‌شود؛ تغییر سطح آب در آن، به عنوان مثال، افت سطح آب تشخیص‌داده شده و منجر به بازشدن سازه تنظیم بالادست می‌شود. در این مثال، افزایش جریان تغییری است تا سطح آب را به سطح مورد نظر بازگرداند.



شکل ۴-۹- نمودار پیکربندی جهت کنترل بالادست



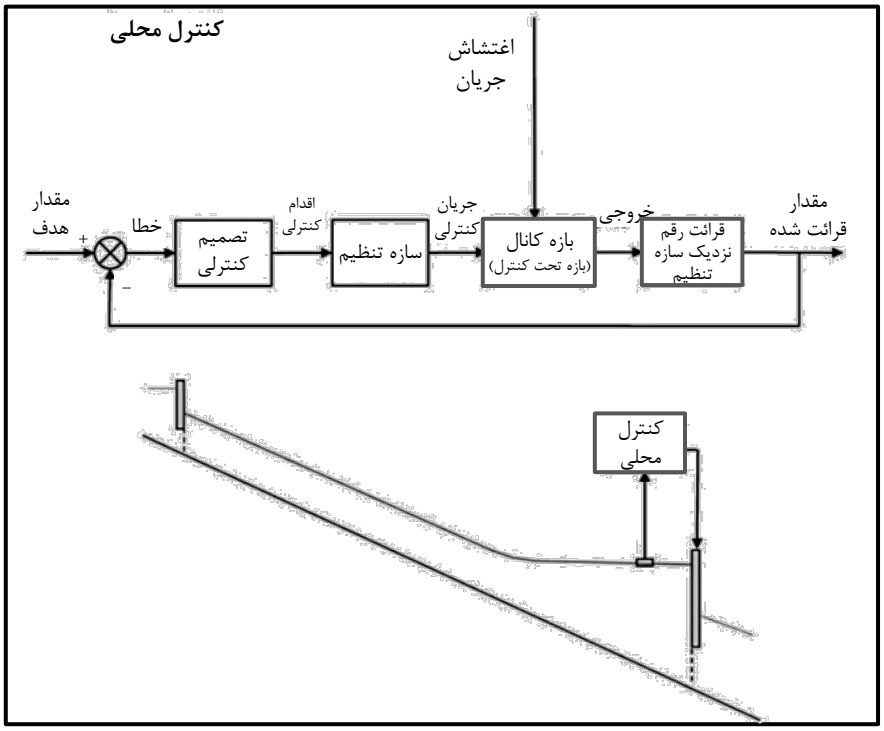
شکل ۴-۱۰- نمودار پیکربندی جهت کنترل پایین‌دست

۴-۵-۴- کنترل قرائت محلی، کنترل قرائت از دور و کنترل راه‌دور

کنترل بازخوردی را با استفاده از مشاهده و قرائت در هر محلی در طول کانال می‌توان به‌کار گرفت. کنترل قرائت محلی[1] (کنترل محلی[2]) (شکل ۴-۱۱)، به شرایطی گفته می‌شود که مشاهده و قرائت در اطراف سازه تنظیم (بالادست یا پایین‌دست) انجام‌شود.

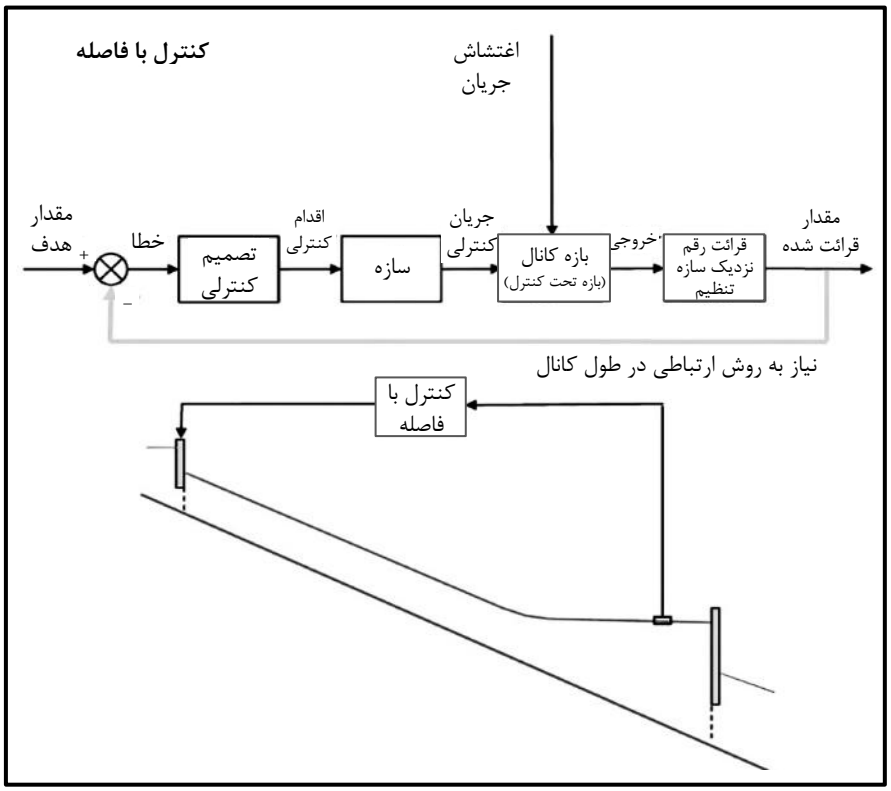
در کنترل قرائت از دور[3] (کنترل بافاصله[4]) (شکل ۴-۱۲)، قرائت در محلی در فاصله‌ای دورتر از سازه تنظیم انجام می‌شود، که این محل معمولا در انتهای دیگر بازه کانال مانند سیستم ELFLO، در برخی موارد در میان بازه مانند سیستم BIVAL، و در برخی موارد در نقاط مختلف در طول بازه مانند سیستم CARDD، و کنترل دینامیک، کنترل بهینه است. برخلاف کنترل محلی، برای ارسال اطلاعات قرائت شده به انتهایی که سازه تنظیم قرار دارد، نیاز به وسیله ارتباطی است.

کنترل از راه‌دور[5] (شکل ۴-۱۳)، به شرایطی گفته‌می‌شود که تمامی اقدامات و تصمیم‌گیری‌ها در یک مرکز کنترل صورت‌گرفته و از این مرکز به نقاط شبکه ارسال می‌شود.

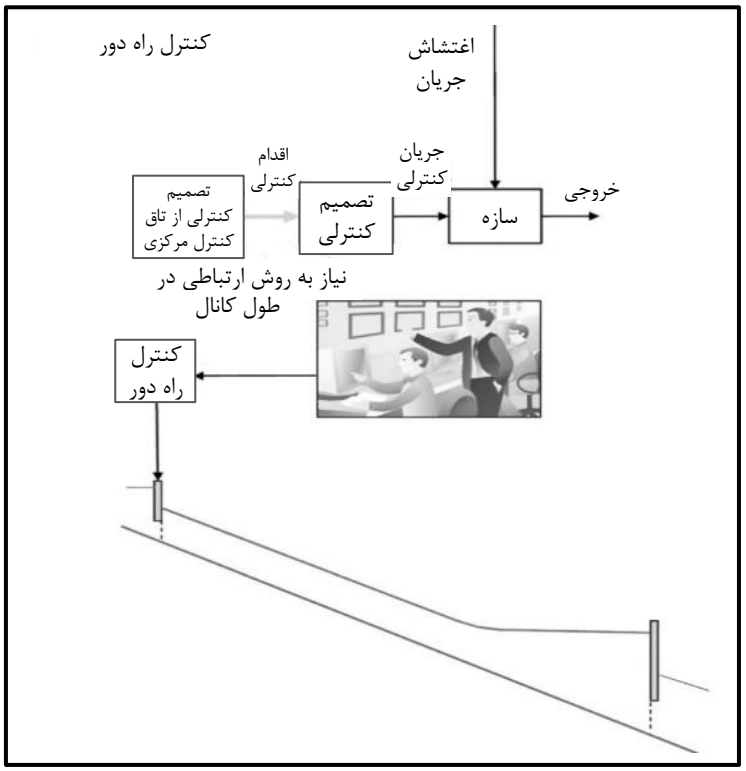


شکل ۴-۱۱- نمودار پیکربندی کنترل محلی

1- Local-observation Control
2- Local Control
3- Distant-observation Control
4- Distant Control
5- Remote Control



شکل ۴-۱۲- نمودار پیکربندی کنترل قرائت از دور (کنترل بافاصله)



شکل ۴-۱۳- نمودار پیکربندی کنترل از راه‌دور

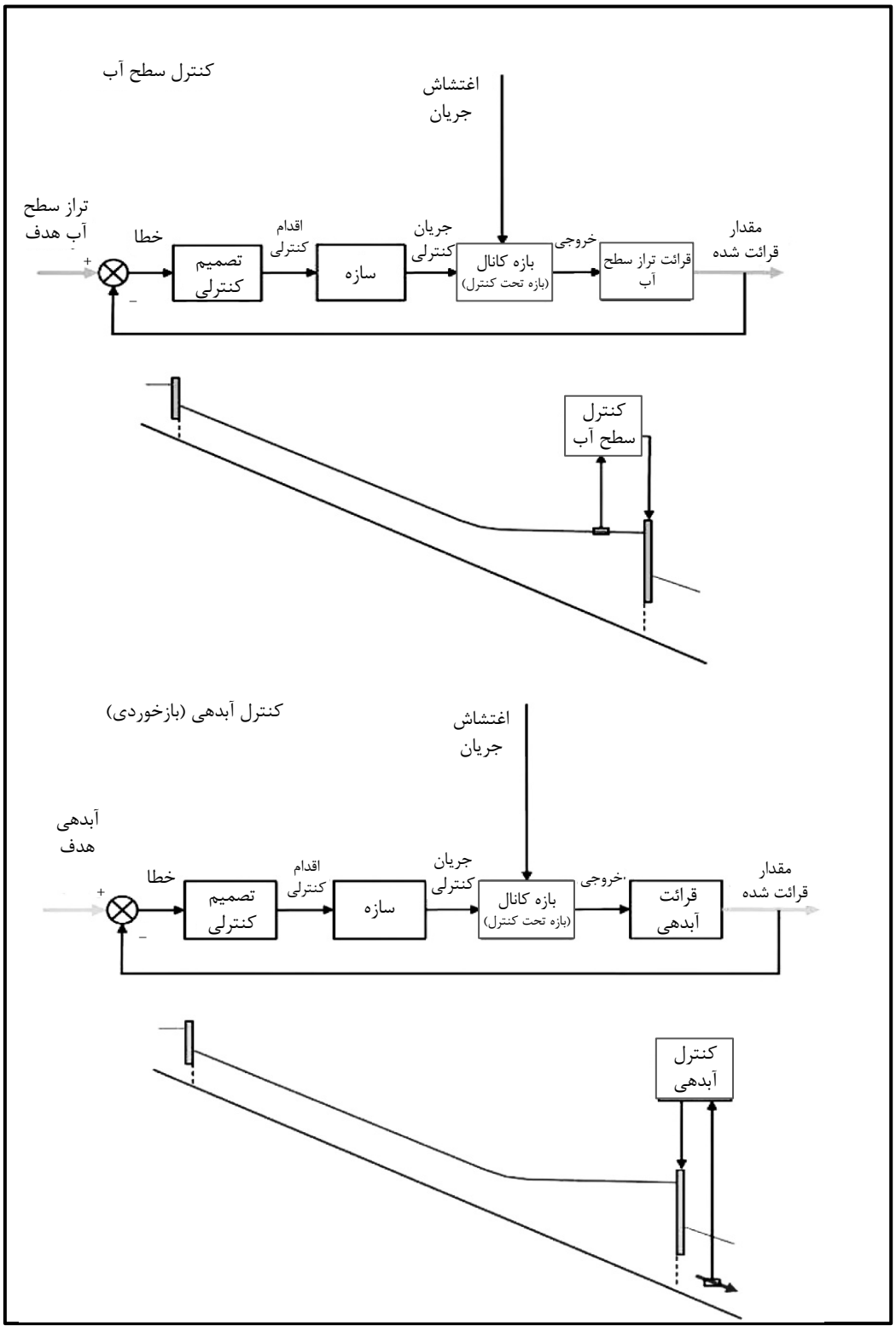
۴-۵-۵- کنترل سطح آب، آبدهی یا حجم

متغیرهای سطح آب، آبدهی و حجم را می‌توان کنترل کرد و به آن‌ها «پارامترهای کنترل[1]» اطلاق می‌شود. کنترل سطح آب، معمول‌ترین روش است که پیش‌تر مورد بحث قرارگرفته است. شکل (۴-۱۴) تفاوت بین کنترل سطح آب و کنترل آبدهی را نشان می‌دهد (در این شکل از کنترل بازخوردی استفاده شده است).

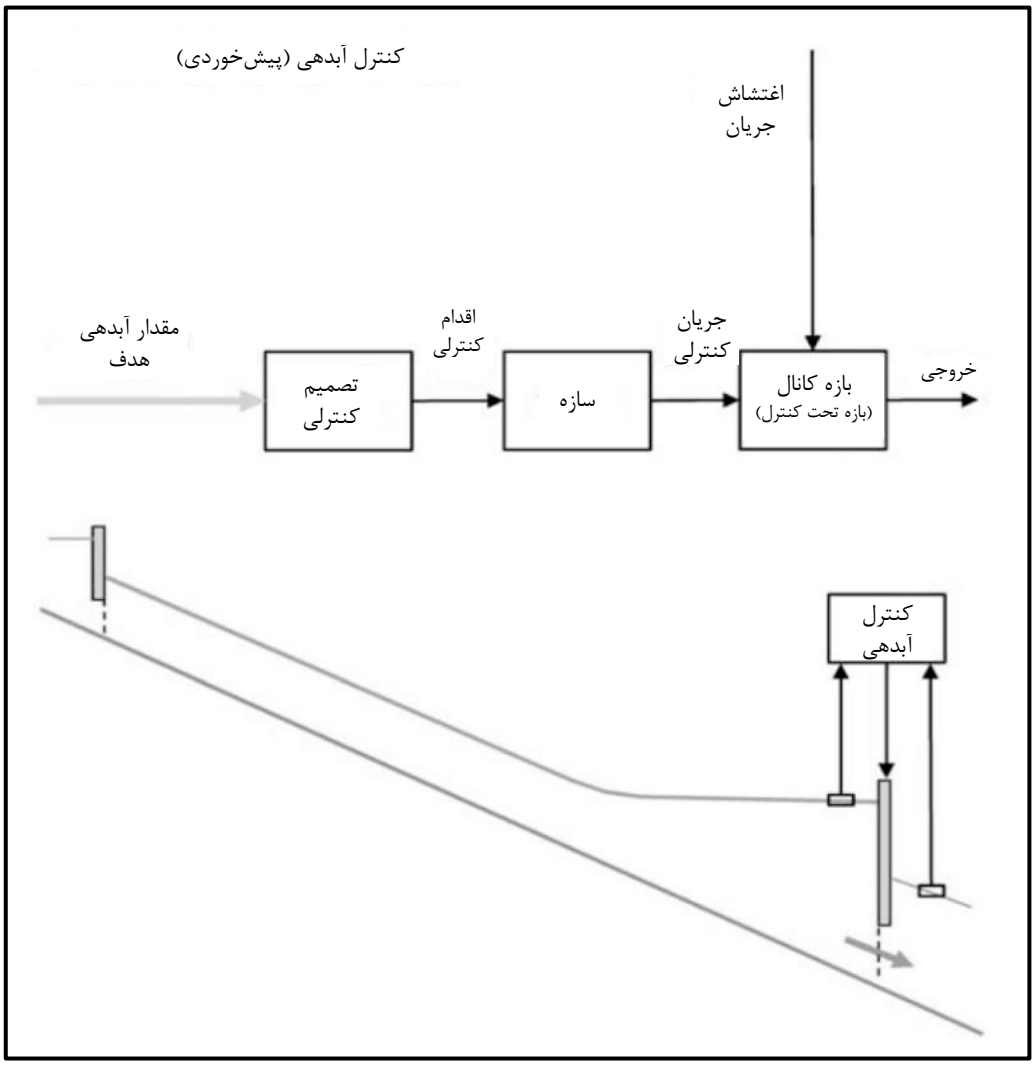
آبدهی را می‌توان با استفاده از کنترل بازخوردی مطابق شکل (۴-۱۴)، یا با استفاده کنترل پیش‌خوردی (شکل ۴-۱۵) که از معکوس رابطه بارآبی- آبدهی سازه تنظیمی برای رسیدن به آبدهی لازم استفاده می‌شود، کنترل کرد. در مثال شکل (۴-۱۵)، ترازهای سطح آبی که بر آبدهی سازه روزنه‌ای تاثیرگذار است، قرائت شده و رابطه دریچه برای محاسبه و تنظیم درست دریچه در موقعیت مناسب استفاده می‌شود. «متغیر اقدام کنترلی[2]» در مثال اول، آبدهی و در مثال دوم، موقعیت دریچه است. کنترل آبدهی روی جریانی که از داخل سازه تنظیم عبورکرده و به پایین‌دست آن وارد می‌شود اعمال می‌شود؛ و اغلب ابزار اندازه‌گیری در پایین‌دست سازه نصب می‌شود که معمولا در نزدیکی سازه تنظیم است، اما در مواردی می‌تواند در فواصل دورتر قرار گیرد (مانند سرریز یا هرزرفت در انتهای پایین‌دست کانال). به این‌ترتیب می‌توان گفت که کنترل بالادست آبدهی در سازه یک روش عملی نیست. در تاسیسات آبگیری یا جایی که از پمپ استفاده می‌شود (مانند مخازن تنظیمی و ...) درصورتی که کنترل شبکه بالادست باشد یا پایین‌دست باشد، پمپ با کنترل آبدهی در کنترل شبکه موثر است.

از آنجا که حجم را نمی‌توان به ظور مستقیم قرائت‌کرد، در کنترل حجمی (شکل ۴-۱۶)، حجم آب را بر پایه قرائت تراز سطح آب تخمین می‌زنند که معمولا در دو انتهای بالادست و پایین‌دست بازه کانال صورت می‌گیرد. حجم آب با دانستن ابعاد بازه کانال و میانگین وزنی از قرائت‌های تراز سطح آب یا با محاسبه مقدار «برگشت آب[3]» تخمین‌زده می‌شود. در کنترل حجمی ثابت، حجم آب بازه کانال ثابت نگه‌داشته می‌شود؛ به‌دلیل تغییرات در گرادیان هیدرولیکی (HGL[4])، با تغییر آبدهی، سطح آب در اکثر نقاط در کانال تغییر می‌کند. در این شرایط (کنترل BIVAL)، سطح آب در محدوده میانه بازه کانال، تقریبا ثابت می‌ماند؛ از آنجاکه آبگیرها معمولا در این محدوده قرار ندارند، دریچه آبگیرها باید برای ثابت نگه‌داشتن آبدهی تنظیم شوند که این کار با کنترل‌گرهای آبدهی صورت می‌گیرد. کنترل‌کننده‌های حجمی که با زمان، اجازه تغییر در حجم بازه کانال را می‌دهند، امکان استفاده از کانال را برای ذخیره موقت آب فراهم می‌کنند.

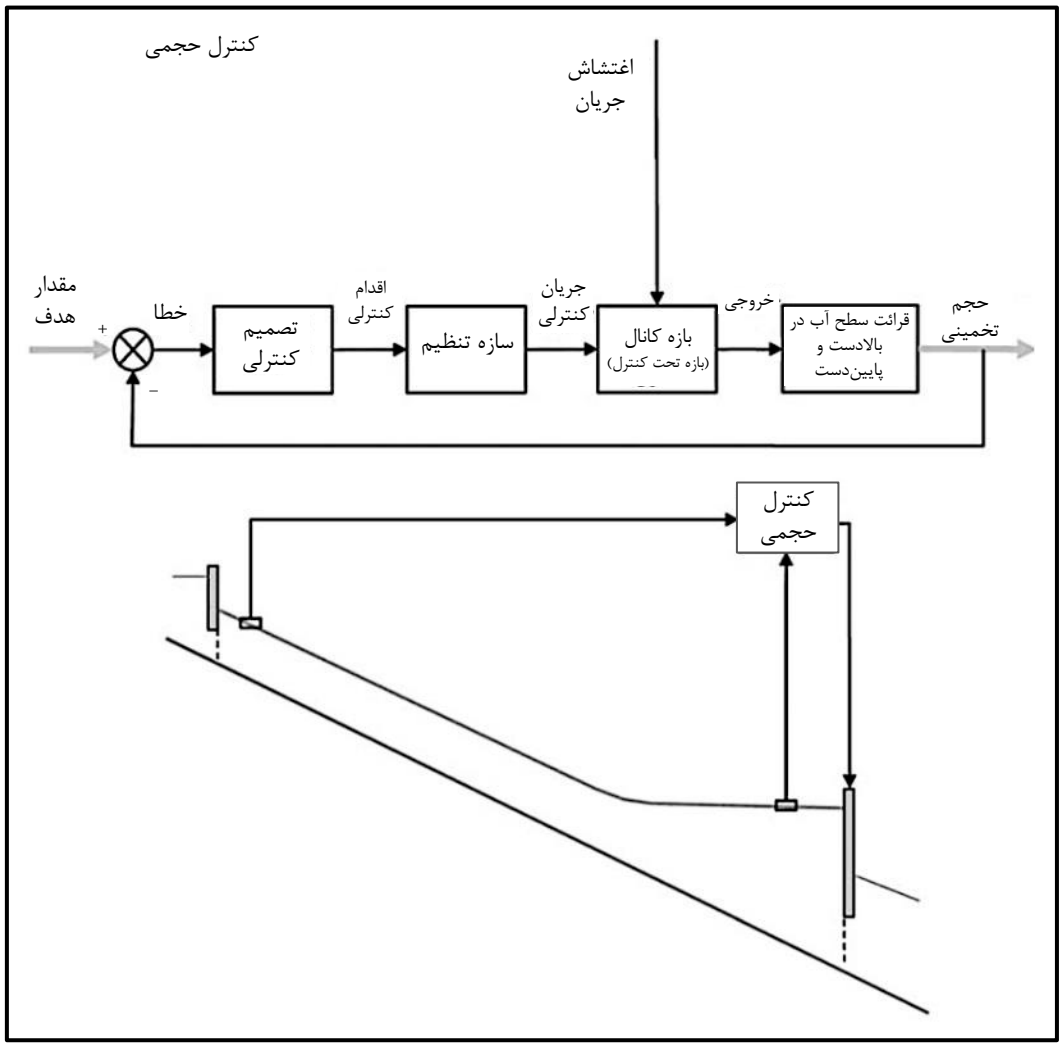
1- Controlled Variables
2- Control Action Variable
3- Backwater
4- Hydraulic Grade Line



شکل ۴-۱۴- نمودارهای پیکربندی کنترل سطح آب و آبدهی (با کنترل بازخوردی)



شکل ۴-۱۵- نمودار پیکربندی کنترل آبدهی (با کنترل پیش‌خوردی)



شکل ۴-۱۶- نمودار پیکربندی کنترل حجمی

در جدول (۴-۱) روش‌های ارائه شده با نمودار خلاصه شده است.

جدول ۴-۱- خلاصه‌ای از مفاهیم کنترلی

روش بهره‌برداری	دستی	خودکار
نوع کنترل	بازخوردی	پیش‌خوردی
موقعیت اقدام کنترلی	محلی	راه‌دور
موقعیت اندازه‌گیری (قرائت)	محلی	بافاصله
جهت کنترل/روش کنترل	بالادست	پایین‌دست
متغیر اقدام کنترلی	موقعیت دریچه	آبدهی
پارامتر کنترل	سطح و حجم آب	آبدهی

۴-۶- ترکیب روش‌ها و مفاهیم کنترلی

در یک شبکه آبیاری، می‌تواند ترکیبی از مفاهیم و روش‌های کنترلی از پیش گفته شده، استفاده شود. برای تبیین این موضوع، در اینجا کنترل معمول دستی تشریح می‌شود. در کنترل دستی، آبدهی ورودی به کانال، چه با تقاضای پایین‌دست مطابق باشد یا خیر، توسط اپراتور تنظیم می‌شود. اپراتور دریچه‌ها (آبگیرها و سازهای تنظیمی در طول کانال) را در هر انشعاب برای تقسیم مناسب آب تنظیم می‌کند. در کنترل دستی معمول، تنظیم این دریچه‌ها ثابت می‌مانند و جریان با توجه به شرایط هیدرولیکی سازها (به‌عبارتی حساسیت نسبی دریچه به تغییرات سطح آب) تقسیم می‌شود. بعد از مدتی، (مثلا، زمانی که سطح آب پایدار شد)، اپراتور مجددا به کانال باز می‌گردد تا مشخص کند که توزیع آب با تنظیمات اعمال‌شده به درستی انجام می‌شود یا خیر. اگر جواب منفی باشد، اپراتور مجددا تنظیمات جدیدی را اعمال می‌کند. در این مثال، آبدهی و تغییرات ابتدایی در دریچه‌ها، کنترل پیش‌خوردی هستند و تغییراتی که بعدتر اعمال می‌شوند، کنترل بالادست محلی با کنترل بازخوردی است. کنترل آبدهی را می‌توان در تاسیسات آبگیری‌کانال (آب پخش) انجام داد. دریچه‌های خودکار و سازه‌های مکانیکی که سطح آب ثابتی (یا نزدیک به ثابت) را در بالادست آبگیر فراهم می‌کنند، آبدهی با ثبات‌تری را به آبگیرها می‌دهند، حتی اگر سازه آبگیرها خودکار نباشند. هرگونه کسری در جریان ورودی کانال‌ها، منجر به کمبود آب در آخرین آبگیرها می‌شود یا هر مقدار مازاد آب، به آبگیر انتهایی می‌رسد یا به‌شکل سرریز و هرزرفت خارج می‌شود. اگر اپراتور این اجازه را داشته باشد تا هنگامی که مقدار آب خیلی کم یا زیاد باشد، در جریان ورودی تغییری ایجاد کند، این اقدام، نوعی از کنترل پایین‌دست به روش بازخوردی محسوب می‌شود.

هنگام گذار از کنترل سنتی به کنترل خودکار در شبکه آبیاری، این مفاهیم و روش‌های کنترلی نیز با یکدیگر ترکیب می‌شوند.

۴-۶-۱- کنترل شبکه با بخش‌های کنترلی مجزا

معمولا تقسیم سلسله مراتبی کانال‌های مختلف درشبکه یا محدوده کانال‌ها به بخش‌های مجزا، مفید و کاربردی است. این بخش‌ها، تعدادی از سازه‌های تنظیم هستند که یک بخش از شبکه را کنترل می‌کنند. به طور معمول کانال اصلی یکی از این بخش‌ها است و هر یک از کانال‌های جانبی درجه ۱ و ۲ می‌توانند یک بخش کنترلی باشند. برای مثال، کانال اصلی می‌تواند با کنترل از راه‌دور (مانند اسکادا) و انشعابات توسط کنترل خودکار بالادست سطح آب بهره‌برداری شوند. انتهای بالادست کانال‌های ۱ و ۲، عموما به کنترل آبدهی مجهز هستند. یکی دیگر از گزینه‌های واضح برای تقسیم به بخش‌های کنترلی مختلف، محل مخزن است. محدوده بالادست کانال تا مخزن جانبی داخل شبکه می‌تواند توسط کنترل بالادست و محدوده پایین‌دست مخزن توسط کنترل پایین‌دست بهره‌برداری شود.

کنترل آبدهی یا سطح آب در یک بخش، ممکن است تحت تاثیر کنترل درون بخش دیگری قرار گیرد. بنابراین، کنترل یا انتقال اطلاعات بین بخش‌ها باید به وضوح مشخص باشد.

۴-۷- الزامات و شرایط خودکارسازی در سه گروه منبع آب، سامانه انتقال و شبکه توزیع و مصرف

باید توجه شود که «اندازه‌گیری» و «کنترل» دو مفهوم متفاوتند و هر دوی آن‌ها در مدرن‌سازی الزامی به‌شمار می‌روند. خودکارسازی شبکه آبیاری به عنوان یک ابزار مدیریتی در جهت ارتقای کنترل شبکه و بهبود خدمات‌رسانی آب است و بخشی از مدرن‌سازی محسوب می‌شود (ر.ک. ۵-۲). اندازه‌گیری و کنترل آبدهی در ورودی کانال‌ها و خطوط انتقال تحت‌فشار و همچنین در نقاط تحویل در مدرن‌سازی ضروری است و جزو الزامات خودکارسازی محسوب می‌شود؛ چرا که بدون اندازه‌گیری، ورودی الگوریتم کنترلی (متغیرهای اندازه‌گیری شده) وجود ندارد یا ناقص است. نبود یا اشکال و خطای زیاد (بیش‌تر از ۵ درصد) در اندازه‌گیری، یکی از نقاط ضعف در اکثر طرح‌های آبیاری محسوب می‌شود.

نبود سازه‌های تنظیمی به تعداد کافی موجب می‌شود که مقدار آبدهی و حجم آب انتقالی و تحویلی، کنترل نشده و نامشخص باشد. درنتیجه امکان ارزیابی کمی و مدیریت آب، مختل‌شده و به‌کارگیری یک برنامه بهره‌برداری مشکل می‌شود؛ نامشخص بودن برنامه بهره‌برداری، به عنوان یکی از الزامات خودکارسازی، در عمل انجام خودکارسازی را بی‌معنی می‌کند.

۴-۷-۱- الزامات و شرایط خودکارسازی در ارتباط با منبع آب

تغذیه شبکه‌های آبیاری در کشور، بیش‌تر از طریق آبگیری مستقیم از رودخانه‌ها است و تعداد معدودی از شبکه‌ها مستقیم به مخازن ذخیره یا تنظیمی متصل هستند. اصولا ارتباط شبکه‌های آبیاری با منبع آبی یکی از سه حالت زیر است که در تصمیم‌گیری برای خودکارسازی سامانه، هرکدام الزاماتی را در پی دارد:

الف- اتصال مستقیم شبکه به سد مخزنی یا سد تنظیمی (شبکه متصل به منبع آب)

ب- آبگیری از رژیم طبیعی رودخانه (ثقلی یا پمپاژ)

پ- آبگیری از رودخانه با رهاسازی برنامه‌ریزی‌شده از سد مخزنی بالادست

ت- پمپاژ مستقیم از دریاچه سد مخزنی یا سد تنظیمی و تغذیه شبکه

یکی از الزامات در کنترل شبکه آبیاری، مشخص بودن مقدار آبدهی ورودی بر اساس نیاز آبی یا آب در دسترس است که در خودکارسازی شکل دریافت تقاضا از آب‌بران (مانند سامانه اینترنتی دریافت تقاضا) و نحوه وارد کردن در سامانه کنترل و انتقال آن به سازه و تجهیزات کنترل‌کننده آبدهی (دریافت داده‌ها توسط شبکه ارتباطی، تعیین مقادیر هدف به صورت دستی یا خودکار) بسیار مهم خواهد بود. در روش کنترل پایین‌دست لازم است تا قابلیت انتقال لحظه‌ای تغییرات آبدهی در شبکه به تنظیم‌کننده تاسیسات آبگیری برای تطابق عرضه و مصرف (تقاضا) آب فراهم شود.

الف- اتصال مستقیم شبکه به سد مخزنی یا سد تنظیمی (شبکه متصل به منبع آب)

وجود مخازن ذخیره‌ای و تنظیمی در ابتدا یا در داخل شبکه‌های آبیاری در اجرای موفقیت‌آمیز خودکارسازی شبکه‌ها، نقش اساسی و تعیین‌کننده دارند. درصورتی‌که این مخازن در ابتدای شبکه قرار داشته باشند، امکانات بیش‌تری در تنظیم و کنترل جریان به صورت سراسری دارند و درصورتی‌که کل سامانه آبیاری به صورت یک‌پارچه تحت کنترل

سامانه خودکار باشد، دستیابی بهره‌برداران به آب مورد نیازشان در شرایط مطلوب قرار گرفته و طبعا تلفات آب در حداقل ممکن خواهد بود. هم‌چنین در شرایطی که شبکه آبیاری در سرتاسر اراضی به صورت یک‌پارچه تحت‌فشار باشد، کنترل جریان در بهترین حالت خواهد بود.

مخازن میانی شبکه نیز در تنظیم جریان در محدوده شبکه پایین‌دست خود همین نقش را خواهد داشت. پایش سطح آب در مخازن تنظیمی، یک بازخورد ساده‌ای را فراهم می‌کند که با آن میزان مطابقت عرضه با تقاضا ارزیابی شود و اجرای عملی برخی از روش‌های کنترلی خودکار (کنترل پایین‌دست) را ممکن می‌سازد.

بدیهی است در شرایطی که سد مخزنی چند منظوره بوده و دارای نیروگاه برقابی باشد، به دلیل نوسان شبانه‌روزی تخلیه سد، شبکه آبیاری در ارتباط با سد تنظیمی پایین‌دست آن عمل‌کرده و می‌تواند مستقیم به این مخزن متصل‌گردد. اما در چنین حالتی لازم است برنامه زمانی و آبگیری شبانه‌روزی تغییرات ظرفیت مخزن و امکانات و محدودیت‌های آن در ارتباط با نقش تنظیمی برای نوسانات شبکه نیز مدنظر قرار گیرد.

ب- آبگیری از رژیم طبیعی رودخانه (ثقلی یا پمپاژ)

با توجه به این‌که جریان آب در رودخانه دائمی، یا فصلی باشد یا این‌که تخصیص مشخصی به صورت آبدهی معین و یا حجم معینی آب در نظر باشد، الزامات متفاوتی ضرورت خواهد یافت.

طبعا در صورتی که تخصیص، به صورت حجمی و بدون محدویت زمانی برداشت، باشد، قابلیت زیادی برای این‌که مدیریت توزیع، برداشت بهینه را دقیقا به اندازه نیاز یا درخواست تنظیم نماید، دارد، اما در شرایطی که آبدهی معینی در یک ماه مشخص مورد نظر باشد، در عمل بهره‌برداری باید بر اساس برنامه باشد و امکان برداشت بر اساس تقاضا با مشکلاتی همراه است، چراکه عدم برداشت و استفاده از آب باعث از دست‌رفتن فرصت و در نهایت باعث نارضایتی بهره‌برداران خواهد شد. در شبکه‌های متصل به رودخانه‌های فصلی، امکان بهره‌گیری از سامانه تماما خودکار، در عمل فاقد توجیه است. اما در رودخانه‌های دائمی با وجود نظام حقابه‌بری یا تخصیص حجمی آب یا آبدهی مشخص، امر خودکارسازی عملی خواهد بود.

پ- آبگیری از رودخانه با رهاسازی برنامه‌ریزی‌شده از سد مخزنی بالادست

این حالت تا حدودی شبیه برداشت از رودخانه‌های دائمی با تخصیص معین است. اما به جهت فاصله مخزن تا محل آبگیری در رودخانه که تاخیر زمانی، نشت و زایندگی رودخانه را در بر دارد، می‌تواند نوساناتی را در پی داشته باشد که برای این نوسانات نیاز به مخزن ذخیره جانبی است.

ت- پمپاژ مستقیم از دریاچه سد مخزنی یا سد تنظیمی و تغذیه شبکه

پمپاژ مستقیم از دریاچه مشابه آبگیری مستقیم از رودخانه‌های با جریان دائمی یا اتصال مستقیم به مخزن همراه با درنظرگرفتن نوسانات سطح آب دریاچه است و میزان نوسان سطح آب نوع و نحوه پمپاژ را تعیین می‌کند. در این حالت نیز معمولا تخصیص آب، حجمی بوده و خودکارسازی بدون مشکل، عملیاتی می‌شود.

وجود یک منبع آب که امکان فراهم کردن آب را برحسب تقاضا داشته باشد و بتوان با اندازه‌گیری و کنترل آبدهی در آن تقاضا و عرضه آب را با هم مطابقت داد، یک الزام در روش کنترل پایین‌دست خودکار محسوب می‌شود. حتی اگر کنترل پایین‌دست فقط محدود به بخشی در پایین‌دست شبکه آبیاری شود.

۴-۷-۲- الزامات و شرایط خودکارسازی در ارتباط با شبکه انتقال و توزیع

برخی اوقات مدرن‌سازی در نتیجه جایگزینی کانال با خط لوله حاصل می‌شود. اگرچه یک سامانه نوسازی شده، ممکن است هم دارای خطوط لوله و هم کانال‌های انتقال آب باشد. جریان در لوله‌های ثقلی یا کم‌فشار اغلب ساختار کنترلی مشابهی مانند کانال‌ها دارند. معمولا کنترل کانال‌ها به دلیل تاخیرات زمانی و انتشار امواج دشوارتر است. جریان در لوله‌های ثقلی زمان‌های تاخیر کم‌تری دارد و انتشار امواج در این لوله‌ها وجود ندارد یا کم است، بنابراین از دیدگاه کنترلی ساده‌تر هستند. به منظور کاهش تاخیر زمانی و کنترل انتشار امواج، کاهش طول بازه‌ها با سازه‌های تنظیمی به تعداد کافی یکی از الزامات کنترل و خودکارسازی محسوب می‌شود.

انتقال آب و سامانه تحویل، بسته به ابعاد و پیچیدگی، متفاوتند و ممکن است تعداد یا تمامی اجزای زیر را داشته باشند:

- مخزن ذخیره
- مخزن تعدیل‌کننده یا تنظیمی
- بند انحرافی
- سیستم توزیع
- سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب
- ظرفیت حجمی کانال در بازه کانال (بین دو سازه تنظیم)
- آبگیر مزرعه و آبگیر انشعابی داخل شبکه
- ایستگاه‌های پمپاژ
- سازه‌های انتقال
- هرزآبروها

آرایش جانمایی کانال‌های کوچک و بزرگ را شرایط توپوگرافی، گستردگی شبکه، تنوع کاربری آب در شبکه شامل زراعت، باغات، وجود حوضچه‌های آبزی‌پروری، اهداف گردشگری، گستره محدوده مالکیت روستاها مشخص می‌کند. یکی از الزامات در شبکه انتقال و توزیع، پیروی از نظم و سلسله مراتب کانال‌ها مطابق با قاعده پذیرفته‌شده شبکه‌های مدرن

آبیاری است. به‌عبارتی واحدهای زراعی شرایط واحد یا شبیه به هم داشته باشند و سازه‌های انتخابی برای تنظیم سطح آب و آبگیرهای تحویل آب از یک جنس، شبیه و یکسان باشند. در این شرایط تجهیزات و برنامه‌های نرم‌افزاری مورد نیاز سامانه‌های خودکار شرایط مطلوب‌تری خواهند داشت.

۴-۷-۳- الزامات و شرایط خودکارسازی در ارتباط با مصرف

خودکارسازی داخل مزارع بسیار متنوع است و اشکال بسیار توسعه‌یافته‌ای در آبیاری دارد. در چند دهه اخیر، خودکارسازی در مزارع با مالکیت واحد، به‌ویژه در استفاده از منابع آب‌زیرزمینی و به‌خصوص پمپاژ از چاه‌ها، توسعه یافته و شرکت‌های مختلفی در این زمینه، تجهیزات و برنامه‌های رایانه‌ای مورد نیاز را به صورت بسته‌های یک‌پارچه ارائه می‌دهند که در مجموع بازخورد خوبی نیز داشته است. در این نوع سامانه‌های خودکار، موضوع اصلی تعیین رطوبت خاک، نیاز آبی محصول و مدیریت توزیع آب در امر آبیاری برای به‌دست آوردن بالاترین بهره‌وری است؛ بدین‌جهت این موارد موضوع بحث در این راهنما نیست.

اما نقطه اتصال مصرف‌کننده یا مصرف‌کنندگان به شبکه آبیاری، آبگیر مزرعه یا آبگیر درجه ۳ است. این آبگیرها کلیدی‌ترین نقطه تحویل آب هستند و وجود تجهیزات اندازه‌گیری جریان آب، جهت تحویل حجمی آب به مزرعه الزامی است. بدیهی است که یکی از الزامات خودکارسازی در نقاط تحویل آب علاوه بر اندازه‌گیری، استفاده از آبگیرهایی با قابلیت کنترل خودکار است (ر.ک. فصل ۳).

۴-۸- الزامات و شرایط خودکارسازی در انواع شبکه‌ها

۴-۸-۱- شبکه آبیاری سطحی

در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری سطحی تمرکز اصلی بر روش‌های بهره‌برداری و کنترلی و تاثیر عملکرد هیدرولیکی کانال و سازه‌ها است که شامل درک خصوصیات هیدرولیکی سازه‌های تنظیمی، نحوه انتشار تغییرات جریان در طول کانال و نحوه‌ی تغییرات سطح و حجم آب کانال در اثر تغییرات آبدهی کانال است. معیارهای اصلی و الزاماتی که باید رعایت شود یا مورد توجه و بررسی قرارگیرد به قرار زیر است:

الف- الزامات مدیریت توزیع و تحویل آب در خودکارسازی

در طرح‌ریزی و طراحی مرسوم در شبکه و کانال‌های آبیاری، ظرفیت عبوری برای تامین آب کشاورزی، معمولا بر اساس حداکثر نیاز آبی مفروض از یک الگوی زراعی انتخابی تحت پوشش کانال است. سامانه‌های خودکار توزیع آب، تمرکز را بر روی بهبودِ بهره‌وری مطلوب، به روش تحویل بر مبنای تقاضای آب، قرار داده‌اند تا دوره‌های تنش آبی را

کاهش دهند، یا امکان تغییر نوع محصول را داشته‌باشند که این امر مستلزم لحاظ نمودن ظرفیت‌های بالاتری در کانال یا نقاط تحویل درجه ۳ بوده به طوری‌که کشاورزان بتوانند آب را با انعطاف‌پذیری بیش‌تر تحویل بگیرند.

نحوه انتخاب سامانه کنترل خودکار در شبکه توزیع آب تا اندازه‌ای پیچیده و پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب متعدد است. نقش و وزن هریک از عوامل تاثیرگذار نیز در انتخاب سامانه کنترل یکسان نیست. در مرحله اول لازم است اهداف اصلی از کنترل آب به طور شفاف تعریف شود تا میزان تاثیر هر یک از عوامل در چارچوب اهداف تعریف شده ارزیابی شود. در مرحله دوم باید سیاست‌ها و خط مشی‌های مدیریت آب شبکه در ارتباط با سامانه عرضه و تقاضای آب، نحوه تنظیم برنامه آبیاری، روش کنترل آب در شبکه توزیع و ... تعیین شود. در مرحله سوم براساس مبانی فوق، سامانه کنترل جریان و سطح آب انتخاب شود و در آخرین مرحله فرآیند انتخاب، سامانه کنترل منتخب براساس معیارهای انتخاب ارزیابی گردد تا مشخص شود سامانه کنترل تا چه حد جوابگوی نیازها بوده و با محدودیت‌ها، الزامات و معیارها مطابقت دارد.

ب- مقاطع کانال‌ها

کانال‌ها برای یک شدت جریان معین طراحی می‌شوند. شدت‌جریان عبوری از کانال، در تعامل با چند پارامتر ازجمله شکل مقطع، شیب طولی، ضریب زبری، ارتفاع آزاد و همچنین سازه‌های هیدرولیکی مسیر (آبگذر زیر جاده، سیفون و غیره) قرار دارد. نحوه کنترل این سازه‌های تنظیمی می‌تواند به‌صورت قابل ملاحظه‌ای ظرفیت کانال را تحت تاثیر قرار دهد، از این‌رو به هنگام بررسی مدل شبیه‌سازیِ عکس‌العمل هیدرولیکی کانال به تغییرات و تلاطم‌های جریان، سازه‌های میانی نیز باید به‌صورت تک تک مورد توجه قرار گیرند.

پ- هیدرولیک کانال بین سازه‌های تنظیم (بازه کانال)

هر بازه در پاسخ به تغییرات جریان در حد فاصل سازه‌های تنظیم، منحصر به فرد است. آن دسته از پارامترهای فیزیکی که این رفتار را تحت تاثیر قرار می‌دهد، شیب طولی بستر، ابعاد مقطع عرضی، طول، ضریب زبری و جنس بستر (زبری سطحی) است.

انتخاب روش بهره‌برداری بازه کانال و چگونگی گشودگی دریچه‌ها به؛ ۱- محدودیت طول و ارتفاع آزاد بازه کانال و ۲- عکس‌العمل زمانی و بازگشت جریان آب درهمان بازه کانال به حالت پایدار، بستگی دارد. روش‌های عمومی کنترل در هر بازه کانال، عبارتند از:

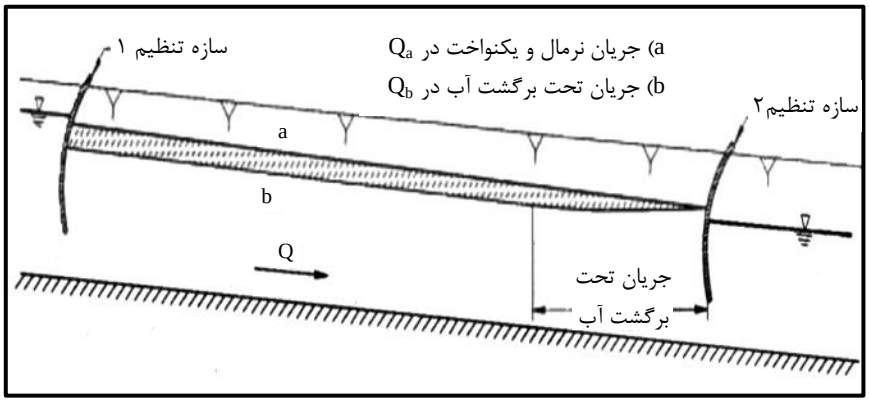
- عمق ثابت پایین‌دست
- عمق ثابت بالادست
- حجم ثابت
- حجم کنترل شده

اگر شرایط پایدار در یک آبدهی ثابت در طول یک بازه لحاظ شود، دو نوع شرایط جریان می‌تواند رخ دهد:

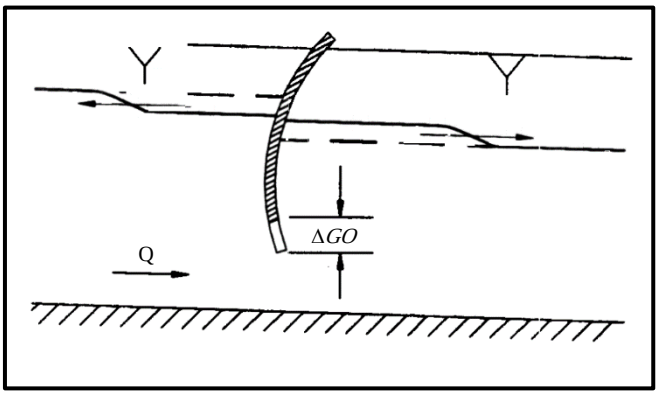
«جریان یکنواخت» که در آن عمق ثابت است، بنابراین سطح آب موازی شیب بستر است. توجه شود که هر شدت جریان یک عمق واحد متناظر دارد که عمق نرمال نامیده می‌شود (شکل ۴-۱۷ در Q_a). «جریان تحت برگشت آب» که در آن سطح آب در پایین‌دست انتهایی بازه و قبل از سازه تنظیم دوم، بیش‌تر از عمق نرمال است و در فاصله‌ای در بالادست بازه با خط ترازی حدودا افقی، سطح آب نرمال را قطع می‌کند (شکل ۴-۱۷ در Q_b). در این حالت تغییر آبدهی تدریجی بوده و یکی از شرایط مهم جریان در طراحی کانال‌های خودکار است. هرچه آبدهی بیش‌تر باشد، طول سطح افقی نیز کم‌تر می‌شود (بعضی از کانال‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در حداکثر آبدهی، سطح آب در عمق طبیعی بازه کانال (موازی شیب) بماند، درحالی‌که در آبدهی‌های کم‌تر، سطح آب در انتهای پایین بازه در جریان تحت برگشت آب قرار گیرد (شکل ۴-۱۷).

با توجه به عملکرد کانال‌های خودکار، جریان غیریکنواخت با تغییر تدریجی آبدهی، یکی دیگر از شرایط مهم جریان است. به عنوان مثال مشابه شکل (۴-۱۸)، تغییر در گشوردگی دریچه، تغییراتی در جریان و در سطح آب بلافاصله از سازه تنظیم (بالادست و پایین‌دست) ایجاد می‌کند. تغییر آبدهی ایجاد شده، به شکل موج‌هایی در طول بازه منتقل می‌شوند. این موج، یک موج گرانشی است که در یک کانال باز منتشر شده و منجر به جابه‌جایی آب می‌شود. دامنه (ارتفاع) امواج انتقالی تابعی از مقدار تغییر آبدهی و هندسه کانال و شرایط اولیه جریان (عمق و سرعت) است. هنگامی که موج در طول بازه کانال حرکت می‌کند، نیروهای اصطکاکی ارتفاع جبهه موج را کاهش می‌دهند.

اگر حرکت سازه تنظیمی خیلی ناگهانی باشد یا اگر شیب جبهه موج انتقالی زیاد شود، یک موج مخرب تشکیل می‌شود. این نوع موج را می‌توان یک پرش هیدرولیکی در حال حرکت دانست. از ایجاد موج‌های مخرب باید در کانال‌های خودکار جلوگیری کرد، چراکه باعث ایجاد نوسانات زیادی در سطح آب اطراف سازه‌های تنظیمی و وارد شدن اختلالات نامطلوب در کنترل خودکار می‌شوند که عموما الگوریتم کنترل به سختی می‌تواند پاسخ مناسب را تولید کند. در صورت تشکیل موج مخرب، یک اخطار باید توسط سامانه کنترل ایجاد شود و هشدار لازم برای جلوگیری از گسترش یا کنترل آن ارسال گردد.



شکل ۴-۱۷- بازه کانال (a) با شرایط جریان یکنواخت نرمال و (b)تحت برگشت آب



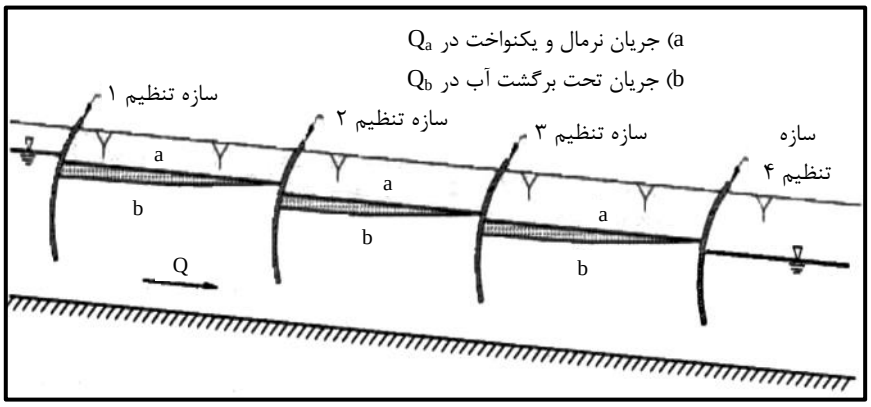
شکل ۴-۱۸- ایجاد موج در اثر تغییر در گشودگی دریچه سازه تنظیمی

ت- ظرفیت حجمی بازه کانال

مقدارحجم آب موجود در هر بازه کانال وابسته به آبدهی آن است. شدت‌جریان‌های بالاتر از طراحی یا عدم توازن ورودی و خروجی منجر به حجم‌های بالاتر می‌شود. این حجم اضافه آب در مواقعی می‌تواند به عنوان ذخیره موقت درنظر گرفته شود. زمانی‌که نسبت آبدهی ورودی به خروجی افزایش می‌یابد و کانال ارتفاع آزاد لازم را داشته باشد، به حجم آب در بازه اضافه می‌شود و هنگامی که شدت جریان کاهش می‌یابد، این بخش ذخیره شده، مصرف می‌شود. اصولا تغییرات ظرفیت حجمی کانال بین سازه‌های تنظیم به عنوان بخشی از امکانات بهره‌برداری نرمال به حساب می‌آید. دقیق‌ترین روش برای تعیین تغییرات حجم آب کانال بین سازه‌های تنظیم، «محاسبه مقطع طولی سطح آب جریان پایدار» یا منحنی برگشت آب است.

سرعت امواج انتقالی، تابعی از عمق آب کانال است و هنگامی که عمق آب به حداکثر برسد، شرایط پایدار سریع‌تر حاصل می‌شود و عملکرد شبکه کانال افزایش می‌یابد. با این حال، یک ملاحظه مهم‌تر، نسبت تغییر در ظرفیت ذخیره‌سازی به تغییر در آبدهی کانال است. مطابق شکل (۴-۱۷)، با اثر نسبتا کوچک برگشت آب در یک بازه، تفاوت بین مقاطع طولی سطح آب در جریان‌های مختلف، تقریبا مستطیل شکل است. ناحیه هاشورخورده حجم آبی را نشان می‌دهد که باید اضافه شود تا جریان از یک جریان پایدار به جریان دیگر افزایش یابد. هنگامی که طول بازه نسبت به شیب کانال زیاد باشد، اثر برگشت آب ناچیز است.

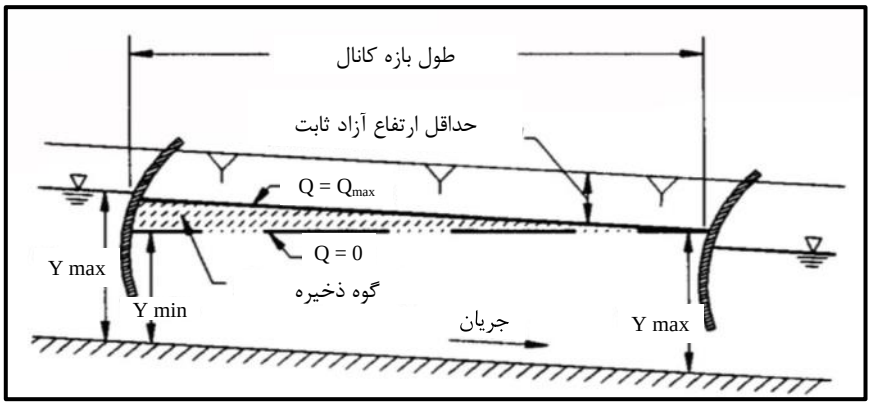
با افزایش تعداد سازه‌های تنظیمی، اثر آب برگشتی باعث می‌شود که اختلاف بین مقطع طولی سطح آب، به گوه‌هایی تبدیل شود که تقریبا مثلثی شکل هستند. شکل (۴-۱۹) نشان می‌دهد که چگونه این افزایش تعداد سازه‌های تنظیمی می‌تواند حجم ذخیره‌سازی را بین دو آبدهی متفاوت، برای رسیدن به حالت پایدار کاهش دهد. بدیهی است که فاصله بازه کانال تاثیر قابل توجهی بر حجم آب مورد نیاز برای رسیدن به سطح جدید آب دارد. دو برابر شدن تعداد سازه‌های تنظیمی در کانال، تقریبا تغییر حجم مورد نیاز برای ایجاد جریان جدید حالت پایدار را به نصف کاهش می‌دهد. بنابراین، هنگامی که فاصله سازه تنظیمی و درنتیجه حجم گوه ذخیره کاهش یابد، تغییرات آبدهی و رسیدن به شرایط جریان پایدار می‌تواند سریع‌تر انجام شود.



شکل ۴-۱۹- اثر گوه ذخیره بر حجم لازم برای رسیدن از یک آبدهی به آبدهی دیگر

ث- محدودیت طول و ارتفاع آزاد بازه کانال

محدودیت اصلی که روش مناسب بهره‌گیری از ظرفیت بازه کانال را تعیین می‌کند، دامنه ارتفاع آزاد و طول آن است. بدنه خاکریز کانال و ارتفاع آزاد پوشش بتنی یک هزینه عمده در ساخت کانال است. ارتفاع آزاد مورد نیاز برای محافظت از دیواره کانال به صورت هم‌تراز یا موازی با سطح آب برای حداکثر جریان طراحی شده است (شکل ۴-۲ خیلی کلی دیواره هم‌تراز یا موازی را نیز برای کنترل بالادست و پایین‌دست نشان می‌دهد). برای داشتن حداقل ارتفاع آزاد ثابت در طول بازه، تنها روش عملی کنترل بازه کانال، روش عمق ثابت پایین‌دست بازه است که در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است.

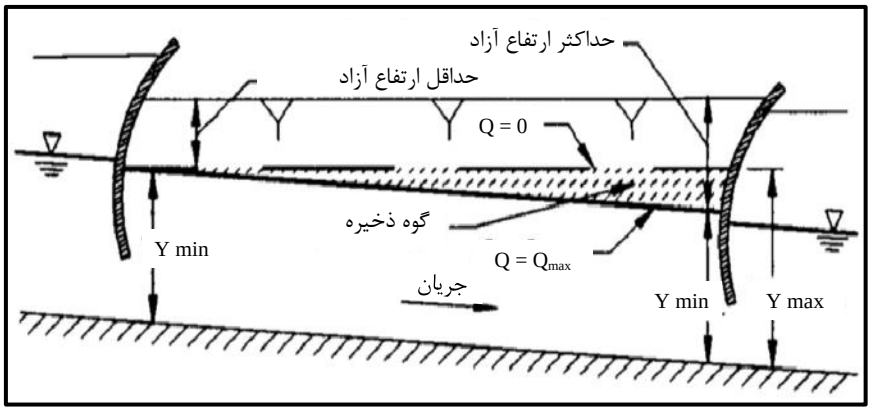


شکل ۴-۲۰- حداقل ارتفاع آزاد ثابت در روش کنترل عمق ثابت پایین‌دست بازه

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، گوه ذخیره بازه برای رسیدن از یک وضعیت جریان پایدار به حالت بعدی به زمان نیاز دارد، از این‌رو تغییر در آبدهی به کانال‌ها/آبگیرهای انشعابی نیز به تاخیر می‌افتد. بازه‌های طولانی هنگام ایجاد یک حالت پایدار جدید زمان طولانی‌تری نیاز دارند؛ بنابراین طول بازه کانال محدودیت فیزیکی دیگری است که زمان عکس‌العمل لازم برای تنظیم جریان کانال را تعیین می‌کند.

در روش عمق ثابت بالادست بازه، بهره‌برداری از ذخیره بازه کانال به حداکثر ارتفاع آزاد احتیاج دارد (شکل ۴-۲۱). هزینه خاکریزی اضافی و پوشش، مهم‌ترین عیب این روش است. با این حال، در این روش کنترل بازه کانال، معمولا تاخیر زمانی برای تنظیم جریان حالت پایدار، محدودیتی در بهره‌برداری نیست. زیرا تحویل کانال را برای کانال‌های

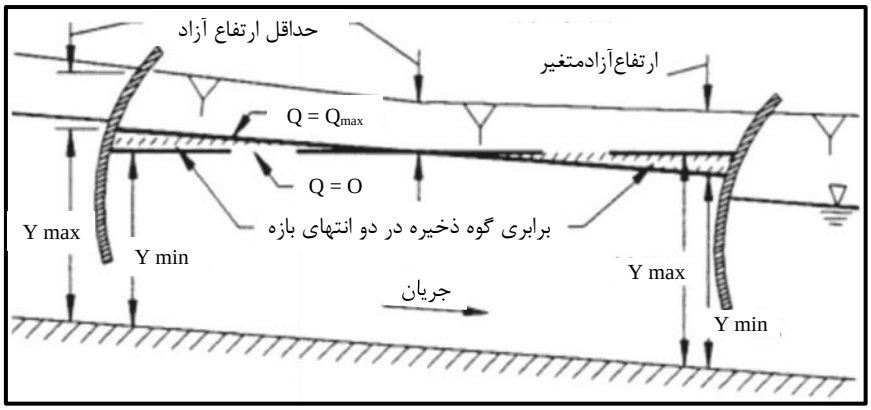
تقاضا محور به تاخیر نمی‌اندازد. ذخیره‌سازی در آبگیر مرکزی معمولا مورد نیاز نیست زیرا فضای ذخیره‌سازی اضافی در داخل بازه کانال فراهم می‌شود.



شکل ۴-۲۱- حداکثر ارتفاع آزاد در روش کنترل عمق ثابت بالادست بازه

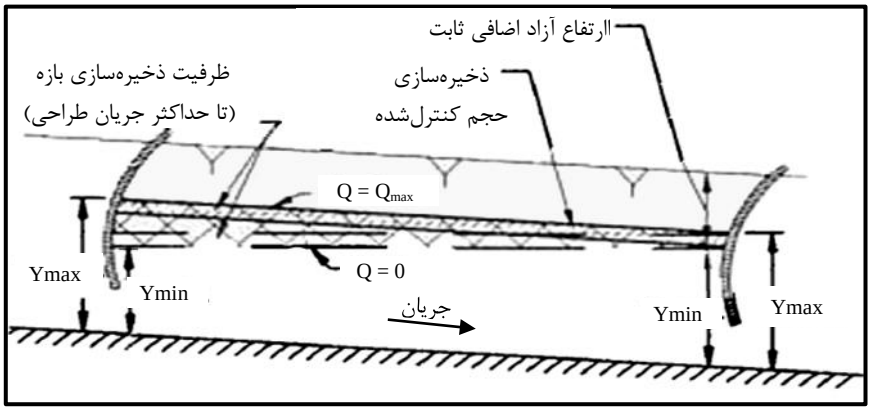
ارتفاع آزاد متغیر ارائه شده در شکل (۴-۲۲)، روش حجم ثابت در بهره‌برداری از ظرفیت بازه کانال را امکان‌پذیر می‌کند. برای نیمه پایین بازه کانال، پوشش اضافی مورد نیاز است تا سطح آب در نزدیکی میانه کانال برای همه شرایط جریان پایدار متمرکز شود. در این روش که با کنترل هم‌زمان دو سازه تنظیمی بالادست و پایین‌دست بازه، سطح آب در وسط بازه ثابت نگه‌داشته می‌شود، می‌توان حجم آب را در یک بازه کانال ثابت نگه‌داشت. مزیت این روش، به دلیل کنترل هم‌زمان سازه‌های تنظیمی، امکان تغییر سریع شرایط جریان و رسیدن به جریان پایدار جدید در کل کانال است. در مقایسه در روش عمق ثابت در بالادست یا پایین‌دست، تغییر جریان در کل کانال زمان‌بر است. استقرار جریان پایدار مجدد در یک بازه کانال تحت بهره‌برداری حجم ثابت تنها در حدود نیمی از زمان مورد نیاز برای روش‌های عمق ثابت پایین‌دست و بالادست (در شرایط فیزیکی مشابه) طول می‌کشد.

یک عیب در روش حجم ثابت، ارتفاع آزاد بیش‌تر در انتهای پایین‌دست بازه است. بهره‌برداری از این روش کنترلی توسط کنترل دستی محلی و حتی کنترل خودکار محلی مشکل است و وجود یک سامانه نظارتی مانند اسکادا نتیجه مطلوب را فراهم می‌کند.



شکل ۴-۲۲- ارتفاع آزاد متغیر در روش کنترل حجم ثابت در بازه

در روش حجم کنترل‌شده برای بهره‌برداری از ظرفیت ذخیره کانال به ارتفاع آزاد اضافی در کل طول بازه کانال نیاز است که در طرح شکل (۴-۲۳) مشاهده می‌شود. در این روش کنترل بازه، کنترل حجم با تنظیم هر دو سازه تنظیم بالادست و پایین‌دست بازه انجام می‌گیرد. تفاوت این روش با حجم ثابت، امکان افزایش یا کاهش حجم آب در بازه کانال است. در حجم کنترل‌شده با هدف کنترل نوسانات جریان و مطابقت بهتر برنامه‌های عرضه و تقاضای آب می‌توان از کانال پوشش‌دار با مقطع بزرگ‌تر جهت ایجاد امکان ذخیره بیش‌تر آب در بازه کانال استفاده کرد. بزرگی این مقطع را میزان عدم تطابق در تامین و تحویل مشخص می‌کند. در طرح کنترلی کانال می‌توان از یک یا چند بازه با روش حجم کنترل‌شده استفاده کرد.



شکل ۴-۲۳- ارتفاع آزاد اضافی ثابت و ظرفیت ذخیره‌سازی تنظیمی بازه در روش حجم کنترل شده

عکس‌العمل و پاسخگویی تغییرات سطح آب یا حجم آب به تغییرات شدت جریان بالادست برای کنترل‌گرهای خودکار که تنظیمات دریچه را براساس سطوح آب قرائت‌شده تغییر می‌دهند، مهم است.

کانال‌هایی با شیب کم، طول کوتاه یا عمق جریان زیاد، تا حدودی نسبت به امواج رزونانس حساس هستند. این امواج که بعد از تغییراتی که در عبور جریان از سازه رخ می‌دهند و قبل از تثبیت، بارها بین سازه‌های بالادست و پایین‌دست رفت و برگشت دارند، بسیار مهم و در اندازه‌گیری‌ها تاثیرگذار هستند.

ج- عکس‌العمل و بازیابی جریان پایدار در کانال

عکس‌العمل به تغییرات برنامه تحویل آب در شرایط معمولی یا در شرایط وجود جریان غیرعادی یا اضطراری، و حصول جریان پایدار جدید یک حالت ایده‌آل کنترل است که با استفاده از ظرفیت ذخیره‌ای بازه‌های کانال و عملکرد دریچه‌ها انجام می‌شود. اما دستیابی به شرایط ایده‌آل معمولا دشوار است. نحوه عکس‌العمل، به روش تغییر وضعیت دریچه‌ها بستگی داشته و بازگشت به جریان پایدار به روش کنترل بازه کانال وابسته است.

تکنیک تنظیم متوالی دریچه‌ها در کل سامانه؛ در این تکنیک، تغییر جریان ایجاد شده (در تاسیسات آبگیری یا یک آبگیر یا به دلیل بستن اضطرای کانال) موجی را ایجاد می‌کند. تنظیم دریچه‌ها به ترتیب رسیدن تغییر ایجاد شده به سازه‌های تنظیمی و آبگیرها و به صورت متوالی صورت می‌پذیرد. این تکنیک به دلیل تاخیر زمانی، عکس‌العمل سریع نداشته و کند است. معمولا تاخیر زمانی برابر با زمان لازم برای تنظیم گوه ذخیره برای رسیدن به حالت پایدار جدید در

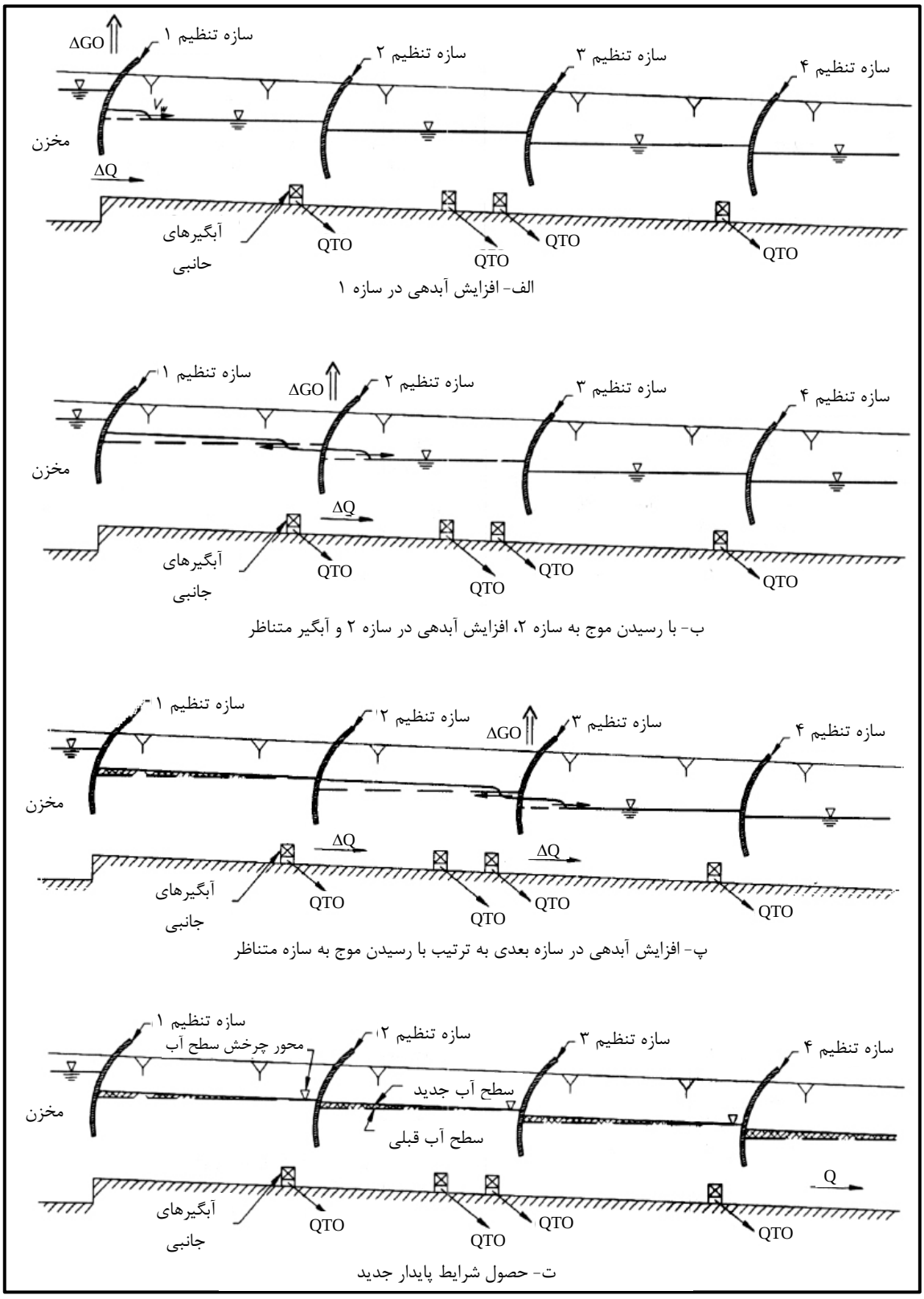
بازه‌ها است و به طول بازه کانال بستگی دارد. در شکل (۴-۲۴) و شکل (۴-۲۵) این فرایند برای هر دو حالت عمق ثابت پایین‌دست و بالادست ارائه‌شده و در تصاویر موج عکس‌العملی تا حصول شرایط پایدار نمایش داده شده است.

در عمق ثابت پایین‌دست که با روش کنترلی بالادست سازگار است، انتقال جریان از بالادست به پایین‌دست و در حالت عمق ثابت بالادست که با روش کنترلی پایین‌دست انجام می‌شود، تطابق تغییر جریان از پایین‌دست به بالادست هدایت می‌شود. درصورتی که تغییرات آبدهی شدید نباشد، در کل شبکه می‌توان از کنترل خودکار محلی برای بهره‌برداری از این تکنیک استفاده کرد. همچنین روش کنترل نظارتی دستی نیز می‌تواند با ارسال متغیرهای اقدام کنترلی جدید به RTUها یا اعلام آن‌ها به میراب‌ها از این تکنیک بهره‌برداری کند.

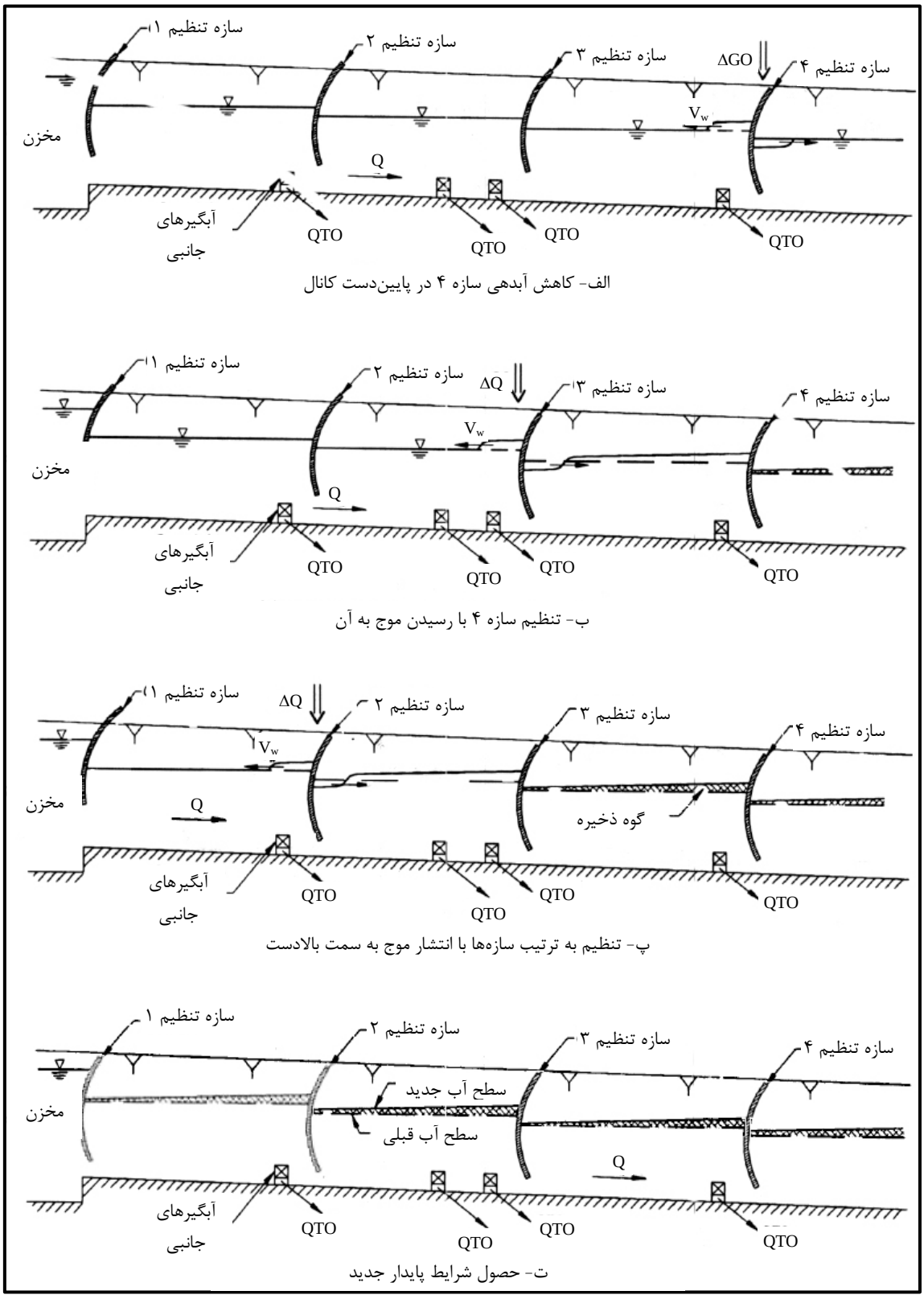
تکنیک تنظیم دریچه‌ها به صورت هم‌زمان؛ این تکنیک کم‌ترین زمان را برای حصول شرایط پایدار جدید در سامانه ممکن می‌کند. بنابراین مناسب‌ترین راه عکس‌العمل فوری به شرایط جریان عادی، غیرعادی یا اضطراری است. (شکل ۴-۲۶). با این حال، برای تنظیم سطح آب بازه کانال برای رسیدن به حالت پایدار هنوز به تاخیر زمانی نیاز است. به دلیل تغییر هم‌زمان دریچه‌ها، در یک بازه موج‌هایی مثبت و منفی به سمت پایین‌دست و بالادست انتقال می‌یابد که در میانه راه با یکدیگر تلاقی کرده و در شرایط کنترلی مناسب اثر همدیگر را خنثی می‌کنند که موجب می‌شود جریان پایدار جدید سریع‌تر برقرار گردد.

اگر تلاقی موج‌ها در وسط بازه باشد، حجم بازه ثابت می‌ماند و در غیراین‌صورت حجم افزایش یا کاهش می‌یابد (حجم کنترل‌شده). به همین دلیل، نوسان سطح آب باید به دقت تحت نظر باشد تا از حد مجاز سطح آب حداقل کم‌تر نشود و یا برای مدت طولانی در ارتفاع آزاد کانال نگه‌داشته نشود تا به پوشش و دیواره کانال آسیبی وارد نشود. برای عملیاتی کردن این تکنیک باید شرایط طراحی ارتفاع آزاد برای بهره‌برداری حجم ثابت و حجم کنترل‌شده در بازه رعایت شود.

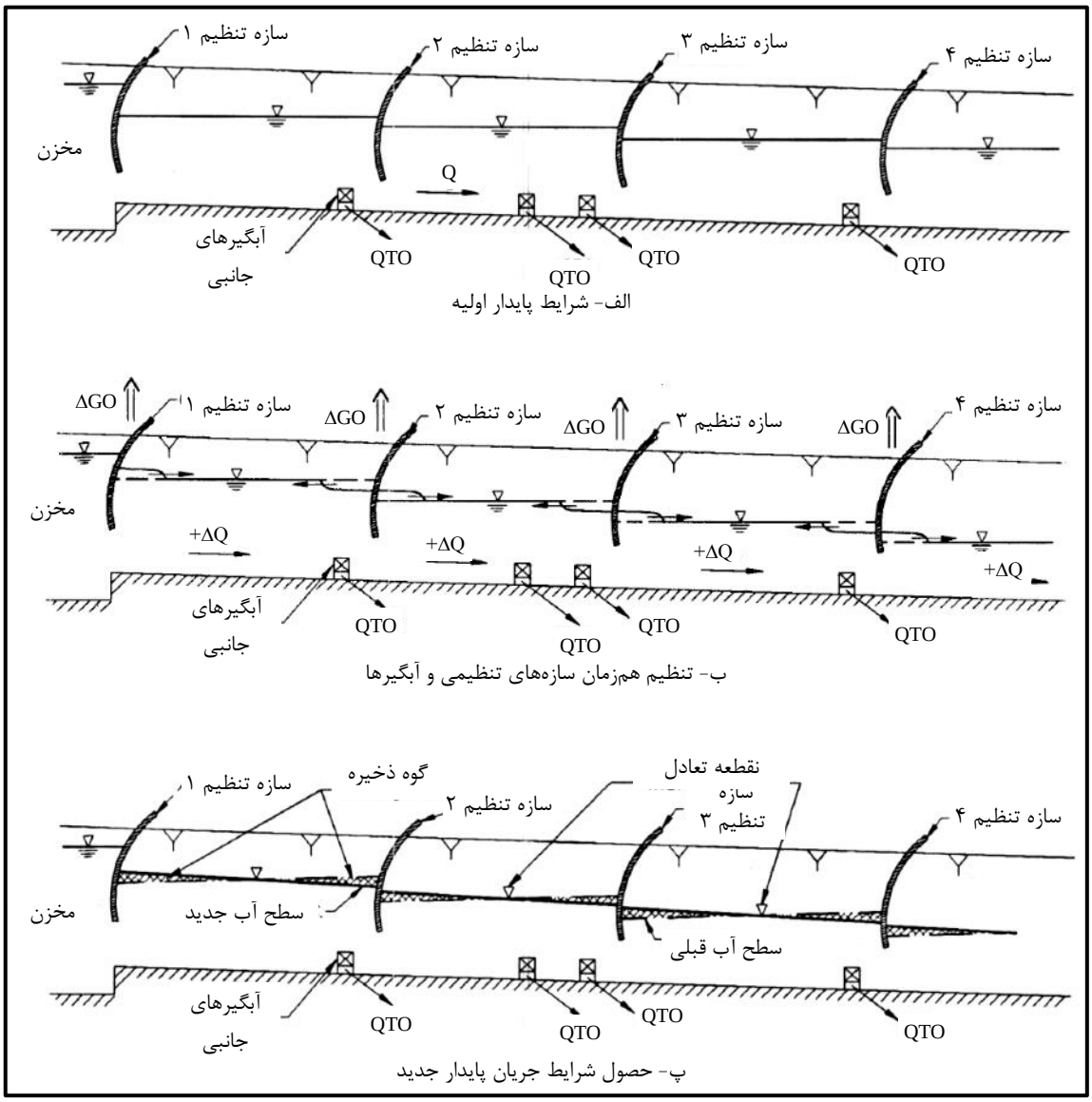
در شرایط اضطراری، تنظیم و بستن هم‌زمان دریچه‌ها یک روش بسیار مناسب است. در شرایط اضطراری می‌توان اجازه داد تا سطح آب در محدوده ارتفاع آزاد بالا بیاید و از روش حجم کنترل‌شده استفاده کرد. در این حالت می‌توان نقطه تعادل آب را قبل از رسیدن به شرایط پایدار جدید به بالادست یا پایین‌دست بازه هدایت کرد.



شکل ۴-۲۴- تنظیم متوالی دریچه‌ها با افزایش آبدهی در مخزن و انتشار موج به پایین‌دست



شکل ۴-۲۵- تنظیم متوالی دریچه‌ها از پایین‌دست شبکه به ترتیب تا مخزن و انتشار موج به بالادست



شکل ۴-۲۶- تغییر هم‌زمان دریچه‌ها در حجم ثابت (نقطعه تعادل میان بازه)

با توجه به موارد فوق و شرایط عمومی شبکه‌های آبیاری سطحی در دست بهره‌برداری برای خودکارسازی در شبکه‌ها الزامات و پیش‌نیازها به قرار زیر است:

- ظرفیت ذخیره‌سازی کانال‌ها در بازه‌های بین دو سازه
- قابلیت تغییر یا اصلاح مکانیزم تنظیم یا باز و بسته شدن سازه تنظیم سطح آب
- قابلیت تغییر یا اصلاح مکانیزم تنظیم یا باز و بسته شدن دریچه آبگیر جهت تنظیم آبدهی
- امکانات ذخیره‌سازی تنظیمی جانبی به موازات کانال یا افزایش ظرفیت در بازه‌ای از کانال در برخی نقاط مشرف به بخشی از شبکه
- استانداردسازی و واسنجی تجهیزات اندازه‌گیری
- مقاوم‌سازی دریچه‌ها برای جلوگیری از دست‌کاری

- اطمینان از دقت دریچه‌ها در آب تحویلی و سلامت آن‌ها در عملکرد
- مشکلات ناشی از رسوب در شبکه‌ها و تمهیدات جلوگیری از ورود رسوب به محل دریچه‌ها
- دسترسی به انرژی مناسب مورد نیاز
- تامین نیروی انسانی با مهارت لازم
- بسترسازی و ترویج اهمیت و تاثیر مثبت سامانه خودکار بر معیشت کشاورزان
- حفاظت و ایمنی تاسیسات و تجهیزات
- کار فرهنگی در میان مصرف‌کنندگان
- خدمات پشتیبانی
- اطمینان از تامین منابع مالی لازم برای خرید، اجرا و پشتیبانی به هنگام بهره‌برداری

۴-۸-۲- شبکه تحت‌فشار

شبکه آبیاری تحت‌فشار شامل مجاری بسته انتقال و توزیع آب با مقطع پر است. شبکه انتقال و توزیع آبیاری تحت‌فشار مشابه شبکه آب شرب شهری است، با این تفاوت که شبکه‌های آبیاری عموما حلقوی نبوده و به صورت شاخه‌ای است و برداشت یا تحویل آب، طبق برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری با توجه به درخواست مصرف‌کنندگان شبکه انجام می‌گیرد (برای اطلاعات تکمیلی به «راهنمای جامع بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب- جلد هفتم استقرار سامانه اسکادا در تاسیسات آب و فاضلاب» رجوع شود). در شبکه آبیاری تحت‌فشار، قطع و وصل شیر تحویل آب مربوط به مزرعه یا در سطح بالاتری در سطح واحد زراعی یا واحد عمرانی، توسط مدیریت شبکه انجام می‌شود. ملاحظات طراحی برای این شبکه‌ها، مانند جلوگیری از ورود هوا به داخل مجاری انتقال و در صورت ورود ناخواسته در شرایط خاص، برای خروج هوا تمهیدات مناسب (نظیر شیر هوا) پیش‌بینی می‌شود، یا با توجه به نیاز شبکه از فشارشکن استفاده شود (برای اطلاع از تجهیزات این شبکه‌ها به «ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت‌فشار (مشخصات فنی عمومی) نشریه شماره ۲۶۱» رجوع شود). بر این اساس با توجه به مقطع ثابت جریان در طول هر بازه، پارامترهای کنترلی در شبکه تحت‌فشار، آبدهی و فشار است و از آنجایی‌که این دو کمیت از نظر هیدرولیکی کاملا وابسته‌اند، معمولا با کنترل فشار، امکان کنترل آبدهی و اصولا کنترل آبدهی با تنظیم یا افت فشار (میزان گشودگی شیر یا تنظیم پمپ/پمپ‌ها) انجام خواهد شد. در این نوع سامانه‌ها، امکانات وسیع و بسیار خوبی برای خودکارسازی و کنترل وجود دارد که درنتیجه آن قابلیت تعریف نظام حقابه‌بری در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار نیز در سطوح مناسبی از خودکارسازی سامانه‌های آبیاری، امکان‌پذیر خواهد شد.

۴-۸-۲-۱- انواع خودکارسازی در شبکه تحت‌فشار

خودکارسازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار را می‌توان در سه بخش ۱- خودکارسازی در مزرعه (ر.ک. کتاب «نگرشی بر روش‌های خودکارکردن سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار»، شماره ۱۲۱، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران)، ۲- خودکارسازی در خطوط لوله شبکه برای کنترل توزیع جریان آب و ۳- خودکارسازی در ایستگاه پمپاژ و فیلتراسیون تقسیم نمود.

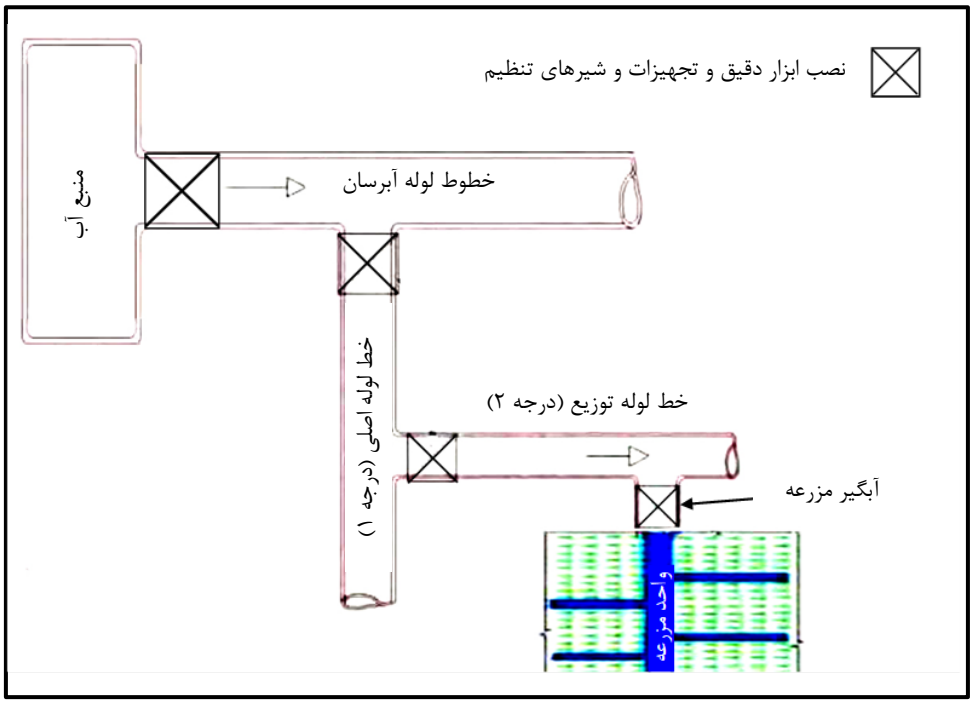
به این ترتیب در سامانه خودکار شبکه انتقال و توزیع تحت‌فشار، سه قسمت اصلی ۱- تنظیم آبگیری از منبع آب ۲- تنظیم فشار در طول خط ۳-تنظیم آبدهی در نقطه مصرف مدنظر است. لازم به ذکر است که در سامانه تحت‌فشار (مگر در شرایط خاص) کنترل جریان در نقاط مصرف انجام خواهد شد؛ به نحوی که لازم است میزان مصرف حتما با میزان آب قابل تامین از منبع آب همواره یکسان یا کم‌تر باشد.

با توجه به ثابت بودن مقطع جریان در سامانه تحت‌فشار، امکان افزایش آبدهی نسبت به آبدهی طراحی شده به دلیل افزایش قابل توجه افت هیدرولیکی محدود است و به همین دلیل لازم است در این سامانه میزان برداشت آب به نحوی مدیریت شود که حداکثر برداشت آب در محدوده مجاز قرار گیرد. به طور مشخص باید توجه نمود که برداشت بیش از اندازه یک یا چند مصرف‌کننده، بلافاصله می‌تواند منجر به کاهش برداشت در سایر نقاط مصرف شود و لازم است سامانه خودکار تعریف شده براساس این امر، منطق کنترلی مناسب را تعریف و پیاده نماید. لازم به ذکر است که در سامانه تحت‌فشار (مگر در شرایط خاص) کنترل جریان در نقاط مصرف انجام خواهد شد؛ به نحوی که لازم است میزان مصرف حتما با میزان آب قابل تامین از منبع آب و ظرفیت انتقال و توزیع همواره یکسان یا کم‌تر باشد.

۴-۸-۲-۲- آرایش شبکه تحت‌فشار و تجهیزات نقاط کنترلی

شکل (۴-۲۷) نمای کلی از موقعیت تجهیزات کنترلی و اندازه‌گیری را در خطوط شبکه تحت‌فشار نشان می‌دهد. در محل‌های توزیع (خروجی خط لوله)، باید سامانه اندازه‌گیری و کنترل آبدهی با نصب کنتورها و شیرهای تنظیمی، اجرا شوند و مدیریت شبکه قابلیت پایش این اطلاعات و کنترل را در دست داشته باشد. افزون بر این، اندازه‌گیری و کنترل فشار/آبدهی می‌تواند در نقاط اصلی تقسیم شبکه (ورودی‌های نقاط توزیع خطوط لوله) انجام پذیرید. در اندازه‌گیری فشار، درصورت متصل نبودن به سامانه نظارتی، توصیه می‌شود از دستگاه‌های داده‌نگار مقدار فشار استفاده شود. این امکانات علاوه بر کنترل دقیق شبکه، درصورت نشت آب امکان تشخیص موقعیت آن را با مقایسه آبدهی ورودی و خروجی فراهم می‌کند. تنظیم شیرها با استفاده از PLCها قابل انجام است و یک سامانه نظارتی می‌تواند مدیریت شبکه را ارتقا دهد. اندازه‌گیری فشار و آبدهی در شبکه‌های تحت‌فشار با روش‌های مختلفی از جمله، کنتورهای مکانیکی، حس‌گرهای فراصوت داپلری، حس‌گرهای مغناطیسی، ونتوری‌ها و غیره صورت می‌گیرد که برای اطلاعات بیش‌تر می‌توان به ضابطه شماره ۸۳۳ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «ضوابط انتخاب و بهره‌برداری از تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی» مراجعه نمود.

یکی از الزامات اجرای کنترل خودکار، تعیین منحنی عملکرد هر یک از شیرهای برقی (منحنی آبدهی- فشار) است. به این ترتیب با استفاده از واحد پردازش‌گر مرکزی و قابلیت پمپ دور متغیر، امکان تخصیص آبدهی 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، اثر بخش خواهد بود.



شکل ۴-۲۷- نمای کلی از خطوط شبکه آبیاری تحت‌فشار

مخازن در سامانه انتقال و توزیع برای ذخیره‌سازی و پاسخگویی به نوسانات مصرف و تامین فشار مطلوب ساخته می‌شوند. در مورد بهره‌برداری از مخزن‌ها، کنترل سطح آب مخزن برای ایجاد فشار کافی و حفاظت از پمپ‌ها لازم است. برای پایش سطح آب در مخزن، می‌توان از حس‌گر سطح آب فراصوتی، حس‌گرهای هدایت الکتریکی یا شناورها استفاده کرد. ملاحظات نصب این تجهیزات در پایش صحیح مخزن بسیار مهم است. نصب این تجهیزات باید در موقعیتی باشد که قرائت صحیحی از سطح آب حاصل شود. در مورد حس‌گر فراصوتی، نباید مانعی بین حس‌گر و سطح آب وجود داشته باشد. موقعیت نصب برای هر سه نوع حس‌گر، به منظور حذف اثر اغتشاش ناشی از ورود و خروج آب به مخزن، باید در فاصله‌ای مناسب نسبت به ورودی و خروجی مخزن باشد. همچنین باید تمهیدات لازم برای دسترسی به حس‌گرها برای عملیات نگهداری و تعمیر لحاظ شود. باید تاکید شود که در نصب تمامی تجهیزات، ملاحظات ارائه شده توسط سازنده اجرا شود.

به طور خلاصه تجهیزات کنترلی و تنظیمی در ورودی به شبکه تحت‌فشار می‌تواند شامل؛ پمپ، حس‌گر سطح آب، حس‌گر فشار، شیر و کنترل‌گر شیر باشد و در خط لوله تحت‌فشار و نقاط تحویل نیز از شیرهای تنظیمی و کنترل‌گر، کنتورها، جریان‌سنج و فشارسنج می‌توان استفاده شود.

در یک سامانه خودکار تحت‌فشار، هشدارها را می‌توان برای موارد زیر درنظر گرفت:

- سطح بالا/پایین آب در مخزن
- افزایش یا کاهش آبدهی خطوط از مقادیر مشخص شده
- افزایش یا کاهش فشار خطوط از مقادیر مشخص شده
- ایجاد مشکل در آبدهی خروجی پمپ‌ها
- عمل نکردن شیرهای تنظیمی
- بالا رفتن دما و لرزش الکتروموتورها
- قطع برق

۴-۸-۲-۳- ملاحظات در روش‌های تامین آب

درصورتی‌که تامین آب شبکه آبیاری، از مخزن انجام شود، کنترل شبکه آبیاری تحت‌فشار بیش‌تر شامل تنظیم فشار در طول خط و توزیع مناسب جریان در نقاط مصرف خواهد بود. تنظیم فشار می‌تواند با مجموعه‌ای از شیرهای فشارشکن برای کاهش فشار مازاد یا مجموعه‌ای از ایستگاه‌های پمپاژ برای تامین کسری فشار در طول خط همراه باشد. تنظیم میزان برداشت همراه با تنظیم میزان آبدهی هر نقطه مصرف و زمان تحویل آب هر نقطه است. شیرهای فشارشکن می‌توانند از نوع مکانیکی با عملکرد از پیش تعیین شده یا از نوع الکتریکی با قابلیت تنظیم خودکار میزان گشودگی براساس تنظیمات پیش‌فرض قابل تنظیم (مقدار هدف) باشند. به طور مثال می‌توان با استفاده از یک شیر فشارشکن پیلوت‌دار، فشار پایین‌دست یک شیر را همواره مقدار ثابتی تنظیم نمود یا به جای آن از یک شیر گلوب با عمل‌گر برقی استفاده کرد که در پایین‌دست آن یک سوئیچ فشار قابل تنظیم نصب شده تا یک سیستم RTU-PLC براساس اطلاعات دریافتی از سوئیچ فشار، میزان گشودگی شیر را تنظیم نماید. در حالت اخیر می‌توان از مرکز کنترل بهره‌برداری با تنظیم سوئیچ فشار نیز میزان فشار در پایین‌دست شیر را در مقدار هدف مورد نیاز تنظیم نمود.

مدیریت شبکه درصورتی‌که آبگیری از رودخانه انجام شود، تحت‌فشار پیچیدگی‌های زیادی بین تامین و مصرف قرار دارد و برای بهره‌برداری بهینه، داشتن سامانه هوشمند خودکار، ضروری و با اهمیت است. در شرایطی که تخصیص حجمی و برداشت آب در زمان دلخواه عملی باشد، نیاز به مخزن ذخیره نیست اما در شرایطی که عدم استفاده از سهم آب قابل بازگشت نباشد، مخزن ذخیره لازم خواهد بود.

درصورت وجود ایستگاه پمپاژ، پمپ‌ها در پاسخ به بازخورد دریافت‌شده از پایش نقاط تحویل و با توجه به تغییر آبدهی مورد نیاز و لزوم داشتن فشار ثابت، به‌صورت خودکار راه‌اندازی، کنترل و متوقف خواهند شد. این سامانه با استفاده از الگوریتم‌های کنترلی، پارامترهای کنترل (فشار یا آبدهی) را پایش و با مقادیر هدف مقایسه نموده و در مورد اقدامی که برای تغییر وضعیت سامانه لازم است انجام شود، فرمان‌های لازم را به واحد پردازش‌گر اعمال می‌کند. در این شبکه‌ها، نوع کارکرد پمپ‌ها که به صورت دور ثابت یا متغیر باشد، با اهمیت است. پمپ‌های دور متغیر امکانات زیادی برای عملکرد قابل قبول سامانه خودکار دارند. در بند۳-۵ (فصل سوم) به تفصیل در مورد پمپ‌ها توضیح داده شده است.

با استفاده از پمپ دور متغیر، واحد پردازش‌گر مرکزی و شیر برقی می‌توان به شبکه آبیاری تحت‌فشار، قابلیت نشت‌یابی خودکار را اضافه نمود. به این ترتیب که برای یافتن محل نشت، ابتدا آبدهی 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 هر یک از واحدهای آبیاری به ترتیب باز شده و آبدهی و فشار هر واحد آبیاری توسط واحد کنترل مرکزی، پایش‌شده و با میزان دور متناسب پمپ تطبیق داده می‌شود. به این ترتیب در صورت شکستگی خطوط لوله یا بهره‌برداری نامناسب (آبگیری بیش از اندازه نقاط مصرف) نقطه کاری پمپ تغییر یافته و سامانه با پردازش تطبیقی با دور موتور، واحد معیوب را شناسایی خواهد نمود.

در مورد فیلتراسیون نیز، زمان شستشوی فیلتراسیون بر اساس اعلام وضعیت حس‌گر تشخیص گرفتگی به یک PLC، اقدام لازم محاسبه شده و به شیرآلات پنوماتیکی شستشوی معکوس فیلتراسیون منتقل می‌شود.

بررسی کلی مزایا و معایب سامانه‌های کنترل، نشان‌دهنده آن است که سامانه‌های کنترلی اسکادا و PLC به دلیل قابلیت ثبت اطلاعات، توانایی انجام محاسبات و اعمال دستورات کنترلی به اجزای مختلف، در سامانه‌های آبیاری وسیع دارای توجیه فنی و اقتصادی بیش‌تری هستند. همچنین سامانه‌های کنترلی رله‌ای و الکترونیکی (بدون برنامه رایانه‌ای)، به دلیل ملاحظات اقتصادی، در سامانه‌های آبیاری با وسعت کم، توصیه می‌شوند.

آنچه می‌توان از خودکارسازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار انتظار داشت، پایش لحظه به لحظه سامانه از طریق کنترل پارامترها و شرایط هیدرولیکی سامانه (آبدهی و فشار آب)، مدت زمان کارکرد، روشن و خاموش کردن/دور 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 هنگام پمپاژ آب)، پارامترهای حدی و حفاظتی الکتروپمپ‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ و در نهایت سهم آب و انرژی مصرفی هر واحد آبیاری است.

۴-۸-۳- شبکه کم‌فشار

در سامانه‌های کم‌فشار کلاسیک، معمولا فشار مورد نیاز جریان آب در لوله‌ها و دریچه‌ها در آبگیر قطعات زراعی، توسط محفظه استوانه‌ای و گاهی لوله‌ای تنظیم می‌شود. شبکه‌هایی که با تامین فشار کم طراحی و اجرا می‌شود، می‌تواند در داخل شبکه آبیاری سطحی و در سطح مزارع اجرایی شود. اختلاف ارتفاع موجود از استخرها و مخازن یا بار هیدرولیکی (فشار مورد نیاز) پمپاژ از رودخانه/کانال (مشابه کشت و صنعت‌های نیشکر در خوزستان یا پمپاژ ثانویه نخلستان‌های جزیره آبادان) فشار لازم در سامانه را تامین می‌کند. در عمل، خودکارسازی در شبکه کم‌فشاری که یک‌پارچه باشد مشابه شبکه تحت‌فشار و در شرایطی که مجاری انتقال به صورت نیمه‌پر عمل‌کنند، الزامات مشابه شبکه سطحی دارد. (در مورد شرایط کنترل در سامانه‌های کم‌فشار به ضابطه شماره ۵۸۲ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان ضوابط طراحی سامانه‌های آبیاری با لوله‌های کم‌فشار مراجعه شود.)

۴-۹- راهبردهای عمومی- مبانی خودکارسازی در انواع مدیریت‌های توزیع آب و بهره‌برداری شبکه

در طراحی‌های متداول و سنتی در شبکه آبیاری روباز، فرض بر این است که اپراتور می‌تواند شدت جریان صحیح را با نیازهای بهره‌برداری در هر انشعاب (مثلا؛ محل آبگیر) تطبیق دهد. در کنترل شبکه آبیاری، اندازه‌گیری و تنظیم آبدهی بسیار اساسی است و اگر اپراتور می‌توانست این کار را انجام‌دهد، دیگر نیازی به کنترل‌های بعدی نبود. در سامانه‌های معمولی موجود، هنگامی که تغییری در جریان کانال اصلی ایجاد شود، اپراتور باید هریک از سازه‌های تنظیم و خروجی‌ها را تا زمان عبور این تغییر، تنظیم کند و از آنجا که چنین تغییراتی به تدریج به پایین‌دست می‌رسد، فرایند تنظیم مشکل خواهد شد، چراکه اپراتورها نمی‌توانند به صورت هم‌زمان یا فاصله زمانی مناسب، در هر دریچه‌ای حضور داشته باشند تا موقعیت دریچه را تنظیم کنند. یک رویکرد معمول، تنظیم دریچه‌ها به صورت پی‌درپی و بازگشت و اصلاح دریچه‌ها باتوجه به مشاهدات است. چنین تغییرات ابتدایی و اصلاحات بعدی را می‌توان به‌ترتیب به‌صورت اقدامات کنترلی پیش‌خوردی[1] و بازخوردی[2] تفسیر کرد. تغییرات اولیه در اجزای شبکه برای فراهم کردن آبدهی‌های جدید در پایین‌دست، اقدامات پیش‌خوردی هستند، درحالی‌که اصلاحات بعدی بر اساس مشاهده شرایط واقعی، اقدامات بازخوردی هستند. کنترل از راه‌دور، که در آن مشاهدات به یک مرکز کنترل مخابره می‌شود و از آنجا امکان تنظیم دریچه‌ها از راه‌دور وجود دارد، به‌سادگی این امکان را فراهم می‌کند تا اپراتور، این اقدامات را سریع‌تر، در دفعات بیش‌تر، با زمان‌بندی بهتر و با قابلیت مشاهده هم‌زمان بخش بزرگی از شبکه انجام دهد. ازطرفی در کنترل خودکار، این تنظیم‌ها به‌شکل خودکار انجام می‌شود و امکان کنترل پایین‌دست نیز علاوه بر کنترل بالادست شبکه فراهم می‌شود. کنترل‌های خودکار، دفعات بیش‌تر و دقیق‌تر کنترل (اقدام کنترلی) را ممکن می‌سازند. اما در اصول، تمامی این رویکردها (دستی/محلی، دستی/از راه‌دور، خودکار) از یک راهبرد پایه‌ای یکسان استفاده می‌کنند.

برای یک کانال معین، راهبرد کنترلی، به معنی نحوه رسیدگی به اختلاف و عدم تطابق بین عرضه (تحویل) و تقاضای (سفارش) آب است، که شامل مشکلات داخلی مانند اندازه‌گیری و کنترل آبدهی ضعیف به آب‌بران می‌شود. در عمل تنها چهار گزینه راهبردی برای انجام این کار وجود دارد:

۱- وجود یک سازه آب‌بند ثابت در خروجی هر مجرای کانال، که خطای ایجاد شده در کانال بالادست را در آن خروجی تعدیل کند و در نهایت جریان تعدیل شده در واحدهای آبخور شبکه آبیاری، به کشاورزان تحویل می‌شود. این یک رویکرد رایج در برخی مناطق با کنترل بالادست است، اما نتیجه آن استفاده نامناسب از منابع و مشکلات انتهایی کانال می‌شود.

1- Feedforward
2- Feedback

۲- راهبردی که اجازه می‌دهد تا عدم تطابق به پایین‌دست منتقل شود، جایی که یا کمبودی ایجاد می‌گردد یا این‌که آب یا هرز می‌رود (مازاد یا کمبود) یا بازچرخانی می‌شود. این راهبرد معمولا از کنترل بالادست استفاده می‌کند که در آن سطح آب در بالادست هر یک از سازه‌ها موجب می‌شود تا آبدهی مورد نظر و حداقل به میزان تقاضا در هر آبگیر (خروجی) جریان یابد. از آنجایی که معمولا خطای ایجاد شده به پایین منتقل می‌شود وکمبود آب در شبکه ایجاد می‌شود، ناگزیر جریان ورودی در این شبکه‌ها معمولا بیش‌تر از مقدار لازم است تا از تحویل آب به آخرین آب‌بران نیز اطمینال حاصل شود، اگرچه اغلب منجر به هرز رفتن آب نیز می‌شود.

۳- راهبرد انتقال عدم تطابق به بالادست، جایی‌که امکان ذخیره‌سازی یا جذب آن در شبکه وجود داشته باشد. در این راهبردها معمولا از کنترل پایین‌دست استفاده می‌شود که در آن، سطح آب در سازه‌های پایین‌دست کنترل می‌شود و تغییرات لازم برای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای جریان آب اعمال می‌شود. در این راهبرد، جریان داخل کانال برای رسیدن به مقدار تقاضا، تنظیم می‌شود. در این راهبرد فرض می‌شود که مازاد آب را می‌توان در بالادست شبکه (مثلا مخزن) ذخیره کرد. تحویل آب در شبکه تحت‌فشار لوله نیز به همین روش است. هنگامی که دریچه‌ای در پایین‌دست باز می‌شود، فشار داخل لوله، آب را تحویل می‌دهد و فشار بالادست در مخزن، شبکه تحت‌فشار را پر نگه می‌دارد تا فشار کافی برای در دسترس بودن آب فراهم نماید.

۴- ساخت مخزن، داخل یا در کنار شبکه، در موقعیتی که چنین تفاوت‌هایی را در عرضه و تقاضای آب، بتوان به‌صورت موقت ذخیره کرد. اگر کانال‌ها به اندازه کافی بزرگ باشند، می‌توانند عمل ذخیره آب را نیز انجام دهند (در نقش مخزن). با حضور مخازن تنظیمی در کنار شبکه، امکان بهره‌گیری از کنترل بالادست در بالادست مخزن و کنترل پایین‌دست در پایین‌دست مخزن فراهم می‌شود.

۴-۹-۱- طبقه‌بندی روش‌های کنترلی

از آنجایی‌که در طراحی شبکه‌های داخل کشور، توسط مشاورین داخلی و خارجی، طبقه‌بندی‌های مختلفی برای روش‌های پایه‌ای بهره‌برداری در سامانه‌های روباز تحویل آب -که توسط مراجع مختلفی ارائه شده‌اند- ممکن است استفاده شده باشد به برخی از این تعاریف اشاره می‌شود.

در عین حال یک طبقه‌بندی کاربردی «براساس موقعیتی که سازه تنظیم، سطح آب را ثابت نگه‌می‌دارد» روش‌هایی به قرار زیر پیشنهاد شده است که می‌تواند به عنوان راهنمای عمومی انتخاب و به کار برده شود.

- کنترل به نسبت در این روش، جریان با توجه به نسبت‌های از پیش تعیین‌شده تقسیم می‌شود. بنابراین در بازه کانال سطح آب ثابتی وجود نخواهد داشت.
- کنترل بالادست (ر.ک. ۴-۴- روش‌های کنترل سامانه‌های آبیاری)
- کنترل پایین‌دست (ر.ک. ۴-۴- روش‌های کنترل سامانه‌های آبیاری)
- سیستم‌های کنترل پایین‌دست خاص

- کنترل BIVAL (کنترل حجم ثابت) سطح آب در میانه بازه پایین‌دست سازه تنظیم مطابق مقدار هدف ثابت نگه داشته می‌شود. درنتیجه امکان ذخیره‌سازی موثر درون کانالی در بازه کانال وجود ندارد. کنترل BIVAL شبیه به کنترل پایین‌دست است و همچنین ازآنجا که بلافاصله تغییر در تقاضای جریان را فراهم می‌کند، یک روش تطابق‌پذیر[1] است. بااین‌حال، دیواره‌های کانال را می‌توان در سطح پایین‌تری نگه داشته، اما به سامانه تله‌متری و دریچه‌های الکترومکانیکی نیاز است.
- کنترل ELFLO یا کنترل پایین‌دست در کانال شیب‌دار با یک سطح آب ثابت در انتهای پایین‌دست بازه موردنظر؛ این روش نیازمند اندازه‌گیری راه‌دور (کنترل با فاصله) و دریچه‌های الکترومکانیکی است. روش ELFLO یک روش «تطابق‌پذیر» با تغییرات آبدهی خروجی، مشابه کنترل پایین‌دست و BIVAL است. از سوی دیگر، روش کنترل ELFLO از نظر خاکریز کانال، مشابه یک سامانه کنترل بالادست است و تغییرات در آبدهی خروجی تنها پس از یک «تاخیر زمانی»، به دلیل ذخیره‌سازی دینامیکی (منفی) در شبکه موثر می‌افتد.
- سیستم CARDD؛ با چند اندازه‌گیری در طول بازه پایین‌دست سعی در کنترل سطح آب در طول کل بازه مورد نظر را دارد.
- سیستم کنترل دینامیکی که تمام نوسانات سطح آب و نظارت بر عملکرد کلیه سازه‌ها و تجهیزات در یک مدار بسته کنترلی به طور دائم و به صورت خودکار انجام می‌شود.

همچنین ممکن‌است از روش‌های مختلف کنترلی در یک مکان استفاده شود، مانند کنترل ترکیبی (کامپوزیت)، درجایی که دریچه به طور معمول تحت کنترل پایین‌دست تنظیم می‌شود، اما ممکن است در شرایط خاص به کنترل بالادست تغییرکند. علاوه براین، اغلب استفاده از روش‌های مختلف بهره‌برداری در بخش‌های مختلف شبکه اصلی بسیار کاربردی و مفید است.

۴-۹-۲- تکنیک‌های اجرای کنترل

یک تکنیک کنترل، الگوریتمی است که با تجزیه و تحلیل اطلاعات ورودی، اطلاعات خروجی سامانه کنترل را به‌نحوی تنظیم می‌نماید که پارامتر کنترل را به سمت مقدار هدف، هدایت نماید. الگوریتم‌های مختلف دارای نوع منطق و جهت کنترل متفاوت بوده و همچنین بسته به نوع ورودی و خروجی به دو گروه یک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند.

1- Responsive

خروجی کنترل در روش‌های یک متغیره همواره یک متغیر بوده[۱] ولی تعداد ورودی‌ها می‌تواند یک یا بیش‌تر از یک باشد. تکنیک‌های متفاوتی در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند که از جمله می‌توان به تکنیک‌های کلاسیک ساده تا روش‌های نسبتا پیچیده نظیر بهینه‌سازی غیرخطی، اشاره نمود. تعدادی از این تکنیک‌ها عبارتنداز:

تکنیک‌های تناسبی[۲]، تناسبی-انتگرالی[۳]، تناسبی-انتگرالی-دیفرانسیلی[۴]، کنترل فازی[۵]، تکنیک‌های ابداعی[۶] و سه‌وضعیتی[۷] جزو مهم‌ترین تکنیک‌های یک‌متغیره موجود هستند. تکنیک‌های یک‌متغیره برای کنترل موضعی کانال آبیاری به کار می‌روند. برای مثال روش‌های تک متغیر ابتکاری مانند Zimbelman، CARDD بر اساس استدلال هیدرولیک و نه بر اساس نظریه کنترل توسعه یافته‌اند و اگرچه در منابع مختلفی ذکر شده‌اند اما به سختی کاربردی هستند و به شدت محدود به یک بازه می‌شوند. روش LittleMan یک روش تجربی مبتنی بر کنترل سه وضعیتی است. شبکه آبیاری به عنوان یک سامانه متشکل از چند بازه یا زیرسامانه در نظر گرفته می‌شود و در فرآیند کنترل نمی‌توان از اثرات متقابل بین بازه‌های کانال صرف‌نظر کرد (برای اثر بین بازه ر.ک. بند ۴-۸-۱-ج). این روش‌ها باید بر روی یک مدل شبیه‌سازی کامل یا روی سامانه‌ای واقعی تنظیم شوند و چون هیچ ابزار ریاضی مشخصی نمی‌تواند این تنظیم را اعمال و نه کارایی آن‌ها را اثبات کند نمی‌توان از آن‌ها در یک سامانه بزرگ استفاده کرد.

بدین منظور در کنترل مرکزی کانال‌های آبیاری، از تکنیک‌های چندمتغیره[۸] استفاده می‌شود. مهندسین کنترل روش‌های چندمتغیره زیادی ارائه نموده‌اند که فقط تعدادی از آن‌ها در مورد کانال‌ها به کار برده شده‌است. تکنیک‌های بهینه‌سازی خطی[۹]، بهینه‌سازی غیرخطی[۱۰]، تنظیم‌کننده خطی درجه دو[۱۱]، مدل معکوس و شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱۲] از مهم‌ترین تکنیک‌های چندمتغیره موجود هستند. در ادامه برخی از تکنیک‌های طراحی به کار برده شده در شبکه‌های آبیاری معرفی می‌شوند.

1- Single Input/Single Output (SISO)
2- Proportional-P
3- Proportional-Integral-PI
4- Proportional-Integral-Derivative-PID
5- Fuzzy control
6- Heuristic
7- Three position
8- Multiple Input/Multiple Output (MIMO)
9- Linear Optimization
10- Non Linear Optimization
11- Linear Quadratic Regulation
12- Artificial Neural Network-ANN

۴-۹-۲-۱- تکنیک‌های بهینه‌سازی

تکنیک‌های بهینه‌سازی سعی بر بهینه کردن پارامتر کنترل در سراسر شبکه دارد. این تکنیک‌ها در حالت پیشرفته‌تر کنترل‌کننده‌های مرکزی نامیده می‌شوند. تمام الگوریتم‌های مربوط به بهینه‌سازی از نوع ترکیبی پس‌خورد به علاوه پیش‌خورد هستند. اطلاعات ورودی به الگوریتم کنترل، اطلاعات مربوط به میزان تقاضا یا میزان متغیر از پیش تعیین‌شده و شرایط هیدرولیکی موجود در کانال‌ها است. ساختار این الگوریتم، ورودی چندگانه خروجی چندگانه است که متغیر اندازه‌گیری‌شده در آن تراز سطح آب و متغیر خروجی میزان آبدهی سازه است.

برای مثال در الگوریتم تنظیم‌کننده خطی درجه دوم (LQR) به مدلی از کل کانال متشکل از تمام انحرافات سطح آب و عکس‌العمل جریان کنترلی نیاز است. در هنگام بهینه‌سازی، الگوریتم LQR از یک تابع هدف استفاده می‌کند که باید به حداقل برسد و شامل انحرافات آب در تمام بازه‌ها و همه تغییرات در آبدهی‌ها است. برای درنظر گرفتن انحرافات مثبت و منفی مربع این متغیرها محاسبه می‌شود.

در مثال دیگر در تکنیک H_∞، می‌توان کنترل را به صورت SISO یا MIMO اجرا کرد. در این تکنیک به جای استفاده از یک تابع هدف درجه دو که در افق زمانی برای طراحی تکنیک کنترل به حداقل می‌رسد، کنترل در حوزه فرکانس[1] (دامنه‌های زمانی متوالی) طراحی می‌شود. به این ترتیب، کنترل به دست آمده برای موقعیت‌های تغییر حالت کند و همچنین تغییر حالت سریع، حتی در اختلالات تشدید کننده امواج بازه، به خوبی عمل می‌کند.

۴-۹-۲-۲- تکنیک مدل کنترل پیش‌بین

هنگامی که در آبدهی سازه محدودیت وجود دارد، ممکن است نیاز به پیش‌بینی شرایط لازم باشد. مدل کنترل پیش‌بین[2] (MPC) یک روش ساختاری برای کنترل این مساله است که علاوه‌بر روش کنترل پس‌خورد و پیش‌خورد، یک روش بهینه‌سازی برای محاسبه متغیر خروجی کنترل بهینه و همچنین محدودیت سازه‌های موجود در سیستم درنظر گرفته می‌شود. این تکنیک همانند LQR، از یک تابع هدف استفاده می‌کند. افق پیش‌بینی برای MPC یک طول مشخص و محدود است. مهم‌ترین مزیت MPC آن است که امکان بهینه‌سازی گام زمانی جاری را با درنظر گرفتن گام‌های زمانی آینده می‌دهد. این کار با بهینه‌سازی یک افق زمانی محدود اما اجرای آن تنها در گام زمانی جاری انجام می‌گیرد. روش MPC توانایی پیش‌بینی رخدادهای آینده و اتخاذ اعمال کنترلی متناسب با آن را دارد.

1- Frequency Domain
2- Model Predictive Control

در آغاز کنترل، نتایج مدل پیش‌بین با وضعیت موجود اندازه‌گیری‌شده، مقایسه می‌شود و یک بهینه‌سازی بلافاصله اجرا می‌شود تا آبدهی‌های بهینه در سازه‌ها در یک افق پیش‌بینی پیدا شود. پس از بهینه‌سازی، اولین اقدام کنترلی اجرا می‌شود و پس از یک گام زمانی کنترل، مراحل مجددا تکرار می‌شود. در انجام بهینه‌سازی، محدودیت‌هایی بر آبدهی‌های کنترلی اعمال می‌شود. بنابراین، از مشکلات در آینده و نقض قیود آبدهی اجتناب می‌شود.

اشکال اصلی MPC این است که بهینه‌سازی باید به صورت آنلاین بر روی یک کامپیوتر قدرتمند اجرا شود و این ممکن است چند دقیقه طول بکشد تا اقدامات بهینه محاسبه شود.

۴-۹-۲-۳- تکنیک تناسبی-انتگرالی-دیفرانسیلی

برای افزایش دقت و عملکرد تکنیک PI، یک بخش دیفرانسیلی به تکنیک PI افزوده شده و به تکنیک تناسبی-انتگرالی-دیفرانسیلی یا PID ارتقا یافته است. به عبارتی تکنیک PI همان تکنیک PID است که بخش دیفرانسیلی آن برابر با صفر است. تکنیک P مقدار خطا را کاهش می‌دهد اما قادر نیست که سطح (عمق) آب را به‌طور دقیق در مقدار هدف تنظیم کند. وجود این عدم انطباق جزیی در محدوده مجاز در مدت زمان طولانی باعث تفاوت قابل توجه در آبدهی تحویلی به آبگیر و آبدهی مورد نیاز می‌شود. به همین دلیل یک کنترل‌کننده انتگرالی (Reset) برای برطرف کردن این مشکل به سیستم اضافه می‌شود. در واقع مقدار انتگرالی متناسب با میزان تجمعی انحراف عمق از محدوده مجاز در طول فرآیند کنترل می‌باشد. به تعبیر دیگر خروجی کنترل معادل است با مجموعی از نسبت‌های تناسبی و انتگرالی.

متغیر خروجی در کنترل‌کننده PID مجموعه‌ای از نسبت‌های تناسبی و انتگرالی و دیفرانسیلی مطابق رابطه (۴-۱) می‌باشد:

$$\Delta Q_{EST} = \Delta Q_{(1)} + \Delta Q_{(2)} + \Delta Q_{(3)} \qquad (۴-۱)$$

که در این رابطه ΔQ_{EST} مقدار تغییر متغیر خروجی کنترل در زمان t، $\Delta Q_{(1)}$ نسبت تناسبی متغیر مورد کنترل، $\Delta Q_{(2)}$ نسبت انتگرالی متغیر مورد کنترل و $\Delta Q_{(3)}$ نسبت دیفرانسیلی متغیر مورد کنترل هست مقادیر این نسبت‌ها از روابط (۴-۲) تا (۴-۴) محاسبه می‌شود.

$$\Delta Q_{(1)} = K_p.(\Delta I) \qquad (۴-۲)$$

$$\Delta Q_{(2)} = K_i.\int_0^t (\Delta I)\,dt \qquad (۴-۳)$$

$$\Delta Q_{(3)} = K_d \frac{d}{dt}(\Delta I) \qquad (۴-۴)$$

در روابط فوق، ΔI برابر تفاوت مقدار متغیر اندازه‌گیری‌شده و مقدار هدف در زمانt، K_p برابر ضریب وزنی اثر نسبت تناسبی، K_i ضریب وزنی نسبت انتگرالی و K_d ضریب وزنی نسبت دیفرانسیلی است. در حال حاضر تعداد بسیاری از تکنیک‌های PID ابداع شده که در منطق کنترل و سخت‌افزار با یکدیگر متفاوت هستند. در این تکنیک نیز برای بهبود بخشیدن به عملکرد الگوریتم از مولفه جداسازی بازه‌ای[۱] استفاده می‌شود. در کنترل مرکزی، تنظیم کنترل‌گرهای PID با در نظر گرفتن کل کانال و همچنین با استفاده از بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. نتیجه این بهینه‌سازی معمولا کاهش تدریجی مقادیر K کنترل‌گرها به صورت سری است.

۴-۹-۳- مدیریت سامانه تحویل و تنظیم سازه‌ها در شبکه آبیاری

مدیریت سامانه تحویل، کل شبکه تحویل را شامل می‌شود و به چگونگی تطبیق شدت‌جریان در کل خروجی‌ها و آبدهی ورودی آب از منبع آب می‌پردازد. روش‌های مدیریت سامانه اصلی می‌تواند در اشکال زیر باشد:

سامانه ساده؛ سامانه ساده بدون مدیریت مستمر (روزانه) است و این امر هنگامی ضروری است که تنظیم سازه‌ها ممکن یا لازم نباشد. این روش در سامانه‌های توزیعی «کنترل به نسبت» با تقسیم ثابت آبدهی و در سامانه‌های کنترل بالادست از پیش برنامه‌ریزی شده برای تحویل آب در فصل آبیاری خواهد بود.

سامانه مرکزی؛ هنگامی که وظیفه یک مرکز بهره‌برداری از آب، تطبیق آبدهی ورودی از منبع آب با مقدار آب تحویلی مورد نیاز برنامه‌ریزی‌شده باشد، مدیریت سامانه مرکزی است. این روش در سامانه تحویل با کنترل بالادست اجرا می‌شود.

سامانه تطابق‌پذیر؛ زمانی است که سامانه تحویل بتواند با تغییرات آبدهی خروجی‌ها خودش را تطبیق‌دهد. این حالت یک ویژگی کنترل پایین‌دست، BIVAL و ELFLO و کنترل مرکب[۲] است.

۴-۹-۴- فرایند انتخاب روش کنترل سامانه تحویل

۴-۹-۴-۱- روند و مراحل

انتخاب مناسب‌ترین روش کنترل برای سامانه تحویل آب آبیاری، از قبیل کنترل تقسیم‌به‌نسبت، بالادست و پایین‌دست، پیچیده است. با توجه به اهمیت موضوع باید یک فرایند انتخاب سامانه سیستماتیک مورد نظر باشد. ابتدا

۱- عملیات Decoupling عبارت است انتقال مستقیم متغیر خروجی کنترل مربوط به یک بازه از کانال به بازه بالادست. به عبارت دیگر با توجه به این‌که آب مورد نیاز از بالادست باید تأمین شود برای جلوگیری از زمان تأخیر تأمین آب بعد از محاسبه خروجی کنترل توسط کنترل‌کننده، این مقدار از طریق تجهیزات ارتباطی به بازه‌های بالادست منتقل می‌شود.

2- Composite Control

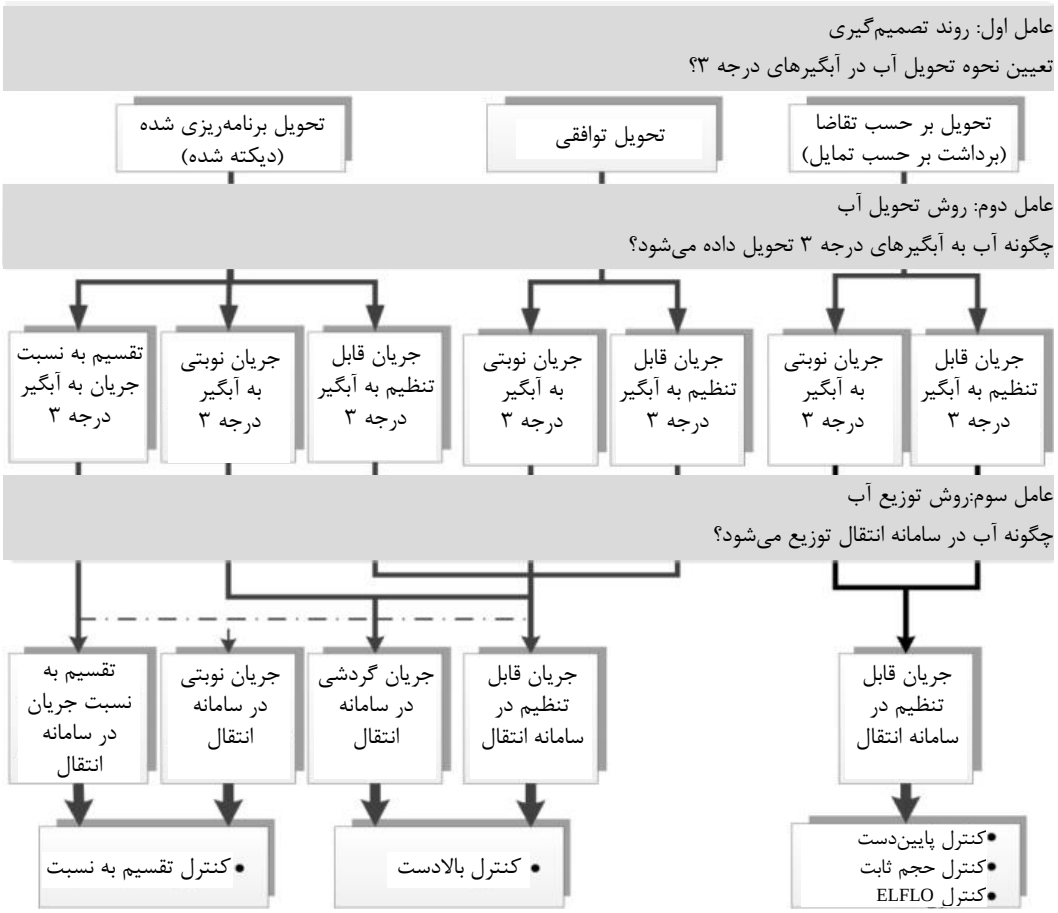
باید، هدف بهره‌برداری از سامانه تحویل تعریف شود. انتخاب اولیه روش کنترل به طور مستقیم از هدف بهره‌برداری تبعیت می‌کند. ویژگی‌های مشخصی از روش کنترل، مانند عملکرد هیدرودینامیکی، معیارهای طراحی و اجرا، الزامات بهره‌برداری و نگهداری از شبکه و برخی از جنبه‌های دیگر، در بطن این انتخاب نهفته است. همچنین باید ارزیابی شود که آیا ویژگی‌های روش کنترلی انتخابی قابل قبول است یا خیر؛ اگر مورد قبول نباشد، باید در هدف اصلی بهره‌برداری از سامانه تحویل، تجدید نظر شود که ممکن است روش کنترلی دیگری را در پی داشته باشد.

۴-۹-۴-۲- عوامل تاثیرگذار بر روش کنترلی

عوامل تاثیرگذار بر روش کنترلی از یک سامانه تحویل آبیاری، توسط سه عامل اصلی تعیین می‌شود:

الف- تصمیم‌گیری در مورد روش آب‌رسانی به آبگیر درجه سه، به این مفهوم که «چه کسی» در مورد تحویل آب به واحد درجه سه تصمیم می‌گیرد. سه گزینه تصمیم‌گیری در مورد آب‌رسانی به آبگیرهای درجه سه وجود دارد: تحویل برنامه‌ریزی شده، تحویل توافقی که جزو روش بهره‌بردای عرضه‌گرا هستند و تحویل برحسب تقاضا که روش بهره‌برداری تقاضاگرا است (راهبرد بهره‌برداری).

ب- در چگونگی تحویل آب به واحد درجه ۳، سه روش برای تحویل آب به آبگیر درجه سه وجود دارد. روش تحویل به‌صورت تقسیم به نسبت، که جریان موجود با استفاده از سازه‌های تقسیم‌کننده، هدایت می‌شود. روش تحویل، «جریان تناوبی (قطع/وصل)» است که در آن تحویل یک «جریان واحد» در بین مزارع به شکل برنامه‌ریزی‌شده انجام می‌گیرد و روش تحویل سوم، که «جریان قابل تنظیم» است که اغلب در زمان‌بندی آبدهی به مزارع اعمال می‌شود؛ هنگامی که آبدهی حداکثری مورد نیاز است و زمانی‌که شدت‌جریان به تدریج در دوره خارج از پیک کاهش می‌یابد.



شکل ۴- ۲۸- انتخاب روش کنترلی در سامانه‌های تحویل آبیاری کانال

پ- روش توزیع آب، یعنی «چگونگی» توزیع آب از طریق سامانه اصلی آبیاری؛ روش توزیع می‌تواند یا بر اساس «تقسیم به نسبت»، «آبدهی تناوبی» یا «جریان قابل تنظیم» باشد، درحالی‌که «تحویل برنامه‌ریزی‌شده» نیز می‌تواند زمانی اعمال شود که آبگیرهای درجه دو نیز به طور متناوب با جریان «چرخشی» مشابه‌ای تامین آب شوند. در نهایت همچنان‌که در شکل (۴-۲۸) مشاهده می‌شود، برای روش برحسب تقاضا می‌توان از روش‌های مختلف پایین‌دستی و خودکار استفاده کرد.

برخی از محدودیت‌های اصولی که باید در معیارهای بهره‌برداری گنجانده شوند به شرح زیر است:

- **نوسان سطح آب؛** دامنه نوسان بین حداقل و حداکثر، انعطاف‌پذیری سامانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.
- **تنظیم جریان ذخیره میانی کانال؛** فاصله دریچه‌های کنترلی ممکن است منجر به بازه‌های طولانی کانال شود. طول بازه هر کانال می‌تواند دو محدودیت مهم انعطاف‌پذیری بهره‌برداری را در پی داشته باشد اول؛ زمان بازیابی و دوم؛ خسارت ناشی از افت سریع سطح آب را تحمیل کند. ترکیب طول بازه و عمق منشور مقطع کانال از یک جریان ثابت به جریان دیگر، تاخیر زمانی لازم برای تنظیم مشخصات سطح آب بازه ذخیره‌ای کانال را تعیین می‌کند. بنابراین، بازه ذخیره‌ای کانال طولانی‌تر برای بازیابی حالت پایدار جدید به زمان

بیش‌تری نیاز دارد. بر این اساس، ممکن است برای جلوگیری از خسارت، گزینه‌هایی که در آن‌ها سطح آب با سرعت کم‌تر کاهش می‌یابد محدود شوند.

- **مدیریت انرژی** در شرایط مختلف از جمله شرایطی که سامانه شامل نیروگاه برقابی و پمپاژ از کانال و مخازن تنظیمی باشند، نقش مهمی دارند.
- **مخازن تنظیمی** از عوامل مهم در خودکارسازی می‌باشند و عدم وجود آن‌ها محدودیت شدیدی ایجاد می‌کند.
- **ظرفیت ذخیره تنظیمی موجود در سامانه کانال‌ها**، انعطاف پذیری بهره‌برداری را ایجاد می‌کند تا تغییرات قابل توجهی را بین برنامه‌های عرضه و تقاضا متعادل کند.
- **هرز آبرروها** یک روش ایمن حفظ حداکثر ظرفیت ممکن ذخیره‌سازی در هربازه هستند و تخلیه جریان اضافی از کانال را فراهم می‌کنند. ازاین رو محل استقرار سازه سرریز و دامنه تغییرات ارتفاع آب روی سرریز، باعث اطمینان از ظرفیت ذخیره‌سازی و تخلیه در شرایط ورود آب، بیش از ظرفیت ذخیره‌سازی است.
- **سازه‌های انتقال** مانند شوت و دراپ و سیفون معکوس ممکن است باعث ایجاد شرایط جریان آزاد در دریچه کنترل کانال بالادست شود و برای بهره‌برداری مطمئن اقدامات سازه‌ای ضروری است.

۴-۹-۴-۳- انتخاب اولیه روش کنترلی

این انتخاب‌های منطقی برای روش کنترلی، از هدف بهره‌برداری فوق پیروی می‌کنند (به شکل ۴-۲۸ مراجعه کنید):

- در تحویل برنامه‌ریزی‌شده، روش کنترل، کنترل بالادست یا کنترل تقسیم-به‌نسبت است. در کنترل تقسیم-به‌نسبت، در کل سامانه، تنها به سازه‌هایی نیاز است که جریان را به نسبت‌های ثابتی تقسیم می‌کنند. برای تحویل آب به آبگیرهای درجه ۳ با آبدهی قابل تنظیم و متناوب، به کنترل بالادست نیاز است.
- در تحویل توافقی، شبکه آبیاری به سامانه کنترل بالادست با یک مدیریت مرکزی نیاز دارد. هنگامی که میزان دسترسی به آب، کم‌تر از آب مورد نیاز قابل دسترس باشد، روش‌های کنترل پایین‌دست، BIVAL و ELFLO نیز می‌توانند در بهره‌برداری به‌شکل تحویل توافقی استفاده شود. در این حالت در ابتدا، درخواست‌های آب برای آبگیرهای درجه ۳ با میزان آب موجود کنترل می‌شود و تحویل آب تنها پس از تایید توسط مسوولین بهره‌برداری انجام می‌گیرد. بنابراین، یک تاخیر زمانی در سامانه وجود خواهد داشت.
- روش کنترل در تحویل برحسب تقاضا باید یک روش تطبیق‌پذیر باشد. کنترل پایین‌دست و کنترل BIVAL، این شرایط را برآورده می‌کند. یک روش کنترل جایگزین می‌تواند کنترل ELFLO باشد که یک روش تطابقی است، اما برای تنظیم جریان در مخزن کانال، نیاز به یک تاخیر زمانی دارد.

۴-۹-۵- ارزیابی روش کنترلی

۴-۹-۵-۱- معیارهای ارزیابی

معیارهای ارزیابی روش کنترلی انتخاب‌شده اولیه برای پروژه‌های مختلف آبیاری متفاوت است؛ همچنین ممکن است در این ارزیابی عوامل وزنی مختلفی دخالت داشته‌باشند. به طورکلی، یک روش کنترلی را می‌توان از جنبه‌هایی مانند، عملکرد هیدرومکانیکی، شرایط هیدرولوژیکی و توپوگرافی، طراحی و ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، اقتصادی و جنبه‌های اجتماعی و حقوقی ارزیابی کرد (جدول ۴-۲).

۴-۹-۵-۲- ارزیابی عملکرد هیدرو دینامیکی

سامانه‌های دارای کنترل عمق ثابت در پایین‌دست بازه، (مانند روش کنترل بالادست، کنترل ELFLO) باید قبل از رسیدن به حالت پایدار، ابتدا مخزن داخل کانال را تنظیم‌کنند (ر.ک ۴-۸-۱-ث و شکل ۴-۲۰). زمان لازم برای تغییر حجم گوه ذخیره بازه تا رسیدن به حالت پایدار، منجر به ایجاد یک تاخیر زمانی بین رها شدن آب از تاسیسات آبگیری و در دسترس قرارگرفتن آب در آبگیرهای درجه ۳ می‌شود. بنابراین، این سامانه‌ها در زمان افزایش آبدهی، زمان تطبیق[1] طولانی دارند. برعکس این حالت زمانی که آبدهی کاهش داده شود، با خروج آب از مخازن درون کانالی اتفاق خواهد افتاد، درحالی‌که آبگیرهای درجه ۳ نیازی به این مقدار آب ندارند و این هدررفت در بهره‌برداری است.

در کنترل پایین‌دست با کنترل عمق ثابت در بالادست بازه، می‌توان بلافاصله مقدار آبدهی افزایش یافته را در آبگیر فراهم کرد. درحالی‌که، در این کنترل با کاهش آبدهی می‌توان آب مازاد را در بازه‌های کانال برای استفاده‌های بعدی ذخیره کرد (ر.ک ۴-۸-۱-ث و شکل ۴-۲۱). در کنترل BIVAL، حجم گوه بالادست بازه همیشه برابر با حجم گوه پایین‌دست بازه کانال است (ر.ک ۴-۸-۱-ث و شکل ۴-۲۲). در این حالت چنین کانالی مانند یک خط لوله تحت‌فشار، بدون مخزن دینامیک عمل می‌کند. بنابراین، سامانه‌های تحت کنترل پایین‌دست و کنترل BIVAL دارای تاخیر زمانی و هدررفت بهره‌برداری نیستند. اگرچه ممکن است استفاده از آب با بازدهی بالا در سامانه‌هایی که مجددا از آب زهکشی استفاده می‌کنند یا در شرایطی که سایر سامانه‌ها (سامانه‌های بعد از شبکه) به این جریان برگشتی وابسته باشند، یک عامل تعیین‌کننده آبیاری نباشد.

1- Response Time

۴-۹-۵-۳- ارزیابی موقعیت هیدرولوژیکی و توپوگرافی

روش‌های کنترلی تحت مدیریت تطبیق‌پذیر (پایین‌دستی، BIVAL، ELFLO) در شبکه‌هایی که رودخانه فصلی بوده یا نوسان زیادی دارد، ناکارآمد هستند. از طرف دیگر، سامانه‌های کنترل بالادست نیز ممکن است دچار مشکلات جدی خروج آب از بخش انتهایی کانال شوند، مگر این‌که از روش کنترل «دریچه‌های تقسیم‌به‌نسبت» استفاده شوند (Ankum 1993c).

انتخاب روش کنترل در شبکه‌هایی که جریان آب، بار رسوبی قابل توجهی را حمل می‌کند از حساسیت خاصی برخوردار است. رسوب زیاد در بازه‌های کانال با جریان رسوب‌گذار، می‌تواند انتخاب روش‌های بهره‌برداری مانند کنترل پایین‌دست و کنترل حجمی را از گزینه‌های انتخابی حذف کند؛ همچنین کنترل بالادست و ELFLO نیز انتخاب‌های مناسبی نخواهند بود. بنابراین ضروری است چاره‌ای اندیشیده شود و در زمان طراحی، وجود رسوب کاملا مورد توجه قرار گیرد و بهای لازم به آن داده شود. همچنین استفاده از رسوب‌گیر در تاسیسات آبگیری می‌تواند بار بستر را حذف و بار معلق را کاهش دهد و در شرایط مدیریت مناسب چنین مشکلات رسوبی را برطرف کند.

جدول ۴-۲- ارزیابی روش‌های بهره‌برداری در آبیاری

معیارهای ارزیابی	کنترل تقسیم به نسبت	کنترل بالادست	کنترل پایین‌دست	کنترل حجم ثابت	کنترل ELFLO
عملکرد هیدرو مکانیکی					
• زمان پاسخ/عکس‌العمل کوتاه	na	--	++	++	--
• راندمان بهره‌برداری بالا	na	--	++	++	--
• راندمان بالای کل سامانه کنترل	--	-	++	++	-
• مناسب فقط برای آبیاری روزانه	--	-	++	++	+
شرایط هیدرولوژیکی و توپوگرافی					
• عملکرد در شرایط کمبود آب	++	+	--	--	--
• عملکرد تحت شرایط بار رسوبی	++	+	--	--	+
• مناسب برای اراضی شیب‌دار	++	++	--	-	++
طراحی و ساخت					
•سادگی سازه‌ها و تنظیم‌کننده‌ها	++	+	-	--	--
• سازه‌ها و تنظیم‌کنندهای مطمئن	++	+	-	--	--
• کاربرد مصالح محلی	++	++	--	-	-
• کاربرد بدون سیستم تله‌متری	++	++	++	--	--
• کاربرد بدون برق	++	++	++	--	--
بهره‌برداری					
• بدون مرکز بهره‌برداری آب	++	--	++	++	++
• بدون اندازه‌گیری آبدهی	++	--	++	++	++
• بدون اپراتور در آبگیرهای درجه ۲	++	--	++	++	++
• بدون اپراتور در آبگیرهای درجه ۳	++	--	-	+	+
نگهداری					
• وابسته به نگهداری کانال	+	+	--	--	+
• نگهداری با فناوری پایین	++	++	-	--	--
اقتصادی					
• هزینه عملیات خاکی کم	++	++	--	-	++
• هزینه کم سازه‌ها و دریچه‌ها	++	++	--	--	--
• استفاده تنها از پول ملی	++	++	--	--	--
جنبه‌های اجتماعی و حقوقی					
• مقاوم در برابر سرقت آب	++	+	--	--	--
• عدالت در توزیع آب	++	na	na	na	na
• اختلال یکسان در عرضه	++	++	--	--	--
• انعطاف‌پذیری در تحویل آب	--	-	++	++	++
• استفاده از بارندگی موثر	--	-	++	+	

na: نامرتبط | +: خوب | ++:خیلی خوب | -: ضعیف | --: خیلی ضعیف

۴-۹-۵-۴- ارزیابی الزامات بهره‌برداری و نگهداری

کلیه سامانه‌های آبیاری با کنترل بالادست که می‌باید تغییر در نیازهای آبی را با یک منبع انعطاف‌پذیر آب تامین کنند، نیازمند واحدهای بهره‌برداری مرکزی هستند. حتی با داشتن چنین منبع تنظیمی به‌نظر می‌رسد که در شبکه‌های موجود، ایجاد یک واحد بهره‌برداری کارآمد بسیار دشوار است. از این‌رو این سوال پیش می‌آید که آیا بهتر است با حفظ این روش کنترل، تلاش‌ها را برای ایجاد واحدهای بهره‌برداری مرکزی کارآمدتر افزایش داد یا این‌که با انتخاب سایر روش‌های بهره‌برداری از تکیه بر واحد بهره‌برداری گسترده خودداری نمود؟

در بهره‌برداری از سامانه، به‌ویژه در کنترل بالادست به اپراتورهای میدانی وابستگی زیادی وجود دارد. دستورالعمل و برنامه شدت‌جریان آبگیری در این سامانه‌ها اغلب توسط واحد بهره‌برداری تنظیم می‌شود و تنظیم‌کننده‌های آبدهی و سطح آب باید بر این اساس تغییر کنند. شرایط ناپایدار سامانه در هنگام این تغییرات باعث می‌شود که تنظیم مناسب دریچه‌ها بسیار زمان‌بر باشد. اغلب، اندازه‌گیری آبدهی در کل سامانه، بار سنگینی در مدیریت روزانه است که به ندرت به خوبی انجام می‌شود.

تاخیر و تعویق در نگهداری کانال، باعث افزایش ضریب زبری کانال می‌شود که خود منجر به تغییر تراز سطح آب در بازه کانال می‌گردد. برای سامانه‌های کنترل تقسیم به‌نسبت، کنترل بالادست و ELFLO، سطح آب در پایین‌دست بازه و بلافاصله قبل از سازه انتهایی از سطح طراحی‌شده بالاتر می‌رود. این اتفاق ممکن است، تا زمانی که ارتفاع آزاد و افت بار کافی در سازه‌های تنظیمی وجود داشته باشد، روی برداشت آب در سامانه تاثیری نداشته‌باشد. اما سامانه‌های تحت کنترل پایین‌دست و BIVAL ممکن است به این امر واکنش متفاوتی نشان‌دهند. تجربه نشان داده است که سامانه‌های تحت کنترل روش‌های پایین‌دست یا BIVAL، نسبت به نگهداری ضعیف کانال، بیش‌تر آسیب‌پذیر هستند.

۴-۹-۵-۵- ارزیابی از جنبه‌های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی

هزینه، یک عامل اصلی در انتخاب روش کنترلی است. ایجاد فضای ذخیره مثبت درون کانالی (شکل۴-۲۱)، به این معنی است که دیواره‌ها باید از سطح آب طراحی‌شده بالاتر باشند که هزینه‌های بالاتری را به ویژه در مسافت‌های طولانی‌تر بین سازه‌های تنظیم، به پروژه تحمیل می‌کند. خودکارسازی دریچه‌های تنظیمی در روش‌های کنترل پایین‌دست، BIVAL و ELFLO در مقایسه با دریچه‌های دستی، هزینه سرمایه‌ای بالاتری داشته و در نگاه اول بسیار گران‌تر است؛ درحالی‌که، این هزینه‌ها تنها سهمی جزئی از کل هزینه‌های پروژه را در طول عمر آن شامل می‌شوند. برآورد هزینه‌های روش‌های کنترلی مختلف، باید در زمان طراحی سامانه مشخص شود و محدودیت‌ها و امکانات آن با در نظر داشتن جنبه‌های دیگری مانند سازماندهی نیروها، ارزش اقتصادی آب، تلفات آب کم‌تر، انعطاف‌پذیری تحویل آب و تفاوت ارزش تولیدات کشاورزی و همچنین نیاز به ارزهای خارجی ارزیابی شود.

جنبه‌های اجتماعی و گاهی سیاسی، می‌تواند در انتخاب نهایی روش کنترلی یک نقش اساسی داشته باشد. این جنبه‌ها می‌تواند شامل موارد زیر باشد: آسیب‌پذیری در برابر سرقت، سوءاستفاده برداشت غیرمجاز آب، توزیع عادلانه آب

در فصول مختلف، توزیع عادلانه در هنگام اختلال در تامین آب (سامانه‌های با کنترل بالادست)، انعطاف‌پذیری تحویل آب (سامانه‌های با کنترل پایین‌دست).

۴-۹-۶- انتخاب نهایی

۴-۹-۶-۱- ملاحظات در انتخاب نهایی

مشخص است که فرایند انتخاب یک روش کنترلی مناسب برای سامانه‌های تحویل آب، آسان نیست و هر یک از روش‌های بهره‌برداری دارای مزایا و معایبی هستند (جدول ۴-۲):

کنترل تقسیم به‌نسبت؛ ساده‌ترین روش کنترلی است که تنها برای شرایط معینی از آبیاری تک‌محصولی، آبیاری در سطح گسترده یا هنگامی که از آب زهکشی استفاده مجدد صورت‌گیرد، مناسب خواهد بود. سامانه‌های تحت کنترل تقسیم به‌نسبت را می‌توان بدون نیاز به مدیریت سامانه بهره‌برداری کرد. درصورتی که از سازه‌های تقسیم به‌نسبت با میزان کافی افت بارآبی استفاده شود، توزیع عادلانه (توزیع مازاد یا کمبود آب به نسبت یکسان) در تمامی مقادیر آبدهی تضمین می‌شود. این روش در شالیزارها با روش آبیاری غرقابی، دائمی و کرت به کرت استفاده می‌شود.

کنترل بالادست؛ به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌است. این سامانه‌ها نیازمند مدیریت مرکزی قوی هستند. بهره‌برداری از سامانه‌های تحت کنترل بالادست با مشکلاتی مواجه است که متاثر از زمان واکنش طولاتی در این سامانه‌ها است؛ همچنین تغییرات زیاد در تنظیم مقدار آبدهی، موجب هدررفت زیاد آب در بهره‌برداری می‌شود.

کنترل پایین‌دست؛ به یک سامانه مدیریت مرکزی نیاز ندارد و مشکلات مذکور در بالا، زمان واکنش و هدررفت را برطرف کرده است. اما از طرف دیگر، عملیات خاکی و سازه‌های آن می‌تواند گران تمام شود، درحالی‌که معمولا، مخازن درون کانالی ناشی از عملیات خاکی بیش‌تر، برای بهره‌برداری شرایط خوبی را فراهم می‌کند.

کنترل حجم ثابت؛ یک روش جایگزین برای کنترل پایین‌دست در کانال‌های شیب‌دار است. در این روش باید از سامانه اندازه‌گیری راه‌دور (تله‌متری) و دریچه‌های الکترومکانیکی استفاده شود.

کنترل ELFLO؛ یک روش تطابق‌پذیر است و نسبت به کنترل BIVAL، عملیات خاکی کم‌تری نیاز دارد. با این‌حال، این روش هم نیاز به دریچه‌های الکترومکانیکی و اندازه‌گیری راه‌دور (تله‌متری) دارد، به علاوه که ذخایر درون کانالی آن‌ها، رفتاری مشابه با کنترل بالادست در زمان واکنش و هدررفت دارند.

ترکیبی از سامانه‌های کنترلی ذکرشده، می‌تواند منجر به روش کنترلی بهینه‌ای شود. برای مثال، این امکان وجود دارد که از روش‌های کنترلی مختلفی در طول سامانه تحویل آب استفاده شود یا مخازن تنظیمی به‌کار گرفته شوند.

۴-۹-۶-۲- تغییر اهداف بهره‌برداری

انتخاب روش بهره‌برداری در سامانه‌های موجود، هنگامی که اهداف بهره‌برداری آن‌ها به تدریج تغییر کرده باشد، می‌تواند پیچیده باشد، چرا که معمولا در چنین حالتی بین اهداف بهره‌برداری و روش بهره‌برداری موجود، عدم انطباق اتفاق افتاده است.

تحویل توافقی در کنترل بالادست تنها هنگامی امکان‌پذیر است که سامانه مدیریت مرکزی قوی وجود داشته‌باشد. با این حال، بیش‌تر این احساس وجود دارد که ظرفیت مدیریتی برای چنین مرکز بهره‌برداری از آب به لحاظ فنی و اجتماعی وجود ندارد و یک سامانه کنترل بالادست بدون مدیریت مرکزی، هیچگاه نمی‌تواند تحویل توافقی را در برداشته باشد و تنها می‌تواند به صورت برنامه‌ریزی‌شده یا با هرج‌ومرج عمل‌کند. برای همین، کنترل تقسیم به‌نسبت (تحویل دیکته‌شده) یا کنترل ELFLO (تحویل برحسب تقاضا با مدیریت تطابق‌پذیر) معمولا به نتایج بهتری منتهی می‌شود.

بسیاری از سامانه‌های مبتنی بر عرضه برنامه‌ریزی‌شده تحت کنترل تقسیم به‌نسبت یا بالادست، برای آبیاری قابل کنترل طراحی و اجرا شده‌اند. این سامانه‌ها به‌راحتی نمی‌توانند به سامانه‌های مبتنی بر محصول (تحویل توافقی و برحسب تقاضا) تغییر شکل دهند. در وهله اول، ظرفیت نسبی آن‌ها باید به میزان قابل توجهی افزایش یابد، و دسترسی به آب باید تضمین شود. دوم آن‌که، باید اذعان کرد که کنترل بالادست برای تحویل توافقی به دلیل این‌که زمان واکنش کند و در نتیجه هدررفت‌های بهره‌برداری اجتناب‌ناپذیر هستند باید به یک مدیریت مرکزی قوی متکی باشد. سایر روش‌های کنترل جایگزین تطابق‌پذیر نیز معمولا عملی نیست. کنترل پایین‌دست نیز به دلیل عملیات گسترده بازسازی دیواره‌های خاکریز کانال اغلب پذیرفتنی نیست. در کنترل BIVAL این عملیات عمرانی بازسازی، کاهش می‌یابد، اما به اندازه‌گیری راه‌دور و دریچه‌های الکترومکانیکی نیاز خواهد داشت.

فرایند انتخاب ممکن است، سه مرحله ارائه شده در بالا (شکل ۴-۲۸) را به صورت تکرارپذیر دنبال کند؛ انتخاب نهایی ارتباط نزدیکی با برنامه‌ریزی آبیاری مورد نیاز دارد و این کار نیاز به دریافت اطلاعات به عنوان ورودی از همه طرف‌های ذی‌نفع با رویکردی گسترده دارد.

۴-۱۰- الزامات خودکارسازی در شبکه‌های با بهره‌برداران خرده مالک

اصولا مسایل و مشکلات عمده خرده‌مالکی، در سطح مزرعه نمود دارد و در بالاتر از آبگیرهای درجه ۳ این موضوع کم‌رنگ‌تر شده وکم‌تر مساله‌ساز است. از طرفی تامین به موقع و به میزان مشخص و تعریف شده و شفاف آب مورد نیاز و درخواستی، کمک زیادی به خیل عظیمی از کشاورزان تحت پوشش این‌گونه شبکه‌ها کرده و باعث افزایش بهره‌وری از آب و توزیع عادلانه شده و اعتماد مردمی به مدیریت شبکه به وجود آمده و مشارکت فعال‌تر بهره‌برداران خرده مالک را در پی داشته و پرداخت آب بها به صورت صحیح‌تری انجام خواهد شد. اما در هر شرایطی الزامات زیر باید مورد توجه باشد:

- سازماندهی کشاورزان خرده مالک و استقرار تشکل‌های آب‌بران در سطح مزرعه

- آموزش کشاورزان و ترغیب آن‌ها به رعایت اصول نوین کشاورزی
- ترویج کارگروهی و ترغیب کشاورزان به حضور در شرکت‌های بهره‌برداری یا شرکت‌های تعاونی
- برگزاری کارگاه‌های آموزشی و توضیح مزایا و نکات مثبت تحول شبکه از روش‌های سنتی و سلیقه‌ای به برنامه‌ریزی شده، شناسنامه‌دار و در نهایت خودکار

۴-۱۱- الزامات سازه‌ای خودکارسازی در سامانه‌های کنترل از بالادست موجود

امر خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری، اعمال سیستم کنترلی برای توزیع و تحویل برنامه‌ریزی شده یا بر اساس تقاضای آب است. درصورتی‌که سازه‌های تنظیم و تحویل آب در داخل شبکه، مناسب اعمال خودکارسازی کامل نباشند و ناگزیر حفظ سیستم موجود کنترل از بالادست باشد، الزامات خودکارسازی با حفظ سیستم کنترل از بالادست در بند ۴-۷- و ۴-۸- ارائه شده است. اما حداقل‌ها در راه‌اندازی سامانه کنترل از بالادست موجود به قرار زیر است:

- اندازه‌گیری با قابلیت انتقال خودکار داده‌ها با دقت مناسب
- قابلیت برقی کردن دریچه‌های توزیع آب در آبگیرها
- قابلیت برقی کردن سازه‌های تنظیم سطح آب
- دسترسی به انرژی الکتریکی یا خورشیدی قابل اعتماد راه‌اندازی تجهیزات و عمل‌گرها
- وجود شبکه ارتباطی

بدیهی است در سامانه‌های آبیاری که از سازه‌های هیدرومکانیکال و سرریز ثابت برای تنظیم سطح آب استفاده شده باشد و دریچه‌ها مدول نیرپیک باشد، به‌خودی‌خود به صورت خودکار موضعی و با دقت در حد پیمانه‌های (مدول‌ها) دریچه‌های نیرپیک عمل می‌کند و تغییر سامانه آن‌ها بدون داشتن توجیه اقتصادی در افزایش تولید محصول از طریق افزایش انعطاف‌پذیری و صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق اندازه‌گیری دقیق و کاهش خطای عملیات بهره‌برداری منطقی نخواهد بود.

در شبکه‌هایی که دریچه‌های کشویی، قطاعی جهت تنظیم سطح آب و کشویی با قابلیت اندازه‌گیری آبدهی وجود داشته باشد، قابلیت خودکارشدن با توجه به ظرفیت‌های لازم ذخیره‌سازی و متناسب با آن قابل اجرا است. عدم وجود ظرفیت ذخیره‌سازی نوسانات جریان کنترلی، سیستم را در عمل به سیستم سامانه کنترلی نظارتی کاهش می‌دهد.

۴-۱۲- بررسی امکان تبدیل سامانه‌های کنترل از بالادست به انواع سیستم‌های کنترل از پایین‌دست

بیش‌تر شبکه‌های کشور کنترل از بالادست هستند. حدود نیمی از آن‌ها به روش کنترلی فرانسوی بهره‌برداری می‌شوند که در آن‌ها برای تنظیم سطح آب از دریچه‌های هیدرومکانیکال و در اندازه‌های کوچک‌تر از سازه‌های ثابت بتنی و برای آبگیرها، دریچه‌های نیرپیک (پیمانه‌ای یا مدولار) استفاده شده است. تنظیم سطح آب در این گونه شبکه‌ها،

بیش‌تر توسط دریچه‌های آمیل یا سرریز نوک اردکی است. مرجعی که نشان دهد می‌توان این دریچه‌ها را از نظر میزان گشودگی خودکار نمود، در دسترس نبوده است. اما با توجه به گستردگی استفاده از این دریچه‌ها در شبکه‌های کشور، درشرایط و ضرورت قطعی خودکار نمودن این نوع شبکه‌ها، می‌توان به روش‌های اصلاحی دراین سازه‌های فلزی فکر کرد. اما سرریزهای نوک اردکی که در شرایط موجود در دست بهره‌برداری هستند به سختی می‌تواند تغییرپذیر باشد و تغییر آن نیاز به اقدامات سازه‌ای خواهد داشت.

در شبکه‌هایی که برای تنظیم سطح آب از دریچه‌های کشویی یا قطاعی استفاده می‌شود، هیچ مشکلی از نظر برقی کردن و خودکار نمودن وجود ندارد و در عمل مطابق توصیه‌هایی که در این راهنما صورت گرفته است، می‌توان اقدام کرد. در حال حاضر بیش‌تر این دریچه‌ها مجهز به جعبه دنده بوده و برخی دستی و تعدادی برقی است.

اما در آبگیرها شرایط متفاوت است. بیش‌ترین آبگیرهای استفاده شده در شبکه‌های آبیاری کشور، کشویی ساده یا دریچه‌های نیرپیک (پیمانه‌ای یا مدولار) است. تغییرات در جهت خودکار کردن دریچه‌های نیرپیک برای باز و بسته کردن آن‌ها با مشکلات پرشماری همراه است و از آنجایی‌که این دریچه‌ها در تراز معین سطح آب مقابل خود دارای خاصیت آبگذری پیمانه‌ای (آبدهی ثابت) تعریف شده متناسب با اندازه عرض دریچه هستند، دقت مورد انتظار در حد تغییرات در کوچک‌ترین دریچه خواهد بود و اساسا برای خودکارسازی مناسب نیستند؛ اما خودکار کردن دریچه‌های کشویی با اصلاحات پیشنهادی ارائه شده در «ضوابط انتخاب و بهره‌برداری از تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی»، می‌تواند عملی باشد.

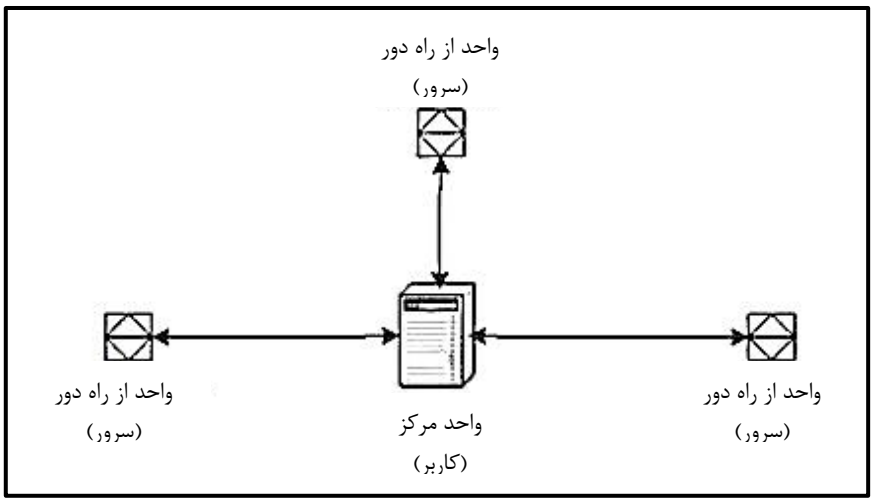
هم‌چنان‌که در فصول قبل بیان شد، سطح آب (توسط دریچه تنظیم‌کننده) و گشودگی دریچه آبگیر ارتباط مستقیمی دارند از این‌رو در شبکه‌هایی که تنظیم‌کننده کشویی یا قطاعی و آبگیرها، کشویی (از هر نوع) باشند، این دو سازه در تعامل با هم آبدهی مورد نظر را کنترل و تحویل می‌دهد. اما آبگیرهای مدول نیرپیک تنها برای سطح معینی از آب تنظیم و نصب شده است. از این‌رو در عمل آبگیر و تنظیم‌کننده کاملا در شرایط غیرقابل تغییر قرار دارند و اجرای سامانه خودکار در این شبکه‌ها بدون تعویض دریچه‌های مدول یا تغییرات اصلاحی در دریچه‌های کشویی و تغییر در سازه تنظیم‌کننده (دریچه آمیل و سرریز نوک اردکی) بی‌نتیجه است.

۴-۱۳- اصول و مبانی مخابرات سامانه کنترل

۴-۱۳-۱- مدل‌های ارتباطی

چندین مدل برای توضیح نحوه ارتباط بین تجهیزات با یکدیگر وجود دارد. مدل ارتباطی مستر-اسلیو[1] یک استاندارد باسابقه در اسکادا است. این نام‌گذاری، امروزه به دلایل فرهنگی تغییریافته و به صورت کلاینت–سِرور (مطابق آنچه پیش‌تر اشاره شد) نامیده می‌شود. در این مدل، واحد کلاینت ارتباط با یک یا چند سِرور را برقرار می‌کند. به طور معمول مرکز مانند کلاینت عمل می‌کند و واحدهای راه‌دور به عنوان سِرور عمل می‌کنند (شکل ۴-۲۹). واحد کلاینت برای هر سِرور دستوراتی را ارسال می‌کند، که معمولا از سِرور اطلاعاتی را درخواست می‌کند، یا مقادیری را روی سِرور می‌نویسد و هر واحد سِرور پاسخ این دستورات را می‌دهد.

هیچ ارتباط مستقیمی بین سِرورها وجود ندارد. بنابراین، اگر یک سِرور نیاز به یک مقدار از سِرور دیگری داشته باشد، واحد کلاینت (مرکز) ابتدا مقدار را از سِرور مناسب می‌خواند و سپس آن را روی سِرور دیگر می‌نویسد. توانایی یک سِرور برای گزارش‌دهی به واحد کلاینت می‌تواند یک مولفه ارتباطی مهم باشد؛ به‌خصوص برای هشدارها یا گزارش موارد امنیتی که توسط پایانه راه‌دور انجام شود. اما در چیدمان کلاینت-سِرور به دلیل کاستی‌هایی در مولفه‌های ارتباطی مانند پروتکل ارتباطاتی، یا اتصالات فیزیکی، امکان گزارش‌دهی قابل اطمینانی از طرف سِرورها وجود ندارد.

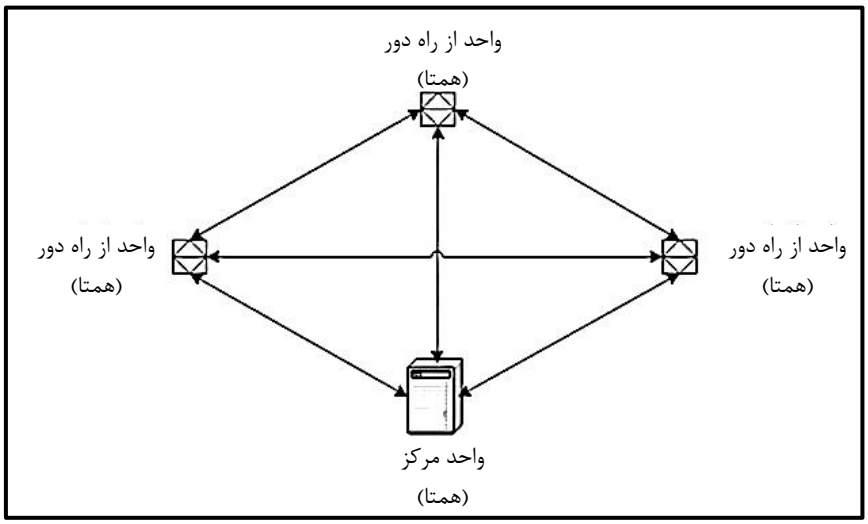


شکل ۴-۲۹- مدل ارتباطی کلاینت-سِرور

1- Master - Slave

در مدل همتا به همتا (P2P[1])، همه واحدها می‌توانند مستقیم با یکدیگر ارتباط برقرار کنند (شکل ۴-۳۰). در این حالت، در صورت نیاز به تبادل اطلاعات بین واحدهای راه‌دور، دیگر نیازی نیست که واحد مرکزی واسطه باشد. گزارش‌دهی توسط واحدها، در بطن مدل P2P قرار دارد.

تفاوت این دو مدل بیش‌تر مربوط به شیوه اجرای پروتکل ارتباطاتی بین واحدها است. به علاوه، نحوه ارتباطات فیزیکی ممکن است امکان قرارگیری دو واحد را در یک مسیر ارتباطی یکسان فراهم نکند. بنابراین حتی اگر پروتکل P2P پیاده شده باشد، ارتباطات P2P در تمام سامانه بین واحدها ممکن است برقرار نگردد.

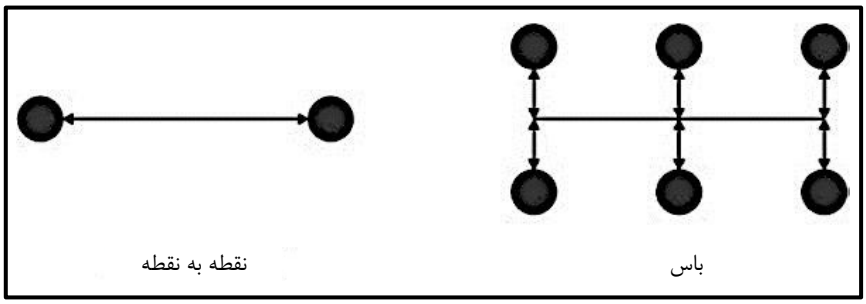


شکل ۴-۳۰- مدل همتا به همتا (P2P)

۴-۱۳-۲- پیکربندی شبکه ارتباطی

پیکربندی شبکه‌ها به تجسم عملکرد یک سامانه ارتباطی از چندین منظر کمک می‌کند. ساده‌ترین پیکربندی، حالت نقطه به نقطه[2] است که تنها دو واحد را به هم متصل می‌کند. یک پیکربندی «باس[3]» از چندین واحد آدرس‌پذیر که به یک مسیر ارتباطی، مثل یک کابل مشترک یا یک فرکانس رادیویی یکسان، متصل هستند تشکیل می‌شود (شکل ۴-۳۱) در پیکربندی باس، همه واحدها در پهنای باند ارتباطی کامل شریک هستند. هر واحدی می‌تواند اطلاعاتی را ارسال کند و تمامی واحدها این سیگنال معین را دریافت می‌کند. هر واحدی تنها اطلاعاتی را که برای آدرس اختصاصی خودش ارسال‌شده، پردازش می‌کند. یک مثال از شبکه باس، شامل مجموعه‌ای از واحدهای راه‌دور است که از طریق یک شبکه رادیویی سریال، به واحد مرکزی متصل باشد.

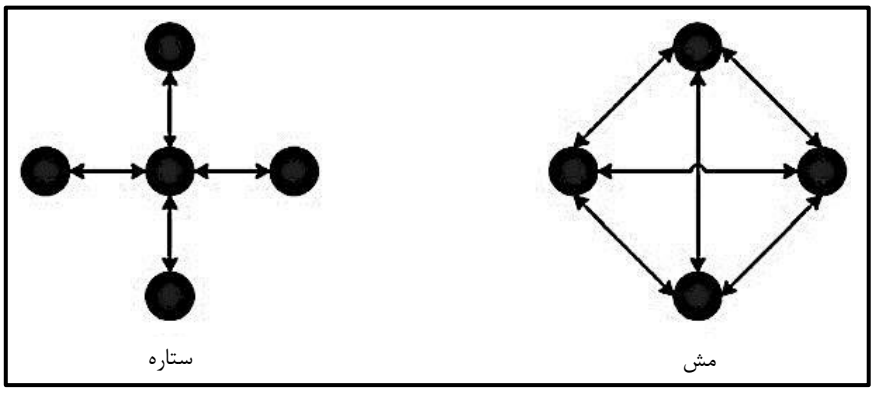
1- Peer-to-Peer
2- Point-to-Point
3- Bus



شکل ۴-۳۱- پیکربندی‌های نقطه به نقطه و باس

در یک پیکربندی ستاره، هر واحد آدرس‌پذیر به‌شکل نقطه به نقطه به یک سوئیچ مرکزی متصل می‌شود (شکل ۴-۳۲). کلیه ارتباطات باید از طریق این نقطه مرکزی عبور کند و سوئیچ بر اساس آدرس‌دهی در هر پیام، آن پیام را به مقصد درستی هدایت می‌کند. یک شبکه رایانه‌ای معمولی کابلی در یک شرکت، که از طریق سوئیچ شبکه مدیریت می‌شود نمونه ای از یک پیکربندی ستاره است.

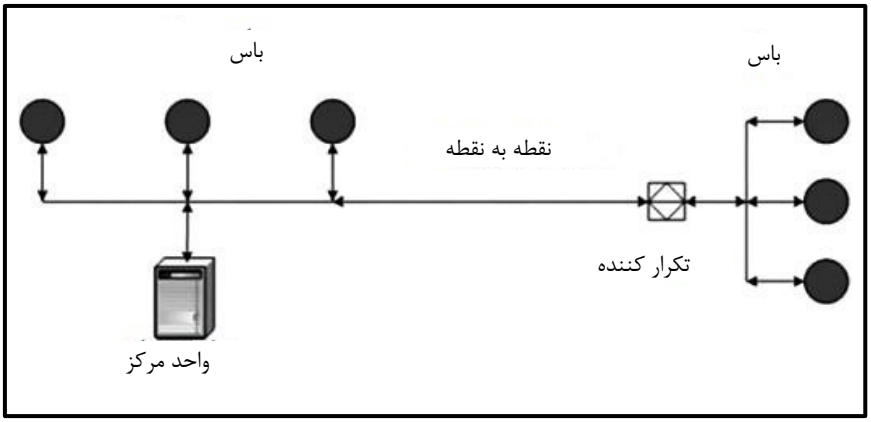
پیکربندی شبکه‌ای مش اجازه می‌دهد تا بین چندین واحد، ارتباط مستقیمی برقرار شود. در یک شبکه تماما مش، همه واحدها بهم پیوسته‌اند. یک پیکربندی که قسمتی از آن مش باشد نیز امکان‌پذیر است. انواع حالت‌های پیاده‌سازی برای یک شبکه مش وجود دارد و مکانیسم‌هایی که بر چرخش اطلاعات از طریق چنین شبکه‌هایی حاکم است، دارای جزییات قابل توجهی هستند. صرف‌نظر از این جزییات در یک پیکربندی مش، ایده اصلی به این شکل است که اطلاعات تا زمان رسیدن به مقصد خود در شبکه حرکت می‌کنند. یکی از مزیت‌های پیکربندی شبکه مشی قابلیت وجود زیرساخت‌های خوددرمان‌گر[1] است؛ به این نحو که اگر یک گره در شبکه از سرویس خارج شود، دیگر گره‌ها می‌توانند پیکربندی را مجددا تنظیم کنند و به کار خود ادامه دهند. وقتی گره غایب، مجددا در دسترس قرار گیرد، شبکه مجددا پیکربندی مش را برای دربرگرفتن آن گره تنظیم می‌کند.



شکل ۴-۳۲- پیکربندی‌های ستاره و مش

1 Self-healing infrastructure

یک شبکه ارتباطی می‌تواند ترکیبی از این پیکربندی‌ها را داشته باشد. فرض‌کنید که یک واحد مرکزی از طریق یک شبکه رادیویی سریال به تعدادی از واحدهای راه‌دور و هم‌زمان با استفاده از یک ارتباط مایکروویو نقطه به نقطه به تعداد دیگری از واحدهای در فواصل دورتر، متصل باشد (شکل ۴-۳۳). از منظر کاربردی مسیر واقعی این ترکیب را می‌توان به صورت ترکیبی از پیکربندی باس با یک دنباله نقطه به نقطه/باس دید. اگر ارتباط نقطه به نقطه قطع شود، امکان ارتباط بین خود واحدها در فواصل دورتر وجود خواهد داشت، اما ارتباط بین این واحدها و واحد مرکزی که توسط مایکروویو برقرار بود، قطع می‌شود.



شکل ۴-۳۳- ترکیب پیکربندی باس و نقطه به نقطه

۴-۱۳-۳- حالت‌های ارتباطی

روش‌های ارتباطی سیمپلکس[1]، ارتباطات یک جهته را توصیف می‌کند که مثال آشنای آن رادیو تجاری است؛ ایستگاه رادیویی سیگنالی را ارسال می‌کند، اما چیزی دریافت نمی‌کند. این حالت برای یک سامانه صرفا پایشگر اسکادا قابل اجرا است که در آن واحدهای راه‌دور تنها اطلاعات ارسال می‌کنند.

هنگامی که زیرساخت‌ها به یک دستگاه امکان ارسال و دریافت اطلاعات را به‌صورت هم‌زمان بدهد، این ارتباطات دو سویه، یک ارتباط «کاملا دوطرفه[2]» نامیده می‌شود. ترکیب برخی سخت‌افزارها و پروتکل‌های ارتباطاتی می‌تواند امکان ارتباط کاملا دوطرفه را فراهم کنند. مزیت ارتباط کاملا دوطرفه، افزایش حجم اطلاعات قابل جابه‌جایی است. با این‌حال، نقطه ضعف این ارتباطات، مشکل بودن عیب‌یابی آن است. یک نمونه از ارتباطات کاملا دوطرفه، استفاده از اینترنت برای برقراری تله‌کنفرانس است. همکاران یک شرکت در شهرها یا کشورهای مختلف می‌توانند به صورت هم‌زمان صدا و تصویر یکدیگر را دریافت کنند. بسته‌های اطلاعات صدا و تصویر به شکل هم‌زمان، ارسال و دریافت می‌شود.

1- Simplex
2- Full-duplex

ارتباط «نیمه دوطرفه[1]» در هر بار فقط به یک طرف اجازه ارتباط می‌دهد. در معماری پروتکل کلاینت-سِرور، هنگامی که کلاینت یک سیگنال ارسال می‌کند، کانال مسکوت می‌ماند تا این‌که سِرور مشخص‌شده پاسخی را ارسال کند، یا زمان پاسخگویی پایان یابد. اگرچه این زمان مرده، ممکن است در یک سامانه نظارتی محض با نرخ درخواست[2] آهسته چندان مهم نباشد، اما می‌تواند برای سامانه‌های بزرگ یا سامانه‌هایی با کنترل مرکزی بسیار مهم و تاثیرگذار شوند.

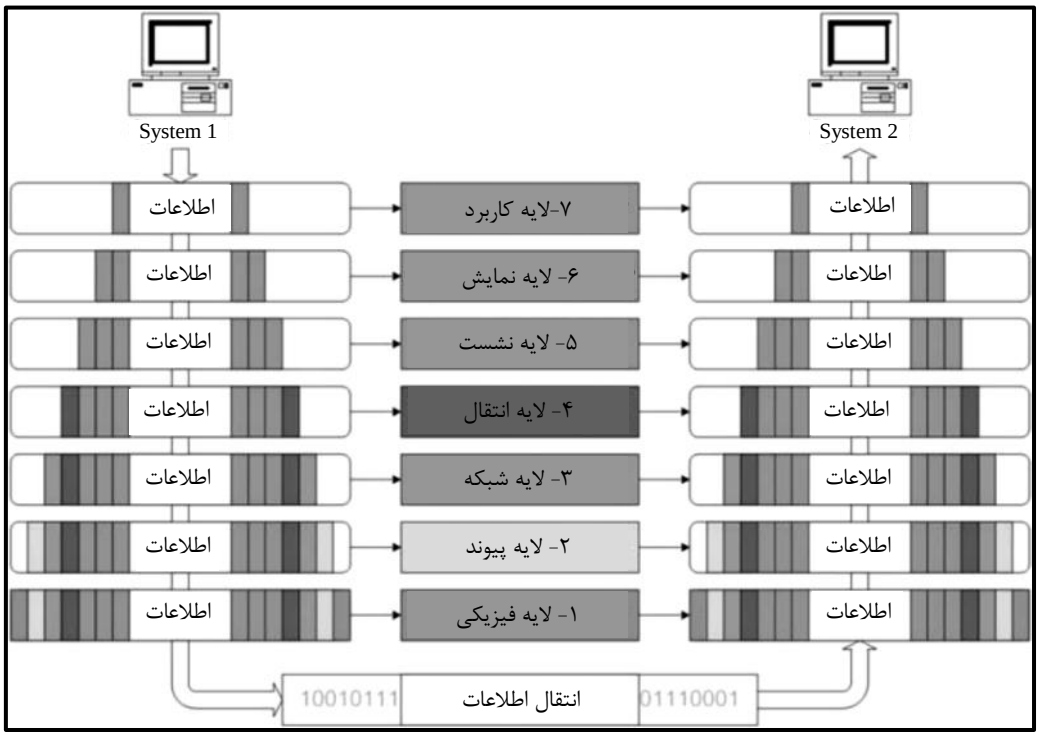
انتخاب ارتباط نیمه دوطرفه در مقابل کاملا دوطرفه، محدودیت‌هایی را در حجم اطلاعات و همچنین تصمیمات مختلف طراحی از جمله انتخاب پروتکل، انتخاب بستر انتقال (رادیو، فیبر نوری، تلفن همراه) یا در مورد رادیوی فرکانس ثابت، تعداد فرکانس‌های رادیویی مورد نیاز برای پیکربندی تنظیمات ارتباطی یکسان را خواهد داشت.

۴-۱۳-۴- پردازش ارتباطات

تولیدکنندگان و صنایع مختلف استانداردها و پروتکل‌هایی را برای سخت‌افزارها و نرم‌افزارها ایجاد کرده‌اند که شکل و فرمت دیجیتالی انتقال اطلاعات را بین ایستگاه‌ها مشخص می‌کند. سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO[3]) مدل اتصال متقابل سامانه‌های باز (OSI[4]) را ایجاد کرده‌است تا این استانداردها را در هفت لایه برای تشریح چگونگی ارتباط دو سامانه انتقال اطلاعات بر پایه انواع رسانه‌ها در یک شبکه تشریح کند. به‌عبارتی، هرچیزی که شبکه‌ای می‌شود یا هر نوع اطلاعات دیجیتالی که ارسال می‌شود برای موضوعیت گرفتن در لایه‌هایی بیان می‌شوند. این مدل برای تجسم و برنامه‌ریزی مفید است. آشنایی مقدماتی با این لایه‌ها و نحوه تعامل آن‌ها با هم می‌تواند هنگام انتخاب سخت‌افزار و نرم‌افزار برای ایستگاه مرکزی و راه‌دور و همچنین زیرساخت‌های ارتباطی مفید باشد.

همان‌طور که در شکل (۴-۳۴) نشان داده شده‌است، اطلاعات از داخل لایه کاربرد (لایه ۷) یک دستگاه و از بین دسته‌ای از لایه‌ها به لایه فیزیکی (لایه ۱) عبور می‌کند و سپس در انتهای مسیر گیرنده، دوباره مسیر را ردیابی می‌کند. هنگامی که اطلاعات از طریق لایه‌ها پایین می‌رود، اطلاعاتی به یک انتها یا هر دو انتهای بسته اولیه داده، متصل می‌شود تا نیازهای آن لایه را برآورده سازد. سپس هنگامی که اطلاعات در سمت دیگر از طریق لایه‌ها بالا می‌رود، در هر لایه این اطلاعات اضافی از بسته داده جداشده تا در نهایت بسته داده (به شکل اولیه آن) به دریافت‌کننده (رسیور) برسد.

1- Half-duplex
2- Polling rate
3- International Organization for Standardization
4- Open Systems Interconnection

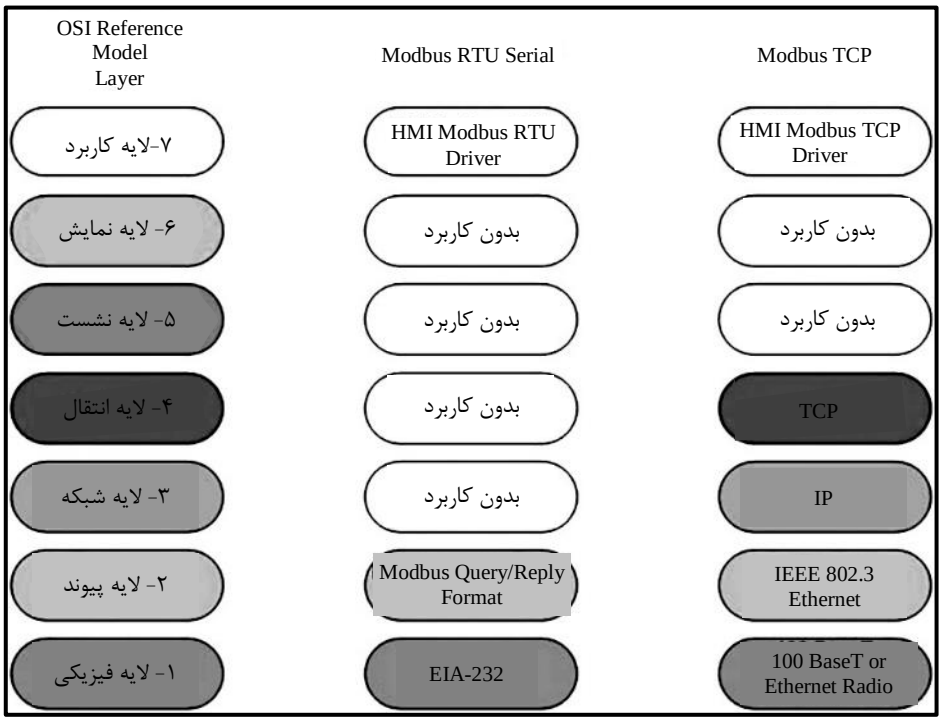


شکل ۴-۳۴- مدل ارتباطی OSI

برخی از لایه‌ها در برخی از پروتکل‌ها و ترکیب‌های سخت‌افزاری استفاده نمی‌شوند. برای نمونه، پروتکل سریال Modbus RTU را در شکل (۴-۳۵) درنظر بگیرید. یک پیام Modbus توسط درایور رابط Modbus HMI در لایه کاربرد (لایه ۷) آغاز می‌شود و با توجه به این‌که در این پروتکل سطوح سه تا شش استفاده نمی‌شوند، شکل درخواست و پاسخ Modbus در لایه پیوند داده‌ها (لایه ۲) اعمال می‌شود. در لایه فیزیکی (لایه ۱)، اطلاعات از طریق یک رابط سریال (به عنوان مثال، EIA-232 یا EIA-485) ارسال می‌شود.

یک Modbus RTU سریالی را می‌توان به یک سامانه Modbus TCP شبکه تبدیل کرد. برای این‌کار، درایور Modbus TCP در لایه کاربرد قرار می‌گیرد. پروتکل کنترل انتقال (TCP[1]) و پروتکل اینترنت (IP[2]) برای رسیدگی به جنبه‌های سوئیچینگ و همتا به همتا شبکه، به لایه‌ها اضافه می‌شوند و اترنت جایگزین قالب پرس‌وجو و پاسخ[3] می‌شود. سرانجام، خط سریال با یک استاندارد سازگار با شبکه، مانند 100Base-T، یا اترنت در لایه فیزیکی جایگزین می‌شود.

1- Transport Control Protocol
2- Internet Protocol
3- Query and Reply



شکل ۴-۳۵- مدل OSI به‌کار رفته در Modbus RTU و Modbus TCP

اگرچه اجرای این انتقال از RTU به TCP بسیار پیچیده و مشکل است، اما نشان می‌دهد که چگونگی انتخاب مولفه مناسب، می‌تواند به یک راه‌حل انعطاف‌پذیر طولانی‌مدت بینجامد. به طور معمول، رابط‌های انسان-ماشین و سخت‌افزارهای میدانی، امکان استفاده از پروتکل‌های مختلف را در انواع روش‌های ارتباطی فراهم می‌کنند. در مثال قبلی، اگر HMI و سخت‌افزار زمینه از هر دو نسخه Modbus پشتیبانی کنند و هرکدام دارای یک پورت سریال و یک پورت اترنت باشند، این نوع انتقال از RTU به TCP نیاز به اصلاحات نرم‌افزاری و جایگزینی اتصال سریال با اتصال اترنت (یا معادل رادیویی آن) دارد. توجه شود که این انتقال می‌تواند بین هر پروتکلی باشد. پروتکل Modbus، یک مثال ساده است که فایده مشاهده اجرای پروتکل از طریق مدل اتصال متقابل سامانه‌های باز (OSI) را نشان می‌دهد.

بسیاری از بسته‌های نرم‌افزاری رابط انسان-ماشین امکان اجرای چندین درایور به طور هم‌زمان را ایجاد می‌کنند. مانند Modbus RTU روی رادیو سریال و نسخه ۳ پروتکل شبکه توزیعی (DNP3) از طریق اترنت رادیویی. این مورد برای بسیاری از تجهیزات سخت‌افزاری راه‌دور نیز صادق است. این امکان دارای چندین مزیت است: اول، این اجازه را می‌دهد تا با گذشت زمان از یک پروتکل یا سخت‌افزار به نوع دیگری جابه‌جا شود. این مساله می‌تواند در به‌روزرسانی شبکه با استفاده از زیرساخت‌های ارتباطی موجود مفید باشد، چراکه نیازی به یک تحول اساسی ندارد. دوم، قابلیت پشتیبانی از چندین جریان ارتباطی به طور هم‌زمان، امکان به‌کاربردن ارتباطات کمکی را فراهم می‌آورد و در آخر، توانایی سخت‌افزاری نقاط راه‌دور برای اداره چندین پروتکل در نقش‌های مختلف، می‌تواند باعث افزایش انعطاف‌پذیری در ارتباط محلی شود.

۴-۱۳-۵- اهداف سامانه‌های مخابراتی

سامانه‌های مخابراتی برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها از سطح شبکه و انتقال فرامین به تجهیزات و سازه‌های قابل کنترل در سامانه خودکارسازی شده، به‌کار می‌رود. وجود این سامانه‌ها برای انجام اهداف در نظر گرفته‌شده برای خودکارسازی و عملکرد مناسب شبکه‌های آبیاری، ضروری است.

مدیر شبکه می‌تواند از طریق سامانه ارتباط صوتی در بستر ارتباطی مناسب، دستورالعمل‌های لازم را در ارتباط با تنظیم مناسب دریچه‌ها و سطوح آب به اپراتورهای بهره‌برداری صادر نماید. در این بستر اپراتورها نیز گزارش شرایط عملکرد و شرایط غیرعادی شبکه را به مدیر مسوول شبکه ارائه می‌کنند. همچنین بهره‌گیری از سامانه هشدار موجب می‌شود مدیر شبکه بتواند از قابلیت گزارش هشدار خودکار، از طریق سامانه مخابراتی مناسب، استفاده کند. اطلاعات هشدار دریافت شده می‌تواند به صورت پیوسته به سامانه ارتباط صوتی مورد استفاده مدیر شبکه ارسال شود تا او بتواند بر اساس آن‌ها دستورالعمل‌های صحیح را به اپراتورها ابلاغ نماید. مدیر شبکه همچنین می‌تواند هدایت صحیح و دقیق اپراتورها را به منظور حضور در موقعیت مناسب در شرایط اضطراری و غیرعادی بر اساس اطلاعات مبتنی بر سامانه هشدار خودکار فراهم سازد.

سامانه ارتباط مخابراتی و انتقال اطلاعات موجب می‌شود که مدیر شبکه اطلاعات و داده‌های ابزاردقیق و وضعیت تجهیزات را در زمان مناسب، در اختیار داشته باشد. قابلیت کنترل تجهیزات شبکه از طریق سامانه ارتباط مخابراتی صورت می‌گیرد. امکان جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها و ارسال فرامین کنترل در یک بستر واحد، قابلیت پایش و کنترل شبکه را میسر می‌سازد.

وقتی که وظیفه و کار هر دو سامانه تله‌متری و کنترل در یک سامانه مخابراتی آمیخته شود، به مجموعه این سامانه معمولا با عنوان سامانه مخابراتی جمع‌آوری اطلاعات و کنترل نظارتی (اسکادا) اطلاق می‌شود.

سامانه مخابراتی اسکادا به منظور بهره‌برداری مناسب از شبکه آبیاری، بیش‌ترین انعطاف را در اختیار مدیر شبکه قرار می‌دهد. سامانه مخابراتی اسکادا اطلاعات، هشدارها، وضعیت تجهیزات و مقادیر واقعی موقعیت دریچه‌ها، سطوح آب و آبدهی در سرتاسر کانال روباز را در اختیار قرار می‌دهد. با در اختیار داشتن این اطلاعات، بهره‌برداری از شبکه را می‌توان به صورت خودکار فراهم کرد. این امر باعث بهره‌برداری با دقت و بازده بالای شبکه خواهد بود. در این شرایط امکان بهره‌برداری و کنترل شبکه در شرایط غیر معمول نظیر وقوع سیل و.... با دقت قابل ملاحظه‌ای وجود دارد.

در این فصل ضمن معرفی سامانه‌های مخابراتی و کارکردهای آن در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، مباحث زیر تحت پوشش قرار خواهد گرفت.

روش‌های مختلف سامانه‌های مخابراتی از روش ساده ارتباطی تا روش‌های پیچیده، معرفی شده و معیارهای انتخاب و مزایا و معایب هریک از دیدگاه‌های خودکارسازی شبکه‌های آبیاری تشریح خواهد شد. آرایش فیزیکی سامانه مخابراتی و این‌که هر چیدمان چگونه نیاز مخابراتی خاص خود را تامین خواهد نمود و همچنین این‌که کدام چیدمان می‌تواند براساس معیار خودکارسازی شبکه با بالاترین راندمان جوابگو باشد، تشریح خواهد شد.

این اطلاعات شامل روش‌های محافظت از تجهیزات سامانه مخابراتی از شوک‌های مختلف الکتریکی و محیطی خواهد بود. سامانه‌های مخابراتی مناسب که یکی از عوامل موفقیت خودکارسازی شبکه‌ها است باید به نحوی طراحی گردد که ارتباط مؤثر کاملا مطمئن برقرار شود. به علت این‌که عملکرد کانال، مستقیم وابسته به قابلیت سامانه کنترل است، به منظور تعیین مقادیر واقعی شبکه در هر زمان باید اطلاعات به‌روز از سطح شبکه جمع‌آوری و از طریق سامانه مخابراتی به سامانه کنترل ارسال شود.

۴-۱۳-۶- عوامل انتخاب

انتخاب سامانه مخابراتی برای خودکارسازی شبکه‌ها نیاز به ملاحظات زیر دارد:

- سامانه کنترل استفاده شده در شبکه آبیاری و نحوه عمکرد آن
- موقعیت تجهیزات اندازه‌گیری و تجهیزات قابل کنترل در شبکه
- نیازهای قابل اطمینان بودن عملکرد سامانه کانال
- هزینه سامانه مخابراتی
- پیکربندی سامانه مخابراتی
- تعداد و موقعیت واحدهای ارتباطی راه‌دور جهت کنترل و جمع‌آوری اطلاعات
- تعداد نقاط کنترل و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هر واحد RTU
- طراحی نیازهای سامانه کنترل و جمع‌آوری اطلاعات

فرایند انتخاب همچنین شامل شناسایی منطقه‌ای است که پروژه در آن واقع شده، بنابراین سامانه‌های مخابراتی که برای موقعیت خاص شبکه مناسب نباشد از فهرست انتخاب خارج می‌شود.

هر یک از این گزینه‌ها باید قبل از انتخاب نهایی سامانه مناسب مخابراتی برای خودکارسازی ارزیابی شود. بعد از انتخاب روش مناسب برای سامانه مخابراتی، طراحی، نصب و کیفیت نگهداری، موفقیت کلی سامانه مخابراتی را تعیین خواهد کرد.

انواع سامانه مخابراتی که بیش‌ترین کاربرد را در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری دارد به شرح زیر هستند:

- کابل فلزی
- کابل فیبر نوری
- فرکانس‌های بالای رادیویی (UHF/VHF)
- ماکروویو
- شبکه تلفن همراه

سامانه‌های مخابراتی ذکر شده برای پروژه‌های خودکارسازی شبکه‌ها در سایر کشورها بارها مورد استفاده قرارگرفته و ثابت‌شده است که آن‌ها مطمئن‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه‌ها می‌توانند باشند. با توجه به رشد همه جانبه شبکه‌های

تلفن همراه و قابلیت‌های بی‌نظیر آن جهت ارسال اطلاعات و امکان استفاده هم‌زمان از شبکه اینترنت و قابلیت تعیین موقعیت (GPS) به نظر می‌رسد بستر تلفن همراه، سامانه مخابراتی آینده سامانه‌های اسکادا را رقم خواهد زد.

برخی دیگر از سامانه‌های مخابراتی که گاهی در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری استفاده می‌شود شامل موارد زیر است:

- خط مخابراتی استیجاری
- ماهواره

۴-۱۳-۷- سامانه‌های مخابراتی با کابل فلزی

سامانه‌های مخابراتی با کابل فلزی، مناسب کاربردهایی است که نیاز به عرض باند کوچک‌تری دارند و به سرعت انتقال داده پایین‌تر و فواصل ارسال کوتاه‌تری نیازمند هستند. سامانه‌های کابل فلزی، با حداقل نیاز به تجهیزات الکتریکی بیرونی، می‌تواند به صورت هم‌زمان جهت انتقال صوت و داده مورد استفاده قرار گیرد. کابل فلزی همچنین برای انتقال فرکانس صوتی تسهیم‌شده[1] چندتایی و کانال داده‌ها با استفاده از تجهیزات تسهیم‌کننده آنالوگ و دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتقال چندتایی پیغام‌های تسهیم‌شده نیاز به نصب یک وسیله تکرارکننده سیگنال در فواصل مساوی از نظر فیزیکی در طول مسیر کابل خواهد داشت.

در این نوع سامانه مخابراتی برای خودکارسازی شبکه‌های آبیاری از کابل مدفون برای داده‌ها استفاده می‌شود. مهندسان طراح زمانی که امنیت سامانه‌های مخابراتی اهمیت زیادی دارد یا سامانه‌های مخابراتی به صورت سری و پشت سر هم مورد نظر باشد، از کابل مدفون استفاده می‌نمایند. برای مثال اگر سازه‌های کنترل کنار هم، نیاز به ارتباط مخابراتی داشته باشد بهترین راه حل، استفاده از کابل مدفون است. اگر سازه‌های کنترل راه‌دور نیاز به ارتباط مخابراتی با یک کامپیوتر مرکزی در فاصله بالای ۴۰ کیلومتر داشته باشند، کابل فلزی جوابگو نیست و باید از ارتباطات رادیویی استفاده شود.

برای سامانه ارتباطی مخابراتی با کابل مدفون ابتدا باید حق عبور از زمین‌های مربوطه قبل از بررسی استفاده از کابل مدفون کسب گردد. با توجه به این‌که جاگذاری کابل‌ها پرهزینه است بنابراین این سامانه می‌بایست برای پروژه‌ها و شبکه‌های در حال ساخت مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به این‌که عمر کابل مدفون حدود ۲۰ سال است، هزینه سالیانه سامانه در مقایسه با سامانه‌های رادیویی مناسب به نظر می‌رسد چرا که در سامانه‌های مخابراتی رادیویی، عمر تجهیزات ۶ تا ۸ سال برآورد می‌گردد.

1- Multiple Multiplexing

دقت در قرار دادن کابل‌ها در داخل کانال حفر شده و تکنیک اتصال کابل‌ها در محل‌های قطع شدگی بسیار با اهمیت است چرا که نشت آب و آسیب دیدن کابل‌ها به وسیله جانوران جونده، می‌تواند مشکل بزرگی برای سامانه کابل مدفون محسوب گردد. برای اطمینان از امکان توسعه سامانه در آینده تعدادی رشته اضافی در کابل مدفون منظور می‌شود.

۴-۱۳-۷-۱- انواع کابل

ساختمان کابل مدفون به صورت قابل توجهی نسبت به کابل‌های هوایی متفاوت خواهد بود. ساختمان کابل مدفون باید مانع از نفوذ رطوبت به داخل آن شود. تفاوت اصلی در ساختمان کابل مدفون در اندازه شیلد بیرونی مورد استفاده، تعداد پوشش‌ها، اندازه شیلد آرمه و استفاده از مواد پرکننده مابین عایق‌ها است. مواد پرکننده به منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت و ورود آب به داخل هسته کابل و همچنین نفوذ آب در طول هسته کابل مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیلد آرمه عهده‌دار حفاظت هسته کابل از میدان الکترومغناطیسی و الکترواستاتیکی است. این شیلد همچنین حفاظت کابل از خسارت وارده به وسیله حیوانات جونده و همچنین حفاظت در مقابل رعد و برق را نیز بر عهده دارد.

۴-۱۳-۷-۱-۱- کاربردها

کابل فلزی شاید بهترین کاربرد را برای سامانه‌های مخابراتی به‌خصوص سامانه‌های کنترل بلادرنگ یا کنترل از راه‌دور تله‌متری و ارسال هشدار دارد. دلیل آن نیز قابلیت بهره‌برداری از کابل فلزی برای مدارهای جداگانه از جمله هشدارها، ارسال داده‌ها و استفاده خط مخصوص و پیکربندی شعاعی است.

الف- مزایا

- مالکیت اختصاصی برای سامانه خودکار طراحی شده و کنترل کامل توسط استفاده‌کننده
- عدم نیاز به دریافت مجوز از سازمان‌های مربوطه
- مناسب برای مخابرات به صورت شعاعی یا خط اختصاصی
- سرعت متوسط ارسال داده‌ها و طول باند در دسترس، تا ۱۲۰۰بیت در ثانیه
- طول عمر بالای ۳۰ سال
- سامانه قابل طراحی برای توسعه ارزان قیمت با استفاده از نصب زوج‌های اضافی برای مصارف آینده
- زوج‌های اضافی، توسعه آسان قابلیت‌های کانال ارتباطی را میسر می‌سازد.
- امکان استفاده از یک زوج برای مخابره صوت
- مناسب برای جستجوی مداوم داده‌ها، کنترل نظارتی و سامانه‌های جمع‌آوری اطلاعات

ب- معایب

- هزینه‌های قابل توجه برای نصب اولیه

- هزینه بالای تعمیرات و عیب‌یابی موقعیت خرابی کابل‌ها
- امکان تخریب کابل در معرض آب و هوا و خاک‌برداری
- نیاز به حفاظت از رعد و برق
- شیلد کردن کابل و مدفون کردن آن به منظور جلوگیری از تداخل امواج در اثر به وجود آمدن میدان مغناطیسی و آسیب دیدن پرسنل
- طراحی خاص و فیلترینگ مورد نیاز مابین زوج‌های کابل برای کاهش سیگنال‌های ناخواسته که از وجود ترافیک در کانال‌های دیگر ناشی می‌شود.
- نیاز به اتصالات مکانیکی مخصوص برای کابل چند زوجی (نیازمند زمان زیاد برای اجرای این اتصالات مخصوص به‌ویژه در کابل‌هایی با تعداد زوج بالا)
- تولید کابل‌های با تعداد زوج بالا در متراژهای کوتاه و درنتیجه نیاز به تعداد اتصالات مکانیکی مخصوص بیش‌تر

۴-۱۳-۸- کابل فیبر نوری

کابل فیبر نوری مناسب سامانه‌هایی است که نیازمند پهنای باند عریض، نویز کم، امنیت بالا نسبت به تداخلات الکترومغناطیسی و الکترواستاتیکی، سرعت بالا و حجم بالای داده هستند. به طور معمول کابل فیبر نوری را برای کاربردهای با اسپن‌های بزرگ غیرقابل تکرار، کابل سبک و ایزولاسیون بهتر مورد استفاده قرار می‌دهند. سامانه‌های کابل فیبر نوری دارای طول اسپن عملی ۹۱۴ متر (۳۰۰۰ فوت) به عنوان شاخص پله‌ای فیبرها و ۷۳۱۵ متر (۲۴۰۰۰ فوت) برای انواع شاخص درجه‌بندی شده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سامانه‌های مخابراتی فیبر نوری، معمولا با استفاده از شاخص درجه‌بندی کابل به علت ظرفیت بالای داده‌های در دسترس برای خطوط طولانی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. فیبرهای نوری با شاخص پله‌ای مورد استفاده لینک‌های داده‌ها برای فواصل مساوی یا کم‌تر از ۹۱۴ متر (۳۰۰۰ فوت) می‌باشند. به طور معمول اتلاف اصلی موقعی اتفاق می‌افتد که از اتصالات فیبر نوری استفاده گردد. روش‌های سه‌گانه اجرای اتصالات مکانیکی[1] به شرح زیر است:

- با استفاده از لوله‌های مسی، آلومینیمی و ...
- با استفاده از چسب
- با اتصالات جوشکاری شده و فیوز

1- Splicing

اتصالات مکانیکی دارای اتلاف ۱ تا ۲ دسی‌بل برای هر اتصال می‌باشند. اتصالات با چسب یا اپوکسی دارای اتلاف ۰/۵ تا ۱/۵ دسی‌بل برای هر اتصال می‌باشند و اتصالات فیوزدار دارای اتلاف ۰/۱ تا ۰/۴ دسی‌بل برای هر اتصال هستند. اتلاف اضافی باید به اتلاف هر قطعه کابل اضافه گردد. مخابرات با اتصال فیبر نوری معمولا به شرح زیر طراحی می‌شود:

۱- طول باند مورد نیاز سامانه (تعداد کانال‌ها و طول باند هر یک از کانال‌های اصلی)

۲- نسبت سیگنال به نویز (سرعت ماکزیمم مورد نیاز داده‌ها)

۳- فاصله مابین نقاط انتهایی مدار یا کانال

قدرت فرستنده فیبر نوری با توجه به نسبت خطای هر بیت (یا نسبت سیگنال به نویز) تعیین می‌شود. فیبرهای پلاستیک مورد استفاده برای اسپن‌های ۹۱ متر (۳۰۰ فوت) برای سرعت ارسال داده‌ها ۶ مگابیت در ثانیه یا کم‌ترمورد استفاده خواهد بود.

فیبرهای شیشه‌ای پلاستیکی برای اتصال‌های مخابراتی ۲۷ تا ۴۵۷ متر (۹۰ تا ۱۵۰۰ فوت) مورد استفاده خواهد بود. فیبرهای با تلفات پایین برای اتصال‌های تا حدود ۷۳۱۵ متر (۲۴۰۰۰ فوت) و طول باند ۵۰۰ مگاهرتز برای استاندارد ۹۱۴ متر (۳۰۰۰ فوت) و برای هر مقطع یا اسپن مورد استفاده قرار می‌گیرد. اتصال‌های نمونه مخابراتی حدود ۱۸۲۹ متر (۶۰۰۰ فوت) می‌تواند داده‌ها را با سرعت ۱۰۰ هرتز تا ۲۰ مگاهرتز با خطای 1×10^{-8} بیت ارسال نمایند.

۴-۱۳-۸-۱- طراحی سامانه

کابل فیبرنوری فاصله ارسال تا ۹۱۴ متر (۳۰۰۰ فوت) برای فیبرهای مرحله ای و تا ۷۳۱۵ متر (۲۴۰۰۰ فوت) برای فیبرهای درجه‌بندی شده را پوشش می‌دهد. تکرارکننده‌ها برای فواصل هر ۶ تا ۸ کیلومتر (۴ تا ۵ مایل) برای فیبرهای درجه‌بندی شده مورد نیاز است.

نصب کانال فیبر نوری مشابه کابل فلزی است. همچنین همان احتیاط‌ها و نیازها برای نصب کابل فیبر نوری مدنظر خواهد بود. نصب کابل فیبر نوری مستلزم تجهیزات خاص برای انجام اتصالات و سنجش صحت عملکرد خواهد بود.

۴-۱۳-۸-۲- کاربردها

به علت هزینه‌های موجود و پیچیدگی‌های کابل فیبر نوری این کابل کاربرد کم‌تری در مقایسه با کابل فلزی دارد. هر چند ممکن است در آینده قیمت سامانه‌های فیبر نوری کاهش یافته و امکان جایگزینی آن به جای سیم‌های فلزی با هزینه کم‌تری فراهم شود، در حال حاضر کاربرد مناسب فیبر نوری برقراری ارتباط مابین تجهیزات قابل کنترل و ایستگاه کنترل مرکزی است.

الف- مزایا

- داشتن امنیت در مقابل میدان‌های الکترومغناطیسی و الکترواستاتیکی
- طول باند زیاد یا قابلیت سرعت بالای ارسال داده‌ها

- عدم ایجاد سیگنال‌های ناخواسته به واسطه وجود ترافیک مابین فیبرهای نوری
- امنیت کامل در مقابل رعد و برق و طوفان
- عدم نیاز به مجوز
- اندازه کوچک‌تر نسبت به کابل فلزی که امکان نصب آسان‌تر آن را فراهم می‌کند.
- مناسب برای پایش مداوم سامانه‌های جمع‌آوری اطلاعات و کنترل نظارتی
- به‌کار بردن کانال‌های صوتی و داده‌ها به صورت هم‌زمان
- قابلیت توسعه بالا
- کنترل کامل سامانه مخابراتی توسط کاربر
- امنیت بالا در مقابل پایش ناخواسته مخابراتی

ب- معایب

- هزینه سرمایه‌گذاری بالای نصب
- نیاز به تبدیل سیگنال الکتریکی به نور و سپس تبدیل دوباره به سیگنال‌های الکتریکی در تجهیزات الکترونیکی
- عمر مفید ۲۰ تا ۳۰ ساله در مقایسه با کابل فلزی
- نیاز به تجهیزات خاص برای سنجش عملکرد و نگهداری و بهره‌برداری
- پیچیدگی تعمیر در مقابل خسارت ایجاد شده در زمان خاک‌برداری
- ترمینال‌بندی خاص و نیاز به تجهیزات اتصال در نقاط پایانه نهایی

۴-۱۳-۹- فرکانس رادیویی UHF/VHF

سامانه‌های رادیویی UHF/VHF برای کاربردهای مورد نیاز با طول باند کوتاه‌تر و سرعت ارسال داده‌های پایین‌تری است. سامانه‌های رادیویی UHF/VHF را می‌توان برای مخابره فرکانس صوتی و داده‌ها استفاده نمود. به طور معمول این نوع سامانه مخابراتی، اقتصادی‌ترین سامانه مخابراتی در حال حاضر است. به‌ویژه وقتی که هیچ یا تعداد کمی تکرارکننده مورد نیاز باشند و همچنین مجوز دریافت فرکانس به آسانی قابل دسترس باشد.

۴-۱۳-۹-۱- طراحی سامانه

سامانه‌های رادیویی UHF/VHF دامنه فرکانس از ۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز (VHF) و ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز (UHF) را پوشش می‌دهند.

فرکانس‌های UHF بالاتر از ۱۰۰۰ مگاهرتز با باند ماکروویو هم‌پوشانی دارد و تجهیزاتی که فقط برای سامانه UHF طبقه‌بندی شده است را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. سامانه‌های رادیویی UHF دارای دامنه ۳۲ تا ۴۴۸ کیلومتر (۲۰ تا

۳۰۰ مایل) برای مناطق مسطح و دشت‌ها (بدون عوارضی مثل کوه) است. دریافت مجوز برای مناطق پرجمعیت و همچنین در صورت تداخل با نیازهای تجاری و نظامی منطقه سخت‌تر خواهد بود. دامنه و کیفیت سیگنال می‌تواند با تخصیص ترانسیمترهای با قدرت بالاتر، آنتن‌های مستقیم یا آنتن‌هایی که روی محل‌های بلند نصب شده باشند، مانند بالای ساختمان‌ها، بالای برج‌های فلزی یا بالای کوه‌ها، بهبود یابد. نیازهای حقوقی و قانونی نصب ترانسیمتر در موقعیت مجاز، اخذ مجوزهای مورد نیاز و محدودیت‌های دولتی، تامین موقعیت مناسب برای نصب آنتن و هزینه مربوطه همگی باید مورد بررسی قرار گیرند.

دامنه اضافی رادیویی و پوشش مناطق کوهستانی با استفاده از تکرارکننده‌ها حاصل می‌شود. در این صورت سامانه قابل اطمینان باید به تکرارکننده‌هایی که دارای برق دائم و همچنین برق پشتیبان به منظور جایگزینی در زمان قطع برق اصلی باشد، تجهیز شوند. تکرار کننده‌ها دارای مجوز برای چند زوج فرکانس بوده و نه فقط برای یک فرکانس خاص و به همین علت تکرارکننده‌ها قادر به کار در حالت دوطرفه خواهند بود. بدین معنی که دریافت سیگنال را می‌توان در یک فرکانس و ارسال دوباره سیگنال را در فرکانس متفاوت انجام داد. تکرارکننده‌ها نیاز به تجهیزات آنتن اضافی مانند دوسویه‌ساز (دوبلکسر) را حذف می‌کنند.

در زمان طراحی سامانه باید ملاحظات لازم در خصوص فرکانس مقرر شده برای داده‌ها و صوت به صورت هم‌زمان انجام شود. ارسال داده‌ها باید بین ۳ تا ۵ ثانیه در هر دقیقه انجام شود که در نهایت اجازه مخابرات صوتی مابین واحدهای رادیویی و موبایل را در طول زمان باقیمانده فراهم سازد. شرایط بهینه برای این سامانه ارسال داده‌ها به صورت غیر مداوم است. ارسال گزارش‌های اصلی از ایستگاه‌های راه‌دور را می‌توان طبق برنامه زمان‌بندی برای شب‌ها یا در زمان‌های مناسب ترافیکی صوتی انجام داد.

هزینه پایین تجهیزات UHF در فرکانس ۸۵۰ مگاهرتز و بالاتر می‌تواند اجازه اختصاص کانال‌های بیش‌تر و سرعت بالاتر را میسر نماید. سامانه‌های فرکانس بالا، حتی می‌تواند دارای هدایت بالاتر در مقایسه با فرکانس‌های باند ۴۷۰ تا ۳۹۰ مگاهرتز باشد. این تجهیزات می‌تواند ارتباط مابین ایستگاه کنترل از راه‌دور را به مجموعه‌ای از کنترل کننده‌های سخت افزاری برقرار نماید.

قبل از طراحی و تعیین مشخصات پارامترهای سامانه رادیویی از نقطه نظرهای فیزیکی و الکتریکی، مطالعه با مدل کامپیوتری به منظور پیش‌بینی پوشش سیگنال رادیویی الزامی خواهد بود. نتیجه این مطالعات موقعیت‌های مناسب نصب آنتن را پیش‌بینی می‌کند. این نتایج شامل بررسی نیاز به تکرارکننده‌ها در محل‌هایی که نیاز به تقویت سیگنال آنتن دارد، قدرت خروجی سیگنال رادیویی فرستنده و پوشش مورد نظر جغرافیایی مورد انتظار سامانه با توجه به قابلیت اطمینان آن هستند. به منظور تایید مطالعات رایانه‌ای آزمایش‌های واقعی اندازه‌گیری قدرت سیگنال در منطقه انجام می‌گیرد.

۴-۱۳-۹-۲- کاربردها

در شرایطی که ایستگاه کنترل مرکزی و سایت‌های کنترل از راه‌دور (RTU) به صورت ستاره یا رادیال (در مقایسه با خطی) پیکربندی شده باشد، سامانه‌های رادیویی (UHF/VHF) بهترین کاربرد را دارند. به طور نمونه تحت شرایطی که دارنده سامانه رادیویی نتواند مالکیت زمین‌های مابین ایستگاه کنترل مرکزی و سایت‌های ترمینال راه‌دور را تامین نماید، در این شرایط امکان وجود مسیرهای نامساعد از نظر جغرافیایی که باعث کاهش سرعت ارسال حجم داده‌ها به‌ویژه در زمانی که سایت‌های کنترل راه‌دور نسبت به ایستگاه کنترل مرکزی با فاصله زیاد و به صورت پراکنده قرار گرفته باشد، وجود دارد. در این شرایط باید سایر سامانه‌های مخابراتی انتخاب شود.

الف- مزایا

- هزینه اجرای سامانه در مقایسه با سامانه ماکروویو یا کابلی ارزان‌تر است.
- زمان اجرای سامانه حداقل خواهد بود.
- سامانه در مقابل مشکلات ایجاد شده بر اساس خطای کابل یا آسیب کابل مصون خواهد بود.
- گسترش سامانه قابل دسترس بوده و با کم‌ترین هزینه در مقایسه با سامانه کابلی یا ماکروویو امکان‌پذیر است.
- می‌تواند با فرکانس‌های مخابراتی تلفن همراه به صورت اشتراکی فعال باشد.

ب- معایب

- این سامانه گزینه مناسب برای ارسال حجم بالای داده‌ها و کاربردهای با طول باند زیاد نیست.
- دریافت مجوز ممکن است مشکل، پر هزینه و طولانی باشد.
- ایستگاه‌های تکرارکننده ممکن است مشکل‌ساز و پرهزینه باشد.

۴-۱۳-۱۰- ماکروویو

سامانه‌های ماکروویو مشابه سامانه‌های کابل فیبر نوری تامین‌کننده سرعت بالای ارسال داده‌ها برای کاربردهای با طول باند بلند و تامین‌کننده ایمنی بالا در مقابل تداخل امواج الکترومغناطیسی یا الکترواستاتیکی خواهد بود. به طور کلی ماکروویو تامین‌کننده مسیر ارسال داده‌های بسیار مطمئن و طول باندهای بسیار بزرگ‌تر در مقایسه با سامانه‌های رادیویی (UHF/VHF) خواهد بود.

۴-۱۳-۱۰-۱- طراحی سامانه

سامانه‌های ماکروویو فرکانس‌های از ۱۷۰۰ تا ۲۲۰۰۰ مگاهرتز را اشغال نموده و روی خطوط ایستگاه‌های با دامنه ۳۲ تا ۴۸ کیلومتر (۲۰ تا ۳۰ مایل) که بستگی به عوارض زمینی منطقه دارد، مورد استفاده خواهند بود. طراحی سامانه ماکروویو، در انتخاب بعضی عوامل در مورد محل نصب آنتن و ایستگاه تکرارکننده، مشابه طراحی سامانه‌های رادیویی

(UHF/VHF) است. عواملی از قبیل کسب مجوز فرکانس و مشکلات استقرار و نصب ایستگاه‌های فرستنده مانند سامانه‌های رادیویی (UHF/VHF)، مطالعات مدل رایانه‌ای برای سامانه ماکروویو قبل از انتخاب پارامترهای فیزیکی و الکتریکی، تعیین مشخصات فنی و طراحی لازم هستند. نتایج مطالعات، موقعیت‌های نصب آنتن را مشخص نموده و تکرارکننده‌ها در محل‌هایی که آنتن نیاز به تقویت دارد قرار می‌گیرد. برای تایید نتایج مطالعه کامپیوتری باید آزمایش قدرت سیگنال واقعی انجام شود. فرستنده‌های آزمایشی باید در محل‌های پیشنهاد شده و در ایستگاه‌های تکرارکننده نصب شوند. برای بالا بردن قابلیت اطمینان، می‌توان سامانه‌های ماکروویو را هم‌زمان با واحدهای آماده به کار رادیویی مورد استفاده قرار داد. سازگاری با صنعت مخابرات دیجیتال اجازه استفاده از طول باند دینامیکی را میسر می‌سازد. مسیریابی دینامیکی و محیط آمیخته شده از منابع آنالوگ و دیجیتال از طریق فرستنده به صورت دیجیتال و از طریق یک مسیر مخابراتی انجام خواهد شد.

۴-۱۳-۱۰-۲- کاربردها

سامانه‌های ماکروویو برای کاربردهایی که نیاز به پهنای باند بزرگ و سرعت ارسال بالای داده‌ها وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کاربردها می‌تواند مابین ایستگاه اصلی و نیروگاه برقابی یا ایستگاه پمپاژ که مقدار زیادی از داده‌ها بر پایه فواصل زمانی تعریف شده ارسال می‌شود، مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد دیگر آن بخشی از مسیر پشتیبان سیگنال داده‌های برگشتی از ایستگاه‌های راه‌دور به ایستگاه اصلی است. برای عرض باند کوچک‌تر و سرعت ارسال پایین‌تر، استفاده از سامانه ماکروویو مقرون به صرفه نخواهد بود و سامانه‌های UHF/VHF یا سایر سامانه‌های مخابراتی قابل بررسی خواهند بود.

الف- مزایا

- زمان نصب سامانه در مقایسه با سامانه کابلی کوتاه‌تر است.
- سامانه در معرض اختلال ایجاد شده در اثر خطاهای کابل و انشعابات نخواهد بود.
- توسعه سامانه با کم‌ترین هزینه در مقایسه با سامانه کابلی قابل حصول خواهد بود.
- ظرفیت پیش‌بینی آینده سامانه می‌تواند به صورت اشتراکی مدنظر قرار گیرد به نحوی که هزینه اشتراک را با سازمان‌های دیگر به صورت مشترک پرداخت نمود.
- در مقابل میدان‌های الکترومغناطیسی و الکترواستاتیکی مصونیت دارد.
- پهنای باند یا قابلیت ارسال سرعت بالای داده‌ها است.
- با اسکن مداوم از سامانه کنترل نظارتی و سامانه‌های جمع‌آوری اطلاعات متناسب است.
- می‌توان کانال‌های متعدد صوت و داده را به صورت هم‌زمان بهره‌برداری نمود.
- قابلیت توسعه زیاد دارد.

- بهره‌بردار کنترل کامل سامانه مخابراتی را در دست خواهد داشت.
- امنیت در مقابل پایش ناخواسته مخابراتی در مقایسه با سامانه رادیویی UHF/VHF بالاتر است.

ب- معایب

- هزینه نصب اولیه در مقایسه با سامانه رادیویی UHF/VHF بالا است.
- دریافت مجوز ممکن است مشکل، پر هزینه و طولانی مدت باشد.
- نصب ایستگاه‌های تکرارکننده ممکن است مشکل، پر هزینه و طولانی مدت باشد.
- قابلیت اطمینان نگهداری سیگنال رادیویی نیازمند دقت بیش‌تر در طراحی و نصب سامانه است.
- ساخت دفاتر و ساختمان‌های بلند مرتبه در مقابل مسیر سیگنال بعد از نصب آنتن سامانه ماکروویو می‌تواند سامانه را به طور کلی غیرفعال نماید.
- از نظر هزینه برای پهنای باند کوچک و سرعت پایین داده‌ها توجیه اقتصادی ندارد.

۴-۱۳-۱۱- مخابرات (دامنه فرکانس) استیجاری

به طور کلی هر سامانه مخابراتی را می‌توان اجاره نمود. این سرویس با هزینه یک بار نصب در اختیار مشتری قرار می‌گیرد و برای هر مدار اجاره‌ای ماهیانه صورت‌حساب ارسال می‌گردد. بعضی از سرویس‌های نصب ممکن است مبلغی نیز بابت هزینه زیرساخت سامانه شارژ نمایند.

۴-۱۳-۱۱-۱- کاربردها

به طور معمول کاربرد خطوط اجاره‌ای برای پایش ایستگاه‌هایی با نیازمندی به امنیت اطلاعاتی پایین‌تر و پایش بر مبنای ارسال غیر مداوم با حداقل یا هیچ‌گونه کنترلی خواهد بود. این نوع استفاده مستلزم داشتن یک پایانه ارسال راه‌دور با استفاده از یک خط اجاره‌ای بوده که در هر ساعت یک‌بار در طول روز پایش شود. کاربرد دیگر آن نیز برای تامین مسیر مخابراتی پشتیبان با استفاده غیر مداوم است. به عبارت دیگر این سامانه مخابراتی در زمان خرابی مسیر مخابراتی اصلی به عنوان پشتیبان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الف- مزایا

- حذف سرمایه‌گذاری اصلی برای سامانه مخابراتی
- حذف کسب مجوز و ملاحظات تملک اراضی، حق استفاده از ساختمان‌ها، برج‌ها، نیرورسانی و جاده دسترسی (در مقایسه با سایر سامانه‌های مخابراتی معرفی شده).
- به حداقل رساندن هزینه لازم نرم‌افزار نهایی

ب - معایب

- عدم کنترل زمان توقف و وقفه سامانه به‌وسیله استفاده‌کننده
- احتمال قطع یا مختل شدن سرویس توسط مرکز مخابراتی بنا به نیاز و سهولت کار مرکز بدون در نظر گرفتن و لزوما با نیاز و سهولت کار مشتری
- احتمال افزایش قیمت‌ها در ابتدای تمدید مدت اجاره و عدم امکان کنترل استفاده‌کننده در مورد هزینه‌های فوق
- زمان‌بر و دشوار بودن رفع مشکلات ایجاد شده، به‌ویژه مشکلات ایجاد شده در محل رابط[1] سامانه مخابراتی و تجهیزات کنترلی

۴-۱۳-۱۲- ماهواره

مخابرات ماهواره‌ای مشابه شبکه مخابراتی تکرارکننده است، البته با دو تفاوت قابل توجه: تفاوت اول، تکرارکننده روی یک مدار سنکرون در فضا مستقر می‌گردد و تفاوت دوم، ماهواره به صورت متناوب و در زمان‌های مقررشده در دسترس قرار خواهد گرفت. اطلاعات و داده‌ها را می‌توان ابتدا در حافظه جمع‌آوری و سپس در زمان مقرر برای ایستگاه گیرنده ارسال نمود. مخابرات ماهواره‌ای نیازمند و وابسته به سرویس ماهواره‌ای برای مخابرات است. سامانه مخابراتی ممکن است به علت مشکلات ماهواره قطع گردد.

مخابرات ماهواره‌ای پس از اسقرار و برقراری، دارای قابلیت و اطمینان بالایی خواهد بود. شبکه‌های ماهواره‌ای اطلاعات خواسته‌شده را در یک برنامه زمان‌بندی تامین می‌نماید. این سامانه‌ها به طور گسترده‌ای برای جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مخابرات ماهواره‌ای یک انتخاب عالی برای سامانه‌های تله‌متری است که نیاز به جمع‌آوری اطلاعات به صورت تناوبی دارد، ولی نیازی به سامانه کنترل ندارد. مخابرات ماهواره‌ای برای سامانه‌های هشدار و سامانه‌های کنترل بلادرنگ[2] مناسب نیستند. کنترل از طریق ماهواره فقط زمانی میسر است که فرایند کنترل از طریق ایستگاه راه‌دور انجام شود، درحالی‌که دستورات کنترل قبلا در واحد پایانه راه‌دور ذخیره شده است. معمولا در این سامانه اطلاعات و داده‌ها از طریق RTUها جمع‌آوری و به ایستگاه‌های گیرنده مرکزی و مراکز کامپیوتری مربوطه ارسال می‌شود. ورودی‌های داده‌ها

1- Interface
2- Real Time

محدود به درجه حرارت، باد، باران، سطح آب دریا، جزر و مد امواج و پایش‌های محیط‌زیستی است. سامانه ماهواره‌ای سرویس‌های زیر را فراهم می‌سازد:

- برگشت تصویرهای قابل رویت و مادون قرمز از سطح زمین
- دریافت و ارسال مجدد اطلاعات هواشناسی
- اندازه‌گیری انرژی و گذرگاه اصابت ذرات فضایی
- دریافت و ارسال دوباره داده‌ها از محل جمع‌آوری داده مستقر در کلیه ایستگاه‌های راه‌دور

۴-۱۳-۱۲-۱- طراحی سامانه

مهم‌ترین بخش سامانه ماهواره‌ای مشخص نمودن زمان‌های استفاده مورد نیاز برای ماهواره است که تعیین‌کننده زمان دسترسی برای انجام عملیات مورد نظر خواهد بود. بخش دوم شامل ایستگاه‌های زمینی و ایستگاه مرکزی می‌شود.

۴-۱۳-۱۲-۲- کاربردها

سامانه‌های ماهواره‌ای برای جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی شامل اطلاعات و داده‌های مربوط به باران یا برف یا داده‌های دیگر بسیار مناسب خواهد بود. این داده‌ها برای پیش‌بینی زمان کارکرد ایستگاه پمپاژ و میزان آب مفید است. سامانه ماهواره‌ای برای سامانه‌های نظارتی مناسب نیستند.

الف- مزایا

- تجهیزات ارزان
- عدم نیاز به تکرارکننده‌ها
- استفاده از ایستگاه اصلی مادر فقط برای سامانه‌های تله‌متری

ب- معایب

- محدودیت خودکارسازی و کنترل
- وابستگی به ماهواره و صاحب امتیاز ماهواره
- عدم تناسب برای پایش و کنترل آنی و بلادرنگ

۴-۱۴- پیکربندی سامانه

دو نوع پیکربندی مخابراتی یا شبکه‌ای به شرح زیر هستند:

- سامانه (party line)، که یک کانال، کلیه واحدهای راه‌دور را سرویس می‌دهد. در این سامانه هر یک از RTUها دارای یک آدرس خاص بوده و سرویس به آن‌ها به‌صورت تکی و غیر هم‌زمان خواهد بود. این سامانه اجازه مخابرات مستقیم مابین واحدهای راه‌دور RTUها را که مورد نیاز باشند تامین می‌نماید.
- سامانه رادیال، که در این سامانه برای هر یک از واحدهای راه‌دور یک کانال مخابراتی تعریف شده و از آن طریق با ایستگاه مرکزی در ارتباط هستند. سامانه رادیال تامین‌کننده مخابرات سریع با تعداد قابل توجهی از نقطه‌های داده و کنترل مستقیم خواهد بود. مخابرات مابین واحدهای راه‌دور باید از طریق ایستگاه مرکزی یا هاب[1] سامانه مخابراتی انجام گردد.

۴-۱۴-۱- انتخاب پیکربندی سامانه

عوامل زیادی در انتخاب پیکربندی سامانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل تعداد واحدهای راه‌دور یا RTUها، مقادیر داده‌ها برای هر RTU، زمان به‌روز رسانی و سرعت انتقال اطلاعات هستند. همه این اطلاعات در انتخاب تعداد واحدهای راه‌دور که می‌تواند از یک کانال مخابراتی کنترل شوند، موثر است.

شرایط جغرافیایی پروژه نیز روی نوع تجهیزات و پیکربندی سامانه تاثیرگذار خواهد بود. نوع تجهیزات انتخاب‌شده سامانه را به یکی از دو انتخاب رادیال یا (party line) محدود می‌کند.

یک شبکه کوچک با مرکز کنترل مستقر در مرکز آن می‌تواند طراح را به سمت انتخاب سامانه رادیال کابلی هدایت کند در حالی که برای یک شبکه با کانال اصلی طویل و دارای مرکز کنترل در ابتدا یا انتهای آن، از نظر اقتصادی بهتر است سامانه (party line) کابلی استفاده شود.

سامانه کابلی به راحتی می‌تواند هر نوع پیکربندی را سرویس دهد. سامانه رادیویی مناسب سامانه party line است. سامانه‌های مخلوط نیز می‌توانند برای تعدادی از واحدهای پایانه راه‌دور که در یک موقعیت نزدیک به هم قرار دارند، با استفاده از کابل و ارتباط یکی از موقعیت‌ها به ایستگاه کنترل از سامانه رادیویی UHF استفاده کنند. بنابراین در این سامانه، ارتباط فواصل کوتاه با استفاده از کابل و فواصل دور با استفاده از امواج رادیویی امکان‌پذیر است.

۴-۱۵- انواع کانال‌های مخابراتی

آخرین ملاحظات مربوط به مخابرات، انتخاب کانال است. سه نوع اصلی کانال باید مورد بررسی قرار گیرد:

1- Hub

- کانال «سیمپلکس[1]» ساده‌ترین کانال مخابراتی است که در آن جریان داده‌ها فقط به یک سمت هدایت می‌شود. مثال آشنای آن رادیو تجاری است؛ ایستگاه رادیویی سیگنالی را ارسال می‌کند، اما چیزی دریافت نمی‌کند. کانال‌های سیمپلکس استفاده کمی برای خودکارسازی شبکه‌ها دارند و فقط برای کنترل از راه‌دور یک طرفه یا کاربردهای محدودی که اپراتور می‌تواند تاثیر عملکرد سامانه کنترل را مشاهده نماید، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- یک کانال «نیمه دوطرفه[2]» به وجودآورنده یک مخابرات دوطرفه است. هر چند که به طور هم‌زمان فقط انتقال اطلاعات به یک طرف امکان‌پذیر است. وقتی که جریان داده‌ها از یک سو کامل می‌شود یک سیگنال به سمت طرف دریافت‌کننده ارسال می‌شود. در معماری پروتکل کلاینت- سرور، هنگامی که کلاینت یک سیگنال ارسال می‌کند، کانال مسکوت می‌ماند تا این‌که سرور مشخص‌شده پاسخی را ارسال کند، یا زمان پاسخگویی پایان یابد. یک سامانه (party line) ممکن است در ارتباط با پیکربندی ایستگاه مرکزی و کانال مخابراتی به منظور عبور کنترل از ایستگاه مرکزی به واحدهای متعدد راه‌دور مورد استفاده قرار گیرد.
- کانال «کاملا دوطرفه[3]» تامین‌کننده هم‌زمان امکان ارسال و دریافت اطلاعات دوطرفه مابین ایستگاه مرکزی و واحدهای راه‌دور است. مزیت ارتباط کاملا دوطرفه، افزایش حجم اطلاعات قابل جابه‌جایی است. با این‌حال، نقطه ضعف این ارتباطات، مشکل بودن عیب‌یابی آن است. یک نمونه از ارتباطات کاملا دوطرفه، استفاده از اینترنت برای برقراری تله‌کنفرانس است. همکاران یک شرکت در شهرها یا کشورهای مختلف می‌توانند به صورت هم‌زمان صدا و تصویر یکدیگر را دریافت کنند. بسته‌های اطلاعات صدا و تصویر به شکل هم‌زمان، ارسال و دریافت می‌شود.

۴-۱۵-۱- سامانه‌های چهارسیمه در مقابل دوسیمه

سامانه‌های دو سیمه معمولا برای مخابره صوت، مورد استفاده قرار گرفته و سامانه‌های چهار سیمه معمولا برای ارسال داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند که مخلوطی از هر دو می‌تواند یک مدار کامل را پایه‌گذاری نماید. اتصالات ترکیبی[4] برای متصل نمودن سامانه دوسیمه به سامانه چهارسیمه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- Simplex
2- Half-Duplex
3- Full-Duplex
4- Hybrids

سامانه دوسیمه (اتصالات صوت C27 یا C2K) شامل دو سیم بوده که هر دو صدای ارسالی و دریافتی را همان دو سیم انتقال می‌دهد. در سامانه چهارسیمه، دو سیم برای ارسال صدا و دو سیم دیگر برای دریافت صدا تخصیص‌داده می‌شود. سامانه چهارسیمه (اتصالات صوت C2H یا C24) موقعی مورد نیاز است که ارسال دوطرفه و هم‌زمان در دستور کار باشد. سامانه‌های کنترل بلادرنگ برای انجام اهداف خود به سامانه چهارسیمه کاملا دوطرفه نیاز دارند.

سامانه‌های داده و اطلاعات که از تجهیزات کامپیوتر مرکزی برای ارسال به دو یا چند واحد پایانه راه‌دور استفاده می‌کنند می‌توانند از کانال دوسیمه سیمپلکس استفاده نمایند. در ادامه محدودیت‌های طراحی برای سامانه‌های دوسیمه و چهارسیمه به شرح زیر تشریح شده است.

- ورودی امپدانس مودم‌ها باید ۶۰۰ Ω ۱۰ ٪± بالانس‌شده و دارای ماهیت مقاومتی در سرتا سر پهنای باند ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ هرتز باشد.
- قدرت صوت ترکیبی ارسال شده (متوسط ۳ ثانیه) نباید برای مدار چهارسیمه از ۶ دسی‌بل و برای مدار دوسیمه از ۱۲ دسی‌بل تجاوز نماید. قدرت هر مدار برای کانال چند مداره نباید از 10Log10(n) تجاوز نماید که در آن n تعداد مدارهای یک کانال است.
- اگر دو یا چند کانال، اطلاعات مشترک را انتقال دهند در این صورت قدرت هر کانال باید با فاکتور ۱/n کاهش یابد تا سیگنال‌های ناخواسته بین کانال‌ها را که از وجود ترافیک در کانال‌های دیگر ناشی می‌شود کاهش دهد.

۴-۱۵-۱-۱- مدولاسیون (PCM)

تکنیک مدولاسیون (PCM[1]) موقعی استفاده می‌شود که نویز یا نسبت نویز/سیگنال به میزان دلخواه نباشد؛ در این حالت از طرح معمول (FDM[2]) استفاده می‌شود. به علت افزایش پهنای باند PCM ۵۶ کیلوهرتز برای تک کانال صوتی در مقایسه با ۴ کیلوهرتز برای تک کانال صوتی FDM این مکانیسم معمولا روی سامانه‌های مخابراتی با سیم و با پهنای باند تلفنی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- Pulse Code Modulation
2- Frequency Division Multiplexer

۴-۱۵-۱-۲- ملاحظات قابل اطمینان بودن مدار رادیویی

قابلیت اطمینان مسیر مدار رادیویی کاملا به «حاشیه ضعیف سیگنال[1]» وابسته است. حاشیه ضعیف سیگنال، به عنوان اضافه مسیر تقویت بالاتر از سطح سیگنال حداقل مورد نیاز برای ایجاد نسبت نویز/سیگنال دمودوله‌شده حداقل ۳۰ دسی‌بل تعریف شده است.

برای کاربردهای تک کانال VHF طراح باید حداقل ۲۵ دسی‌بل اضافه مسیر تقویت تامین نماید تا بتواند قابلیت اطمینان مسیر را در حد ۹۰ درصد تضمین کند. همچنین حصول ۴۰ دسی‌بل حاشیه ضعیف سیگنال برای مدارهای داده‌ها و اطلاعات نیاز به قابلیت اطمینان ۹۹/۹ درصد خواهد داشت. قابلیت اطمینان ۹۰ درصد به معنی این است که مسیر رادیویی برای ۸۷۰۰×۰/۱ ساعت یا ۸۷۰ ساعت در سال قابل استفاده نخواهد بود که به طور متوسط تقریبا معادل ۳ روز در ماه خواهد بود.

نمونه‌های مطمئن

- برای مسیرهای VHF، تک کانال: (حاشیه ضعیف سیگنال ۲۵ دسی‌بل < ٪۹۰)
- برای مسیرهای UHF، تک کانال: (حاشیه ضعیف سیگنال ۳۵ دسی‌بل < ٪۹۰)
- برای مسیرهای UHF، شش کانال: (حاشیه ضعیف سیگنال ۵۵ دسی‌بل H.S < ٪۹۹/۹)
- برای مسیرهای ۲ گیگاهرتز ۱۲۰ کانال: (حاشیه ضعیف سیگنال ۴۰ دسی‌بل < ٪۹۹/۹)

۴-۱۶- حفاظت در مقابل رعد و برق

رعد و برق و دیگر پدیده‌های طبیعی یکی از مشکلات تجهیزات داخل ایستگاه خواهند بود. منبع تامین برق معمولا به صورت کافی حفاظت نمی‌شود. سامانه مخابرات کابلی در معرض خطر صاعقه و سایر تداخلات امواج قرار دارد. سازه آنتن در معرض آسیب صاعقه قرار می‌گیرد. آسیب دیدن پایگاه داده‌ها در کامپیوتر اصلی و تجهیزات مربوطه در اثر رعد و برق در صورتی که مانند سایر تجهیزات مخابراتی حفاظت نشوند امکان‌پذیر خواهد بود.

صاعقه و دیگر نوسانات ناگهانی می‌تواند باعث خرابی ناگهانی یا تخریب کنترل‌کننده شود. خرابی ناگهانی معمولا راحت‌ترین وضعیت است، چراکه مشکل به سادگی شناخته می‌شود. تخریب در مرور زمان باعث ایجاد خطاهای متناوب در زمان‌های نامناسب خواهد شد. معمولا مشکلات به ندرت قابل تشخیص هستند، به دلیل این‌که حضور در سایت در زمان ایجاد مشکل تقریبا غیرممکن است.

1- Fade Margin

۴-۱۶-۱- سامانه زمین

سامانه زمین برای حفاظت از رعد و برق کاملا ضروری است. کلیه تجهیزات سامانه‌های خودکار باید با یکدیگر هم‌پتانسیل شده و سپس به صورت مطمئن به زمین وصل شود.

۴-۱۶-۲- قطع برق

صاعقه و دیگر پدیده‌های جوی باعث قطع برق می‌شوند. اگر مدت زمان قطع برق برای سامانه کنترل قابل تحمل نباشد، سامانه حفاظتی دیگری باید در نظر گرفته شود. این سامانه‌ها به دو دسته تقسیم‌بندی شده است.

۱- تله‌متری و کنترل دریچه مورد نیاز باشد.

۲- فقط تله‌متری مورد نیاز باشد.

الکتروموتورهای دریچه باید وقتی که کنترل‌کننده دریچه فرمان‌دهد، فعال شود. این عملکرد نیاز به منبع تغذیه برق AC جایگزین مانند ژنراتور با سامانه خودکار استارت یا یک خط جایگزین برق دائم AC خواهد داشت. در حالت ۲ فقط نیاز به باتری پشتیبان برای تامین برق سامانه تله‌متری است.

فصل ۵

سامانه کنترل نظارتی و جمع آوری اطلاعات (اسکادا)

۵-۱- مقدمه

سامانه‌های اسکادا معمولا برای کنترل نقاط پراکنده به‌شکل متمرکز با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و کنترل نظارتی استفاده می‌شود. سامانه‌های کنترل توزیع‌شده (DCS) معمولا جهت کنترل فرایندهای ساخت در یک منطقه محلی، نظیر یک کارخانه با استفاده از کنترل نظارتی به کار گرفته می‌شوند؛ درحالی‌که ایستگاه‌ها و نقاط میدانی اسکادا، در یک محدوده جغرافیایی گسترده پخش هستند. ارتباطات DCS و PLC معمولا با استفاده از فناوری‌های شبکه محلی (LAN[1]) انجام می‌شوند، اما سامانه‌های اسکادا به طور خاص برای رفع چالش‌های ارتباطی از راه‌دور (مانند تاخیر و از بین رفتن داده‌ها توسط راه‌های مختلف ارتباطی) طراحی شده‌اند.

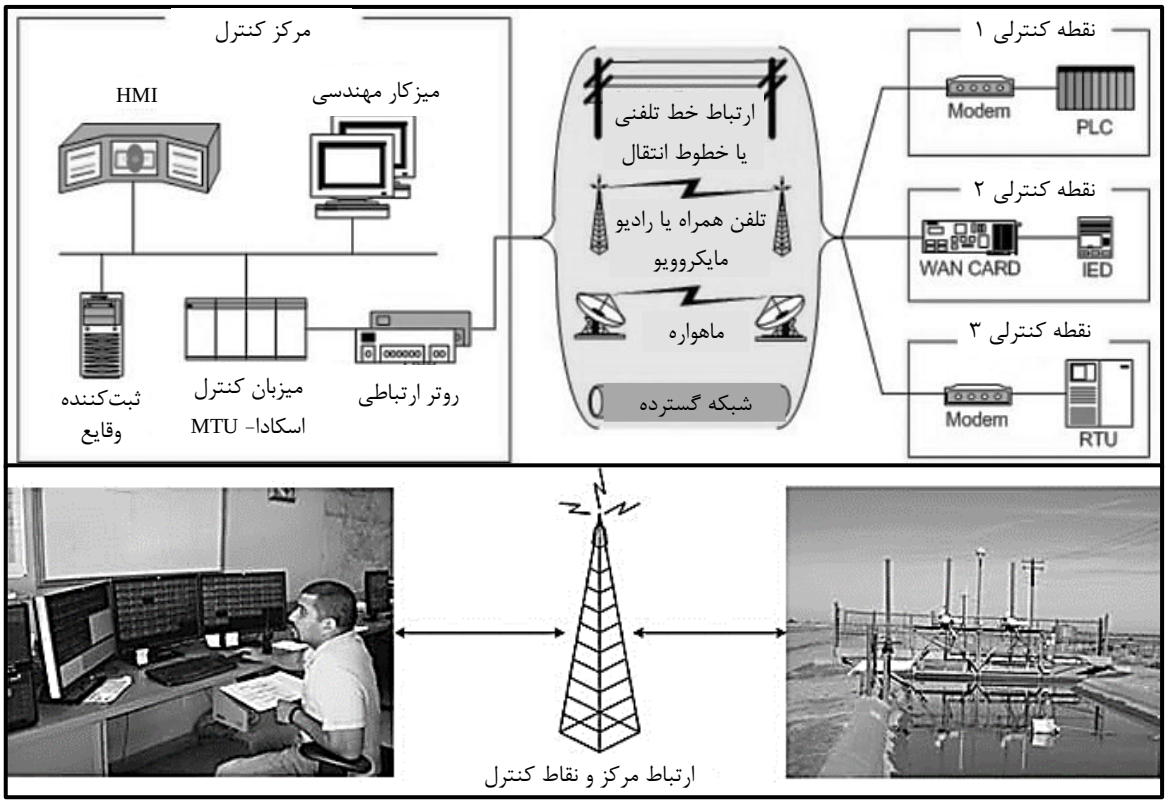
با توجه به این‌که سامانه‌های اسکادا یکی از راهکارهای اساسی خودکارسازی سامانه‌های آبیاری بوده و در سطوح مختلفی از پایش اطلاعات تا کنترل نیمه‌خودکار یا کاملا خودکار قابل اجرا است، در این فصل به بررسی و ارائه جزییات بیش‌تری از این روش پرداخته می‌شود. سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری اطلاعات بر مبنای پایش و کنترل سازه‌های قابل تنظیم در شبکه‌های آبیاری، از یک مکان مرکزی است که به آن ایستگاه اصلی کنترل یا مرکز کنترل گفته می‌شود.

پایش به معنای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها از نقاط و ایستگاه‌های مختلف شبکه آبیاری و تعیین عملکرد کنترلی بر اساس این اطلاعات است. اطلاعات می‌توانند شامل تراز سطح آب در کانال‌ها و مخازن، وضعیت گشودگی دریچه‌ها، آبدهی در مقاطع یا سازه‌های مورد نظر، وضعیت الکتروپمپ‌ها و اطلاعات هشدار از هر یک از موقعیت‌های راه‌دور باشند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده از کلیه نقاط و ایستگاه‌ها به ایستگاه اصلی که مرکز ذخیره و نگهداری، آنالیز و تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات دریافتی از نقاط است، ارسال می‌گردد. این اطلاعات باید به شکل مناسب و در زمان قابل قبول در اختیار بهره‌بردار قرارگیرد تا بتواند تصمیم کنترلی مناسب را گرفته و عملکرد لازم را انجام دهد. معمولا تصمیمات کنترلی در ایستگاه اصلی ذخیره می‌شود، سپس این دستورات به نقاط و ایستگاه‌های راه‌دور ارسال می‌شود تا در ایستگاه‌های کنترل با استفاده از شرایط واقعی نقاط، فرایندهای کنترلی لازم نظیر تنظیم سطح آب یا میزان گشودگی دریچه‌ها یا شیرآلات انجام شود.

سامانه اسکادا به تجهیزات مناسبی برای جمع‌آوری داده‌ها، مخابره آن‌ها و سامانه کنترل، نیاز دارد. هر یک از ایستگاه‌های راه‌دور نیاز به یک واحد پایانه راه‌دور دارد. این RTU، داده‌ها را جمع‌آوری و به ایستگاه اصلی مخابره می‌نماید؛ سپس فرایند کنترل هر یک از ایستگاه‌های راه‌دور، براساس اطلاعات جمع‌آوری شده و عملکرد کنترلی ارسالی

1- Local Area Network

از ایستگاه مرکزی انجام می‌گردد. برای اجرای این فرایند وجود یک سامانه مخابراتی ما بین هر یک از RTUها و ایستگاه مرکزی ضروری خواهد بود (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱- اجزای اصلی سامانه اسکادا

۵-۲- سطوح کنترل در سامانه اسکادا

سامانه اسکادا در شبکه آبیاری علاوه بر پایش، ذخیره اطلاعات، نمایش داده‌های مورد نیاز و ارزیابی عملکرد سیستم، کنترل خودکار شبکه آبیاری را نیز دربر می‌گیرد. با توجه به این موضوع، میزان دخالت اپراتور بهره‌برداری قابل تعریف است. برخی عملیات روزمره و معمولی به صورت خودکار اجرا می‌شود و سطوح مختلف کنترل نظارتی خودکار قابل تعریف است. با افزایش سطح خودکارسازی در سامانه میزان مشارکت اپراتور در فرایند کنترل شبکه کاهش می‌یابد و به سمت نظارت پیش می‌رود.

۵-۲-۱- سطح اول در سامانه کنترل نظارتی خودکار، موقعیت‌یابی هدف

سطح اول در سامانه کنترل نظارتی خودکار «موقعیت‌یابی نقطه هدف[1]» نامیده می‌شود. در این روش به جای این‌که برای هر حرکت سازه تنظیم، فرمانی محاسبه و ارسال شود، اپراتور، مقداری از متغیر را به عنوان نقطه هدف مشخص می‌کند و کنترل‌کننده به صورت خودکار با اعمال تغییر در وضعیت سازه تنظیم، هدف اپراتور را تامین می‌نماید. به طور مثال اپراتور می‌تواند تراز آب بالادست یک دریچه را به عنوان نقطه هدف برای پایانه راه‌دور یک سازه تنظیم خاص تعریف کند. در این‌صورت واحد راه‌دور به صورت خودکار، فرمان لازم برای حرکت دریچه تنظیم‌کننده را به‌منظور رسیدن تراز آب به نقطه هدف تعریف‌شده، محاسبه و اعمال می‌نماید که این عمل بدون دخالت اضافی اپراتور انجام خواهد گرفت.

کنترل متوالی[2] شبیه به کنترل موقعیت‌یابی نقطه هدف است. در روش کنترل زنجیره‌ای، اپراتور فرمان شروع زنجیره کنترلی را صادر می‌نماید و عملیات زنجیره‌ای پشت سر هم اجرا خواهد شد. برای مثال فرمان روشن شدن یک دستگاه الکتروپمپ در ایستگاه پمپاژ شامل انتخاب الکتروپمپ، کنترل دما و فشار روغن، عملکرد شیرهای ورود و خروج و کنترل حفاظت‌های الکتروموتور پمپ مذکور است.

۵-۲-۲- سطح دوم در سامانه کنترل نظارتی خودکار، تصمیم‌گیری منطقی

سطح دوم کنترل نظارتی، خودکارسازی با تصمیم‌گیری منطقی است. در این سطح سامانه کنترل، به‌جای وارد کردن نقاط هدف توسط اپراتور، نقاط هدف جدید به صورت خودکار محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که در این سطح کنترل نظارتی، اپراتور به صورت متناوب تنظیمات کنترل خودکار را انجام می‌دهد و در حالت نرمال می‌تواند نقطه هدف را مشخص‌کند و در مواقع اضطراری از کنترل دستی استفاده نماید. برای نمونه، در شبکه‌هایی که از سامانه کنترل خودکار با تصمیم‌گیری منطقی بهره می‌گیرند، مقدار جریان آب عبوری از یک سازه به عنوان مقدار هدف می‌تواند باشد. کنترل جریان در سازه مورد نظر، با توجه به ابعاد سازه و شرایط هیدرولیکی کانال، اندکی پیچیده خواهد بود؛ چرا که باید محاسبات نسبتا دقیقی با توجه به شرایط هیدرولیکی و اطلاعات جمع‌آوری شده صورت‌گیرد. جمع‌آوری داده‌ها، ارزیابی تراز سطح آب در بالادست و پایین‌دست، موقعیت لبه پایینی دریچه و میزان گشودگی آن و ابعاد سازه در محاسبات لحاظ می‌شود. جریان آب هدف، به عنوان پارامتر ورودی در الگوریتم کنترل است و کلیه متغیرها برای انجام محاسبات و تعیین عملکرد کنترلی لازم، برای یک یا چند دریچه، جهت تامین جریان آب مورد نظر هستند. در یک ایستگاه پمپاژ نیز

1- Set Point Positioning
2- Sequential Control

کنترل جریان آب برای رسیدن به مقدار هدف، با انتخاب و راه‌اندازی پمپ‌ها، کنترل سرعت پمپ‌های مجهز به کنترل دور و کنترل شیرهای برقی صورت می‌گیرد.

در سامانه‌های تشریح‌شده، فرایند کنترل به صورت دستی فعال می‌شود و متصدی ایستگاه مرکزی، وظیفه نظارت بر کل شبکه را دارد و کنترل سازه‌های تنظیم به صورت خودکار صورت می‌گیرد.

سامانه تصمیم‌گیری خودکار می‌تواند به برقراری یک عمق دلخواه، سطح آب معین، شدت‌جریان مورد نظر یا حجم آب دلخواه منتهی شود. الگوریتم کنترلی و محاسبات آن طوری است که وضعیت هیدرولیک مجاری در شبکه آبیاری را تحت نظر می‌گیرد. اپراتور با در نظرگرفتن شرایط بهره‌برداری، نقطه هدف دلخواه مانند شدت جریان، عمق یا حجم هدف را مشخص می‌کند. الگوریتم کنترل نیز که برای هر یک از واحدهای راه‌دور یا برای ایستگاه اصلی کنترل اجرا می‌شود با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از شبکه، فرایند کنترل را انجام می‌دهد. دراین سطح از کنترل، در شرایط اضطراری اپراتور قادر به تغییر[1] سامانه کنترل از حالت خودکار به حالت دستی است.

۵-۲-۳- سطح سوم در سامانه کنترل نظارتی خودکار، کنترل توسط رایانه

سطح سوم سامانه کنترل نظارتی عبارت است از کنترل توسط رایانه[2]. در روش کنترل رایانه‌ای، شبکه آبیاری موردنظر با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای خاص که در ایستگاه اصلی نصب می‌شود، مدیریت و بهره‌برداری می‌گردد. این برنامه‌های رایانه‌ای با استفاده از اطلاعات و داده‌های لحظه‌ای جمع‌آوری‌شده از کل شبکه آبیاری، مدل‌های هیدرودینامیک و با بهره‌گیری از سوابق بهره‌برداری ثبت‌شده، عمل می‌کنند. این سطح از کنترل اغلب برای بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری بزرگ با کاربری چندگانه است. برای مثال، در شبکه‌های آبیاری که در پایین‌دست سدهای مخزنی قابلیت تولید انرژی برقابی دارند و نیازهای کشاورزی و شرب نیز هم‌زمان تامین می‌شود، با توجه به پیچیدگی بهره‌برداری، برای مدیریت مناسب شبکه، بهتر است از سطح کنترل رایانه‌ای استفاده شود. با استفاده از این سامانه، استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی فرایند بهره‌برداری و بهبود عملکرد اقتصادی و ... امکان‌پذیر است.

1- Switch
2- Computer- Directed Control

۵-۳- اجزای سامانه اسکادا

۵-۳-۱- ایستگاه‌های راه‌دور در سطح شبکه آبیاری

- واحد پایانه راه‌دور (RTU)

واحد پایانه راه‌دور یا واحد تله‌متری، یک واحد خاص جهت کنترل و جمع‌آوری داده‌ها است که به‌منظور پشتیبانی از ایستگاه‌های راه‌دور سامانه اسکادا طراحی شده‌است. واحدهای RTU، تجهیزات میدانی محسوب می‌شوند که اغلب مجهز به رابط‌های بی‌سیم مخابراتی هستند تا از موقعیت‌هایی که امکان ارتباط از طریق سیم و کابل وجود ندارد پشتیبانی کنند. در صورتی که ارتباطات سیمی خارج از دسترس بودند بتوانند ایستگاه‌های از راه دور را پشتیبانی نمایند. گاهی اوقات PLCها به‌عنوان دستگاه میدانی استفاده شده و همانند RTUها به‌کار گرفته می‌شوند، در این حالت PLC را اغلب یک RTU می‌نامند.

- کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر (PLC)

دستگاه PLC یک رایانه صنعتی کوچک است که قابلیت کنترل فرایندهای پیچیده را دارد و به طور قابل توجهی در سامانه‌های SCADA و DCS استفاده می‌شوند. دیگر کنترل‌گرهای میدانی، کنترل‌گرهای فرایندی[1] و RTUها هستند؛ آن‌ها کنترل مشابه PLC را ارائه می‌دهند اما برای برنامه‌های کنترل خاص طراحی شده‌اند. در محیط اسکادا از PLCها معمولا به عنوان تجهیزات میدانی استفاده می‌شود، زیرا نسبت به RTUهای تک منظوره، اقتصادی‌تر، انعطاف‌پذیرتر و چندمنظوره و قابل تنظیم هستند.

چنانچه ذکرشد، برای خودکارنمودن بهره‌برداری شبکه آبیاری، ممکن است از تجهیزات کنترل خودکار محلی (PLC) یا تجهیزات سامانه کنترل نظارتی (RTU) استفاده نمود. تجهیزات کنترل خودکار محلی، شامل عمل‌گر و کنترل‌گر یک سازه تنظیم، سامانه مخابراتی و پایش راه‌دور و برخی از حس‌گرهای اندازه‌گیری در شبکه آبیاری است. تجهیزات خودکار محلی باید به صورت متناوب توسط اپراتورهای بهره‌برداری نظارت شود تا وضعیت تجهیزات و عملکرد مناسب آن‌ها ارزیابی‌گردد. خرابی‌های به وجود آمده با استفاده از سامانه هشدار گزارش می‌شود و این اطلاعات به وسیله متصدی ایستگاه اصلی (در مرکز کنترل) به اپراتورهای بهره‌برداری شبکه آبیاری جهت اقدام ارسال می‌گردد.

کنترل‌کننده محلی خودکار در شبکه‌های آبیاری معمولا شامل اجزا و تجهیزات زیر است:

- ریزپردازنده

1- Process Controller

- صفحه کلید
- صفحه نمایش دیجیتال
- تجهیزات مورد نیاز برای ورودی- خروجی‌های آنالوگ و دیجیتال
- بستر مخابراتی برای ارتباط با مرکز کنترل و انتقال اطلاعات
- الگوریتم‌های کنترل سازه مورد نظر
- تجهیزات رابط برای کنترل دستی (HMI)
- نرم‌افزار سامانه عامل
- لوازم ارتقا سامانه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری

کنترل‌گر محلی خودکار به راحتی قابل برنامه‌ریزی بوده و با استفاده از الگوریتم‌های مناسب می‌توان سازه مورد نظر در شبکه آبیاری را کنترل کند. تعامل با کنترل‌گرهای منطقی برنامه‌پذیر (PLC) و حس‌گرهای ورودی/خروجی از طریق رابط انسان- ماشین (HMI) برقرار می‌شود تا اطلاعات را دریافت و برای مشاهده کاربر نمایش‌دهد. صفحه نمایش HMI را می‌توان بسته به نوع آن‌ها برای اعمال ساده‌ای مانند پایش و ردیابی، یا برای انجام عملیات پیچیده‌تر، مانند خاموش‌کردن ماشین‌ها یا افزایش سرعت و غیره، به‌کار برد. سامانه عامل نرم‌افزاری، معمولا در حافظه‌ی ROM[1] میکروورایانه که فقط قابل خواندن است ذخیره‌سازی می‌شود. این حافظه دائمی است و فقط به صورت الکتریکی یا با استفاده از نور ماورا بنفش قابل پاک شدن است. محتویات این حافظه در زمان قطع برق یا خاموش شدن میکروورایانه از بین نمی‌رود. اطلاعاتی نظیر تراز سطوح آب، موقعیت و بازشدگی دریچه‌ها، عملکرد سامانه کنترل، نقاط و متغیرهای هدف و زمان وقوع سیگنال‌ها در حافظه قابل دسترسی موقت (RAM) ذخیره می‌گردد. بیش‌تر اوقات داده‌های داخل حافظه موقت در زمان قطع برق با استفاده از UPS، در حافظه ای‌ای‌پی‌رام[2] ذخیره‌سازی می‌شود. این حافظه به صورت دینامیک فعال بوده و بنابر نیاز می‌تواند محتویات آن توسط الگوریتم سامانه کنترل تغییر یابد. تجهیزات کنترل خودکار محلی جهت محافظت در مقابل اثرات محیطی و میدانی، باید در داخل تابلوهای ضد آب یا کابینت‌های فایبرگلاس نصب گردد.

چنانچه این تجهیزات توسط بستر مخابراتی مناسب که تجهیزات آن امکان برقراری ارتباط دوطرفه را فراهم می‌کند به صورت کنترل نظارتی مورد استفاده قرار گیرد، کنترل‌کننده خودکار محلی، به‌عنوان واحد پایانه راه‌دور (RTU) تلقی می‌شود. بنابراین واحد راه‌دور شامل یک میکروکنترولر با قابلیت‌های کنترل‌کننده خودکار محلی است که دارای تجهیزات و رابط مخابراتی است. واحد راه‌دور، اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط حس‌گرها را دریافت نموده و دستورات ارسالی ایستگاه

1- Read Only Memory
2- Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM) (E2PROM)

اصلی را پردازش و سپس فرمان لازم را به سازه‌ها و ابزارهای قابل تنظیم صادر می‌نماید (چرخه کنترل). واحد راه‌دور همچنین پایش تجهیزات و سازه‌های تنظیم را انجام‌داده و اطلاعات مذکور را به‌صورت خودکار روی سازه مرتبط انجام می‌دهد، تمامی اطلاعات مربوط به این عمل کنترل، به وسیله متصدی مستقر در ایستگاه اصلی نیز مشاهده می‌گردد.

- حس‌گرها

سامانه‌های کنترل خودکار شبکه‌های آبیاری با استفاده از حس‌گرها، اطلاعات مربوط به متغیرهای آب (پارامترهای کنترل) و پایش شبکه را کسب می‌کنند. این حس‌گرها در نقاط مختلف شبکه آبیاری تحت کنترل روی تجهیزات مربوط به سازه‌های تنظیم، دریچه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ و سایر ساختارهای شبکه قرار دارند. حس‌گرها از لحاظ نحوه کارکرد و انواع آن بسیار متنوع هستند. انتخاب حس‌گر مناسب از بین انواع حس‌گرها موجود که بتواند بهترین گزینه برای تامین هدف مورد نظر در شبکه آبیاری تحت کنترل باشد، اهمیت بسیاری دارد. در فرایند انتخاب حس‌گرها موارد زیر باید به دقت در نظر گرفته شود:

- دقت[1]
- قابل اعتماد بودن[2]
- تعداد پیکسل‌های قابل نمایش روی صفحه نمایش[3]
- قابلیت تکرار[4]
- نیازهای واسنجی
- دامنه درجه حرارت
- قابلیت بهره‌برداری و نگهداری
- در دسترس بودن
- هزینه‌ها

موفقیت خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری به عملکرد حس‌گرها، نحوه و دقت اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق آن‌ها بستگی دارد. حس‌گرها با اندازه‌گیری و ارسال اطلاعات نادرست، باعث کارکرد نامطلوب سامانه کنترل خودکار می‌شوند. یکی از راهکارهای جلوگیری از عملکرد نامطلوب سامانه کنترل، ارزیابی و تعیین میزان خطای حس‌گرها در شرایط خاص و در نقاط بحرانی بهره‌برداری از شبکه آبیاری، نظیر شرایط حداقل و حداکثر آبدهی طراحی در کانال، است.

1- Accuracy
2- Reliability
3- Resolution
4- Repeatability

حس‌گرها با توجه به نوع خروجی آن‌ها به دو دسته آنالوگ و دیجیتال طبقه‌بندی می‌شوند. اگر خروجی حس‌گر، به صورت ولتاژ، جریان (آمپر) یا فرکانس باشد، حس‌گر از نوع آنالوگ و اگر خروجی حس‌گر به صورت اعداد دوتایی (۰ و۱) یا پالس‌های جریان مستقیم باشد، حس‌گر از نوع دیجیتال خواهد بود.

حس‌گرهای دیجیتال دارای دقت بالاتر و حساسیت کم‌تر نسبت به خطاهای الکتریکی ایجاد شده در آن‌ها هستند، چرا که خروجی آن‌ها به شکل اعداد ۲ تایی (۰ و۱) بوده و به‌سادگی قابل تبدیل به واحدهای متداول برای تعیین وضعیت تجهیزات کنترل خودکار و مقادیر اندازه‌گیری‌شده در حس‌گر است. اگر در کنترل‌کننده از ریزپردازنده‌ها استفاده شود، تبدیل خروجی حس‌گر به واحدهای مورد نظر، فرایند ساده‌ای است که نیاز به مدارهای واسط هم ندارد. ذکر این نکته نیز ضروری است که حس‌گرهای دیجیتال نسبت به حس‌گرهای آنالوگ هزینه کم‌تری داشته و به آسانی قابل نگهداری و تعمیر هستند. همچنین فرایند واسنجی (کالیبره‌کردن) آن‌ها ساده‌تر است. حس‌گرهایی که سیگنال خروجی آن‌ها از نوع سیگنال آنالوگ الکتریکی است، قبل از این‌که به کنترل‌گر برسند، در معرض خطر تداخل امواج و تضعیف سیگنال قرار دارند. اگر کنترل‌گر از نوع ریزپردازنده باشد، سیگنال آنالوگ ابتدا به سیگنال دیجیتال تبدیل می‌شود؛ این تبدیل در داخل PLC یا RTU انجام می‌شود.

حس‌گرهای هوشمند[1] دارای قابلیت رایانه‌ای هستند. معمولا آن‌ها از طریق پروتکل‌های استانداردی ارتباط برقرار می‌کنند و می‌توانند آدرس‌پذیر باشند. حس‌گرهای هوشمند چندمنظوره با استفاده از همان پروتکل ممکن است با پیکربندی چندتایی مانند باس یا ستاره به PLC متصل شوند. این قابلیت می‌تواند در هنگام درنظرگرفتن حس‌گرهای کمکی مفید باشد. علاوه بر این، حس‌گرهای هوشمند می‌توانند مقادیر خروجی را محاسبه کنند و همچنین چندین متغیر مختلف را از یک حس‌گر اندازه‌گیری و ارسال کنند. برای مثال، برخی از عمق‌سنج‌ها، دما را نیز اندازه‌گیری می‌کنند. برای ارائه این اطلاعات اضافی به روشی آنالوگ، نیاز به خروجی اضافی برای اتصال با سیم بین حس‌گر و PLC، و همچنین به ورودی آنالوگ اضافی در PLC نیاز است اما یک عمق‌سنج دیجیتال می‌تواند داده‌های عمق و دما را در یک مرحله به PLC ارسال کند.

حس‌گرهای هوشمند باعث افزایش انعطاف‌پذیری شده و می‌توانند مراحل نصب را آسان‌کنند. برای مثال یک آبگیر در ۲۰۰ متری بالادست از یک سازه تنظیم مجهز به PLC را در نظر بگیرید. استفاده از اندازه‌گیر آنالوگ در این حالت نیازمند یک PLC و مودم رادیویی اختصاصی، یا برای انتقال کابل به یک PLC نزدیک نیازمند حفر ترانشه و لوله‌گذاری است. یک جریان‌سنج هوشمند تغذیه‌شونده با انرژی خورشیدی می‌تواند به طور نامحسوس نصب‌شود و مستقیم از طریق یک ارتباط رادیویی، به زیرساخت‌های ارتباطات اسکادا وصل‌شود و اطلاعات بیش‌تری مانند حجم کل آب را در اختیار

1- Smart Sensor

سامانه اسکادا قرار دهد. اگرچه اتصال حس‌گرهای هوشمند به PLC برای کنترل‌های محلی دارای مزیت‌هایی است. یک کنترل‌گر جریان، ممکن است نیاز به دفعات بیش‌تری از اندازه‌گیری، نسبت به دفعاتی که واحد مرکزی به‌روز می‌شود، داشته باشد. درنتیجه با اتصال آن به سخت‌افزار کنترلی محلی، ترافیک ارتباطی شبکه اصلی اسکادا کاهش می‌یابد و اطلاعات جریان از طریق ایستگاه راه‌دور به واحد مرکزی به دفعات لازم برای نظارت اپراتور ارسال می‌شود.

- خروجی‌ها و عمل‌گرها

خروجی‌های PLC مشابه خروجی حس‌گرها است و استفاده از خروجی‌های آنالوگ محدودیت‌هایی دارد. چرا که مدارهای لازم برای تامین جریان آنالوگ یا ولتاژ پایدار می‌تواند گران باشد. به استثنای برخی از درایوهای فرکانس متغیر (VFD) برای پمپ‌ها، تنها دستگاه‌های معدودی که درحال حاضر در شبکه آبیاری استفاده می‌شوند از چنین خروجی‌هایی استفاده می‌کنند.

اکثر عمل‌گرها مستقیم توسط خروجی‌های گسسته فعال می‌شوند. برخی از لوازم الکترونیکی PLC قادر به تغییر ولتاژهای AC بالا هستند، اما جریان باید محدود باشد. سایر PLCها فقط به خروجی‌های DC پایین‌تر محدود می‌شوند. در این حالت، هنگام تعویض بارهای ولتاژ و AC بیش‌تر، به رله نیاز است.

مشابه با حس‌گرها، عمل‌گرهای هوشمند نیز در دسترس هستند. به شکلی می‌توان گفت که این دستگاه‌ها PLC مخصوص به خود را دارند که موقعیت‌سنجی سازه تنظیم را براساس اطلاعات ارسال‌شده از PLC اولیه در واحد راه‌دور محاسبه می‌کنند. به طور عمومی‌تر به این حس‌گرها و عمل‌گرهای هوشمند، دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند[1] (IED) گفته می‌شود.

۵-۳-۲- ایستگاه اصلی

سامانه کنترلی نظارتی شامل مرکز اسکادا (ایستگاه اصلی[2])، واحدهای راه‌دور به عنوان نقاط کنترل پراکنده در سطح شبکه آبیاری و بستر مخابراتی برای برقراری ارتباط بین اجزا مختلف سامانه کنترل است. حالت‌های پیکربندی بی‌شماری برای ایستگاه اصلی وجود دارد. در ابتدایی‌ترین شکل، ایستگاه اصلی می‌تواند یک تک رایانه باشد. برای مقیاس‌های بزرگ‌تر، ایستگاه اصلی می‌تواند مجموعه‌ای از کنسول‌های اپراتوری شبکه شده باشد که در تعامل با سرورهای مستقل پایگاه داده‌ها و مراکز ارتباطی چندگانه هستند. صرف‌نظر از مقیاس ایستگاه اصلی، معمولا برخی از مولفه‌های اساسی برای کلیه پیاده‌سازی‌ها مشترک است. تجهیزات ایستگاه اصلی شامل موارد زیر است:

1- Intelligent Electrical Devices
2- Master station

- رابط انسان-ماشین (HMI)
- میزکار اپراتور
- پایگاه داده‌ها
- بانک اطلاعات سوابق و بایگانی
- تجهیزات هشدار
- تجهیزات گزارش‌گیری
- زیرساخت‌های امنیتی و برق
- نرم‌افزارهای مورد نیاز

۵-۳-۲-۱- رابط انسان–ماشین

رابط انسان-ماشین (HMI) جزو اصلی مرکز اسکادا است. رابط انسان-ماشین، سخت‌افزار و نرم‌افزاری است که اپراتورها را قادر می‌سازد بر شرایط یک فرایند تحت‌کنترل، نظارت‌کرده و تنظیمات کنترلی را به‌منظور تغییر اهداف کنترلی اصلاح نموده و عملیات کنترل خودکار را در شرایط اضطراری تحت‌الشعاع قرار دهد. سه مولفه اصلی HMI وجود دارد: ارتباطات، بانک اطلاعاتی و میزکار اپراتور. هر سه ممکن‌است در یک دستگاه واحد گنجانده شوند یا در بین چندین ماشین یا حتی چندین مرکز توزیع شوند. مولفه‌های اضافی شامل مولفه‌هایی برای هشدار، پایگاه داده‌های سوابق، تولید گزارش و امنیت است.

راه ارتباطی HMI؛ مولفه ارتباطات HMI مربوط به لایه کاربرد (لایه هفت) مدل ارتباطات OSI است که در بخش ۴-۱۳-۴- مورد بحث قرارگرفت. اکثر رابط‌های HMI امکان استفاده از انواع درایورهای ارتباطی پروتکل‌هایی که به شکل مستقل اجرا می‌شوند را فراهم می‌کند. این درایورها دارای رابط‌های کاربری هستند که به تکنسین‌ها اجازه می‌دهد تا شکل و آرایش نمایش اطلاعات واحدهای راه‌دور را پیکربندی کند. این پیکربندی به طور معمول نیاز به یک کپی از مستندات PLC دارد تا واحد اصلی، آدرس‌دهی مناسب اطلاعات PLC را بداند. اگر این اطلاعات در مرکز با نسخه اصلی PLC مطابقت نداشته باشد، داده‌ها یا جابه‌جا می‌شوند (برای نمونه، موقعیت‌های دریچه به عنوان تراز سطح آب تفسیر می‌شوند) یا نقشه به دلیل قالب‌بندی نادرست خراب می‌شود (برای مثال، تبدیل مقدار ممیز به اعداد صحیح). استانداردسازی این نسخه‌برداری از سیاهه کنترل و همچنین نام‌گذاری معین برای واحدهای راه‌دور و مولفه داده‌ها انتقالی می‌تواند به توسعه مولفه ارتباطات HMI و سهولت عیب‌یابی در مشکلات ارتباطاتی سرعت بخشد.

۵-۳-۲-۲- میزکار اپراتور

میزکار اپراتور اولین و پایه‌ای‌ترین راه ارتباطی اپراتور با سامانه است (شکل ۵-۲). میزکار، معمولا یک سری از مجموعه ابزارهای اصلی برای ترسیم و یادداشت‌گذاری، به‌علاوه مجموعه‌های کنترلی از پیش‌تعریف‌شده، مانند کلیدها،

نمایش‌گرهای عددی و نمودارهای تغییرات روند فرایند را نشان می‌دهند. به طورکلی، HMI قابلیت شخصی‌سازی این کنترل‌ها را از طریق برنامه‌نویسی فراهم می‌کند. اپراتورها باید با عملکرد سامانه در شرایط کاری معمول روزانه و در سطوح مختلف بحرانی راحت‌بوده و تسلط داشته‌باشند. بهتر است هنگام طراحی موارد قابل نمایش در این نمایش‌گرها با اپراتورهای سامانه مشورت شود.

درحالی‌که تمرکز اصلی یک اپراتور بر مدیریت سامانه اسکادا است، در بیش‌تر محیط‌های اداری، اپراتور علاوه بر پاسخ‌دادن به ایمیل‌ها و انجام سایر کارهای روزمره، فعالیت‌های مدیریتی دیگری را نیز اجرا می‌کند. برای همین استفاده از کارت‌های گرافیکی و آداپتورهای ویدیویی دارای چندخروجی، امکان استفاده از چندین نمایش‌گر در کنار هم را برای یک میزکاری اپراتور مهیا می‌کند (شکل ۵-۲). افزایش فضای قابل نمایش به این روش به اپراتور اجازه می‌دهد تا هم‌زمان سامانه اسکادا و سایر نرم‌افزارهای اداری را بدون نیاز به جابه‌جایی از یک رایانه به رایانه دیگر یا تغییر پنجره‌های نمایش، کنترل کند.

افزون بر امکان استفاده از چند نمایش‌گر، HMIها به طورمعمول از چندین کنسول کاربری به طور هم‌زمان پشتیبانی می‌کنند. به این ترتیب چند اپراتور می‌توانند هم‌زمان به پایگاه داده‌ها و درایورهای ارتباطی دسترسی داشته‌باشند و از این طریق هم‌زمان سامانه را کنترل کنند. به این ترتیب، امکان اتصال و دسترسی به سامانه از خارج از ایستگاه مرکزی نیز فراهم می‌شود که می‌تواند در تعدادی از حالت‌های قابل پیش‌بینی مفید باشد. مثلا اگر در طی شب اپراتوری در ایستگاه مرکزی مستقر نباشد، این دسترسی راه‌دور، اپراتور آماده‌باش را قادر می‌سازد تا از طریق اینترنت یا حتی خط ارتباطی تلفن همراه از خانه بر شرایط اضطراری نظارت کند و پاسخ مناسب دهد. در این حالت سطح دسترسی کامل کنترلی به سامانه امکان‌پذیر است. در مثال دیگر، مدیری را در نظر بگیرید که خارج از ایستگاه مرکزی و در منطقه بخواهد وضعیت سامانه را بررسی کند. در این مورد فقط به سطح دسترسی مشاهده‌ای از سامانه نیاز است. این سطوح دسترسی را می‌توان از طریق تنظیمات HMI یا از طریق مدیریت شبکه رایانه‌ای در ایستگاه مرکزی تنظیم‌کرد.

شکل ۵-۲- یک نمونه از ایستگاه مرکزی اسکادا و میزکار اپراتور

۵-۳-۲-۳- پایگاه داده‌ها

پایگاه داده‌ها به طورمعمول با ضبط وضعیت فعلی سامانه، به‌عنوان واسط بین درایور ارتباطاتی/مخابراتی و میزکار اپراتور عمل می‌کند. درایورهای ارتباطاتی، اطلاعات دریافتی از واحدهای راه‌دور را وارد پایگاه داده‌ها می‌کنند. در پایگاه داده‌ها درصورت لزوم اطلاعات ورودی آنالیزشده و تغییر می‌کند و این اطلاعات به عنوان بخشی از وضعیت فعلی ذخیره می‌شود و نمایش‌گرهای میزکار اپراتور به‌روز می‌گردد. از سوی دیگر، هرگونه عمل کنترلی که توسط اپراتور یا به‌شکل خودکار تعیین شود، در پایگاه داده‌ها ذخیره می‌شود و پس از تغییرات، از طریق درایورهای ارتباطی/مخابراتی به واحدهای راه‌دور ارسال می‌شوند. برخی از بسته‌های HMI امکان تنظیم پایگاه داده‌های کمکی پشتیبان را فراهم می‌کنند. این امکان می‌تواند برای سازمان‌هایی که برای مقابله با حوادث غیرمترقبه، یک موقعیت مکانی مجزا را برای ذخیره پشتیبان داده‌ها درنظر می‌گیرند، مفید باشد.

توسعه، پیکربندی و نگهداری از پایگاه داده‌های اسکادا می‌تواند یک عمل بسیار پیچیده و پرزحمت باشد. حتی برای یک سامانه اسکادای نظارتی بدون کنترل خودکار، اطلاعات پایگاه داده‌ها می‌تواند شامل مقادیر آستانه هشدارها و اعلان‌ها، واسنجی حس‌گرهای هر ایستگاه، ضرایب محاسبه جریان عبوری از دریچه‌ها، سرریزهای اندازه‌گیری و ابعاد فیزیکی سازه‌ها مانند سرریزهای خروجی باشد. نام‌گذاری استاندارد و پیکربندی شناخته‌شده نقش مهمی در توسعه و نگهداری از پایگاه داده‌ها دارند.

با توجه به اهمیت پایگاه داده‌ها در عملکرد کلی سامانه اسکادا، در دسترس‌بودن پایگاه داده‌ها باید تضمین شود. برای محافظت در برابر خرابی‌های هارد دیسک، توصیه می‌شود از یک معماری ذخیره‌سازی کمکی، موسوم به RAID[1] استفاده شود. سامانه‌های RAID از چندین درایو استفاده می‌کنند. این هارد دیسک‌ها را می‌توان با پایه‌های اتصال گرم[2] نصب‌کرد که اجازه خاموش و خارج‌کردن یک درایو غیرفعال را بدون نیاز به خاموش کردن کل سامانه می‌دهد. زمانی که یک درایو جدید درجای قبلی نصب شد، فناوری RAID مکانیسم‌هایی را برای واردکردن مجدد اطلاعات به درایو جدید فراهم می‌کند.

پشتیبان‌گیری متناوب از پایگاه داده‌ها ضروری است. اگرچه پایگاه داده‌ها می‌تواند پیچیده باشد، اما حجم واقعی فایل‌ها که تصویر آنی سامانه را دربر می‌گیرد، با امکانات امروزی فناوری اطلاعات (IT) نسبتا اندک به‌شمار می‌روند.

1- Redundant Array of Inexpensive Drives
2- Hot-sawpping

۵-۳-۲-۴- بانک اطلاعات سوابق و بایگانی

اگرچه پایگاه داده‌ها تصویر وضعیت فعلی سامانه را ذخیره می‌کند، اما ذخیره سوابق اطلاعات نیز مهم است. این اطلاعات می‌تواند با نمایش برای اپراتور در عیب‌یابی به‌کار رود یا برای فرایندها و بازنگری‌های قانونی مهم باشد. بانک‌های اطلاعات سوابق مکانیزم‌هایی را برای بایگانی‌داده‌های قدیمی به‌صورت آفلاین فراهم می‌کنند و با امکان رمزگذاری، اطلاعات پایگاه داده‌ها را برای جلوگیری از دستکاری محفوظ می‌کنند.

۵-۳-۲-۵- هشدارها

هشدار نقطه کانونی عملیات در ایستگاه مرکزی است. معمولا هشدارها از طریق نشان‌گرهای بصری در صفحه نمایش‌گر و نشان‌گرهای شنیداری در مواردی با اولویت بالا، به اپراتور اخطار می‌شوند. بسته به نوع HMI، هشدارها را می‌توان از بانک اطلاعاتی مدیریت‌کرد، یا می‌توان آن را در یک فرایند جداگانه در معماری رایانه مرکز پیاده‌سازی کرد. یکی از منابع هشدار، پایگاه داده‌ها است. نرم‌افزار پایگاه داده‌ها عموما این امکان را دارد که مقادیر مرزی برای عملکرد در «شرایط عادی» در آن‌ها مشخص‌شود. این امکان نیز وجود دارد تا مقادیر مرزی برای شرایط مختلف اضطراری، مانند شرایط حاد، متوسط یا کم تعیین‌گردد. اگر پایگاه داده‌ها، یک مقداری را از یک ایستگاه راه‌دور دریافت‌کند، یا یک مقداری را درون خود پایگاه داده محاسبه کند که خارج از محدوده مرزی شرایط عادی باشد، هشداری را به چندین مقصد ارسال می‌کند. این هشدارها به طور معمول، به دفعات همراه با صدای مشخص یا زنگ برای اپراتور تکرار می‌شود.

هشدارها ممکن است به دستگاه‌های دیگری، مانند چاپ‌گر، یا به صورت پست‌الکترونیک، یا به‌شکل پیام صوتی تولیدشده توسط رایانه یا پیام متنی به تلفن‌های مختلفی ارسال شود. روند ارسال این هشدارها یا از طریق مکانیزم داخلی پایگاه داده‌ها، یا از طریق یک نرم‌افزار سومی انتخاب می‌شود. منبع دیگر هشدارها، زیرساخت‌های ارتباطی هستند. برای مثال درصورت توقف ارتباطی یک ایستگاه راه‌دور، پرسنل مربوطه از جمله مدیران، تکنسین‌های اسکادا و حتی اپراتورها می‌توانند از اوضاع مطلع شوند.

۵-۳-۲-۶- گزارش‌ها

رابط‌های انسان-ماشین روش‌های مختلفی را برای تولید گزارش ارائه می‌دهند. نرم‌افزار HMI می‌تواند در بازه‌های زمانی مشخص، الگوهای گزارش تعریف‌شده‌ای را با داده‌های دریافتی تکمیل کرده و ارائه دهد. به‌علاوه، بسیاری از بسته‌های HMI امکان تولید فرمت‌های فایلی مختلفی را برای استفاده در صفحات گسترده و سایر نرم‌افزارهای مدیریتی ارائه می‌دهند.

۵-۳-۲-۷- زیرساخت‌های امنیتی و تامین انرژی

نرم‌افزار HMI؛ سطوح مختلفی از امنیت را با تعیین نحوه دسترسی به امکان تغییر مقادیر، مشاهده اطلاعات، یا صدور اقدامات کنترلی برای کاربرها یا گروه‌های مشخص‌شده ارائه می‌کند. برخی از رابط‌های انسان-ماشین، سطوح

مختلف امنیت را بر اساس نام‌های کاربری، کلمه عبور یا گروه‌بندی مشخصی از کاربران، از طریق وارد کردن اطلاعات کاربری برای ورود به سامانه در محیط نرم‌افزار اعمال می‌کنند. بسته‌های دیگری، امنیت را بر اساس چارچوب ارائه شده توسط سامانه‌عامل، مانند امنیت ارائه شده در Microsoft Windows، پایه‌گذاری می‌کنند؛ این حالت هنگامی که میز کار اپراتور یک دستگاه چند منظوره برای انجام سایر کارهای روزانه سازمان نیز هست، مزیت دارد. در این حالت، با ورود هر اپراتور به صفحه کاربری خودش از طریق سامانه عامل، تنظیمات شخصی‌سازی شده کاربر مانند اطلاعات ورود به ایمیل و دسکتاپ برای هر کاربر آماده خواهد بود.

امنیت فیزیکی زیرساخت‌های حیاتی علاوه بر امنیت IT در سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده است. سطح مناسب امنیت در شرایط مختلف، متفاوت است. در برخی موارد، توصیه می‌شود زیرساخت‌های IT اسکادا، در یک زیرشبکه جداگانه‌ای محفوظ شود.

تامین انرژی و برق؛تامین برق در ایستگاه مرکزی امری حیاتی است. برخی از دفاتر آبیاری در مکان‌های دور، با احتمال قطعی متناوب برق قرار دارند و برخی نیز در مناطقی با تامین برق پایدار مستقر هستند. به‌هرحال توصیه می‌شود تمام تجهیزات ایستگاه مرکزی، به نوعی به منبع تغذیه اضطراری متصل باشند که می‌تواند یک ژنراتور اضطراری پشتیبان یا باتری باشد.

۵-۳-۲-۸- نرم‌افزارهای مورد نیاز

اگرچه بخش عمده امکان تعامل اپراتور را HMI تشکیل می‌دهد، اما بخش‌های دیگری مانند، دریافت سفارش‌های تحویل آب و سامانه‌های اداری و مالی نیز وجود دارد که می‌تواند در مجموعه نرم‌افزارهای مورد استفاده در ایستگاه مرکزی گنجانده شوند. این فعالیت‌ها را می‌توان از طریق استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری تکمیلی تسهیل کرد. نرم‌افزار مدیریت تقاضا، اجازه ورود اطلاعات مربوط به سفارش مشتری را می‌دهد. درخواست‌ها یا توسط اپراتورها در منطقه با لپ‌تاپ یا تبلت یا با تلفن در مرکز دریافت شده و سپس در این نرم‌افزار بارگذاری می‌شود یا به طور مستقیم و از طریق اینترنت توسط مدیران مزارع و آب‌بران ثبت می‌شود. بعد از مرحله ثبت، مشتریان به طرق مختلف، مانند پیامک یا ایمیل، تاییدیه ثبت درخواست‌شان را دریافت می‌کنند یا از تغییر زمان‌بندی آن، مطلع می‌شوند. همچنین گنجاندن نرم‌افزارهای مدیریت مالی، به صدور قبوض یا صورت‌حساب، پیگیری پرداخت‌ها و کنترل ترازهای مالی کمک می‌کند. همچنین بسته‌های نرم‌افزارهای «کنترل پیش‌خوردی» و «کنترل بازخوردی خودکار مرکزی» را می‌توان برای کنترل سامانه آبیاری، در کنار HMI نصب‌کرد.

۵-۳-۳- انتخاب بسترهای مخابراتی

اصول و مبانی مخابرات سامانه کنترل در بند ۴-۱۳- به تفصیل توضیح داده شده است. اما در مورد انتخاب بستر مخابراتی مناسب برای خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، نیاز به بررسی و مدنظر قراردادن معیارها و ملاحظات زیر دارد. این ملاحظات باید قبل از انتخاب بستر مخابراتی در نظر گرفته شده و ارزیابی گردد.

- تعیین استراتژی و نحوه بهره‌برداری از شبکه آبیاری
- تعیین موقعیت نقاط نصب تجهیزات کنترل و خودکارسازی
- تعیین موقعیت ایستگاه اصلی
- تعیین تعداد کنترل کننده‌های خودکار محلی یا RTUها
- نحوه جمع‌آوری و سرعت انتقال اطلاعات داده‌ها
- تعیین نیازها و سطح انتظارات از بستر مخابراتی برای قابل اعتماد کردن عملکرد شبکه آبیاری
- برآورد هزینه و عمر مفید بستر مخابراتی
- بررسی امکان بهره‌گیری و قابلیت بسترهای مخابراتی موجود

نحوه طراحی، نصب و کیفیت نگهداری تجهیزات مرتبط با بستر مخابراتی (که امکان برقراری ارتباط بین تمامی اجزا را فراهم می‌کنند) موفقیت کلی پروژه خودکارسازی شبکه آبیاری را تعیین خواهد نمود. انواع بسترهای مخابراتی مناسب برای خودکارسازی شبکه‌های آبیاری به شرح زیر است:

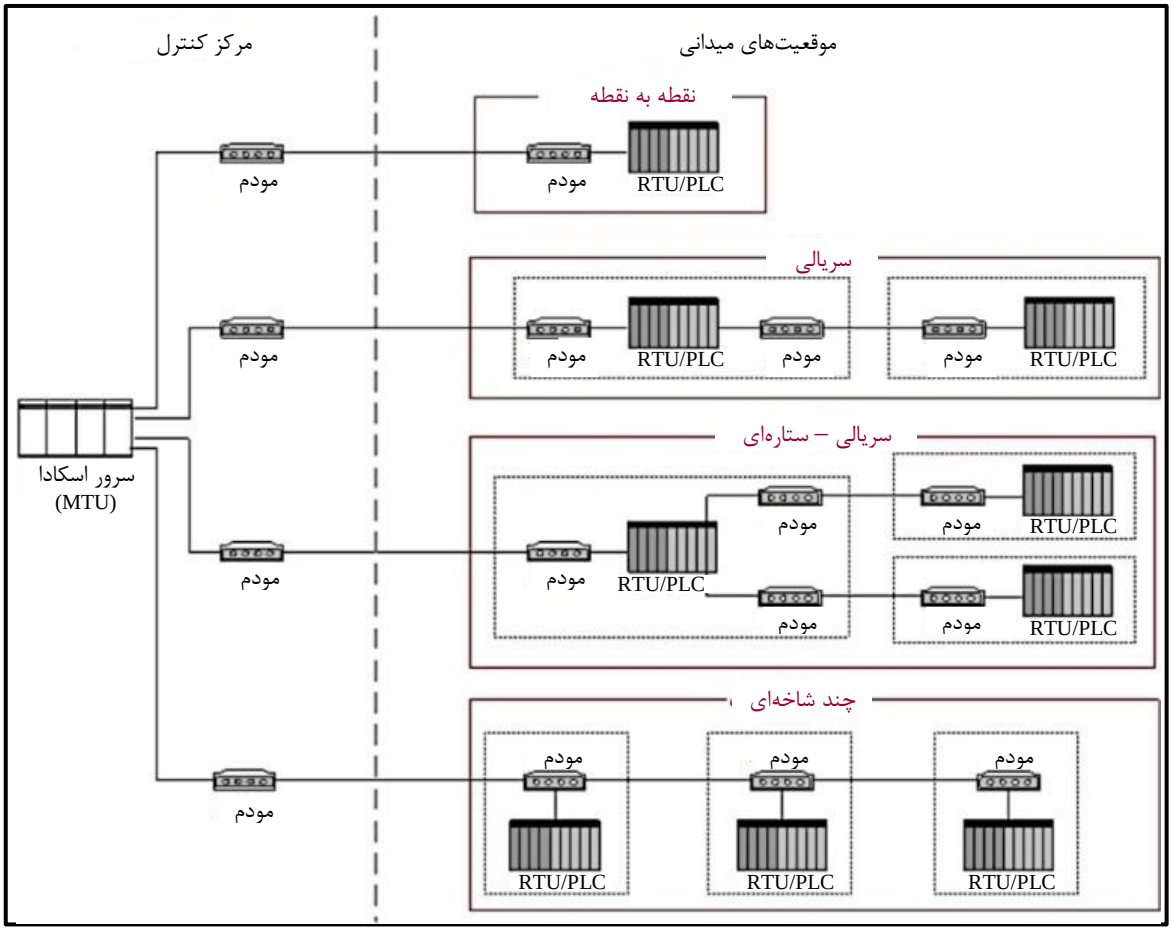
- تک کانال رادیویی VHF (۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز)
- تک کانال رادیویی UHF (۳۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز)
- ماکروویو (۳ تا ۳۰ گیگا هرتز)
- کابل فلزی (۴ تا ۱۰۰ زوج)
- کابل فیبر نوری (دولایی)

ساختار ارتباطات ایستگاه‌های مرکزی و راه‌دور، متغیر هستند. ساختارهای متعدد به‌کارگرفته شده، از جمله نقطه به نقطه[1]، سریالی[2]، سریالی- ستاره‌ای[3] و چند شاخه‌ای[4] در شکل (۵-۳) نشان‌داده شده‌اند. ساختار نقطه به نقطه در عمل ساده‌ترین نوع است، اما به‌دلیل کانال‌های اختصاصی مورد نیاز برای هر اتصال، بسیار پرهزینه می‌شود. در یک ساختار

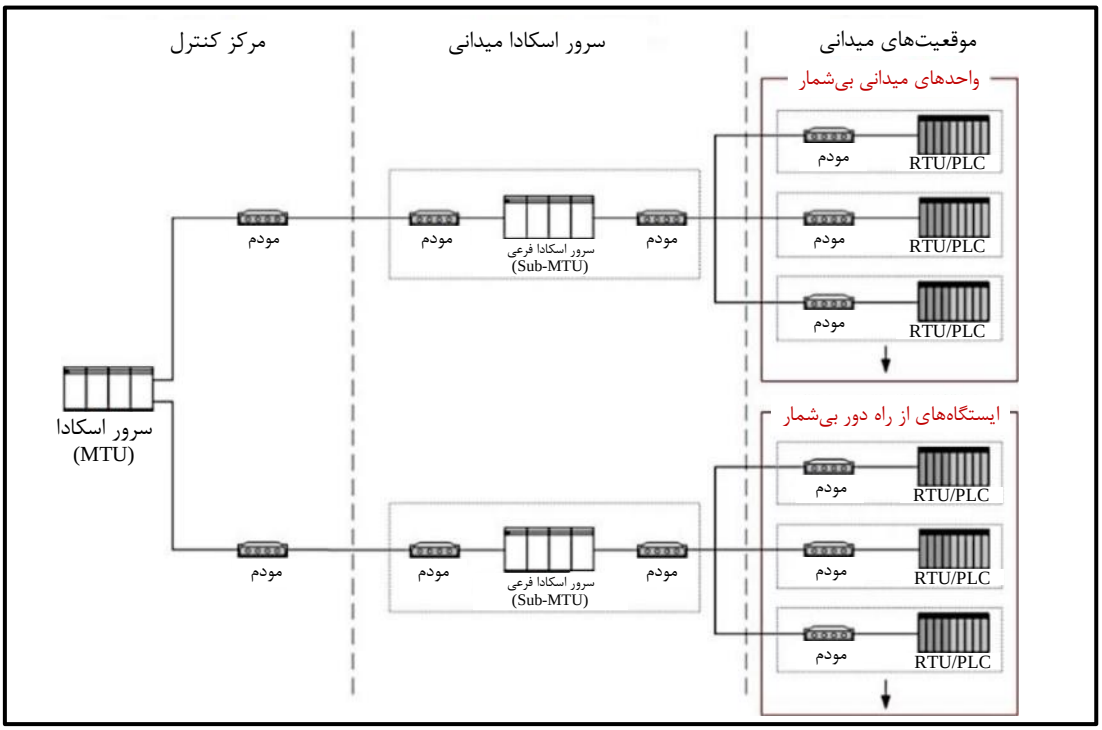
1- Point to Point
2- Serial
3- Serial-Star
4- Multi Droup

سریالی، تعداد کانال‌های به‌کار گرفته شده، کاهش می‌یابد اما کانال اشتراکی، بر بازدهی و پیچیدگی عملیات اسکادا تاثیر می‌گذارد. همچنین استفاده از یک کانال در هر وسیله برای ساختارهای سریالی-ستاره‌ای و چند شاخه‌ای، منجر به کاهش بازدهی و افزایش پیچیدگی سامانه می‌شود.

سامانه‌های بزرگ اسکادا که حاوی صدها RTU هستند بیش‌تر جهت کاهش بار در واحد رایانه‌ای مرکز اصلی از واحدهای رایانه‌ای فرعی استفاده می‌کنند. این نوع پیکربندی در شکل (۵-۴) نشان داده شده‌است.



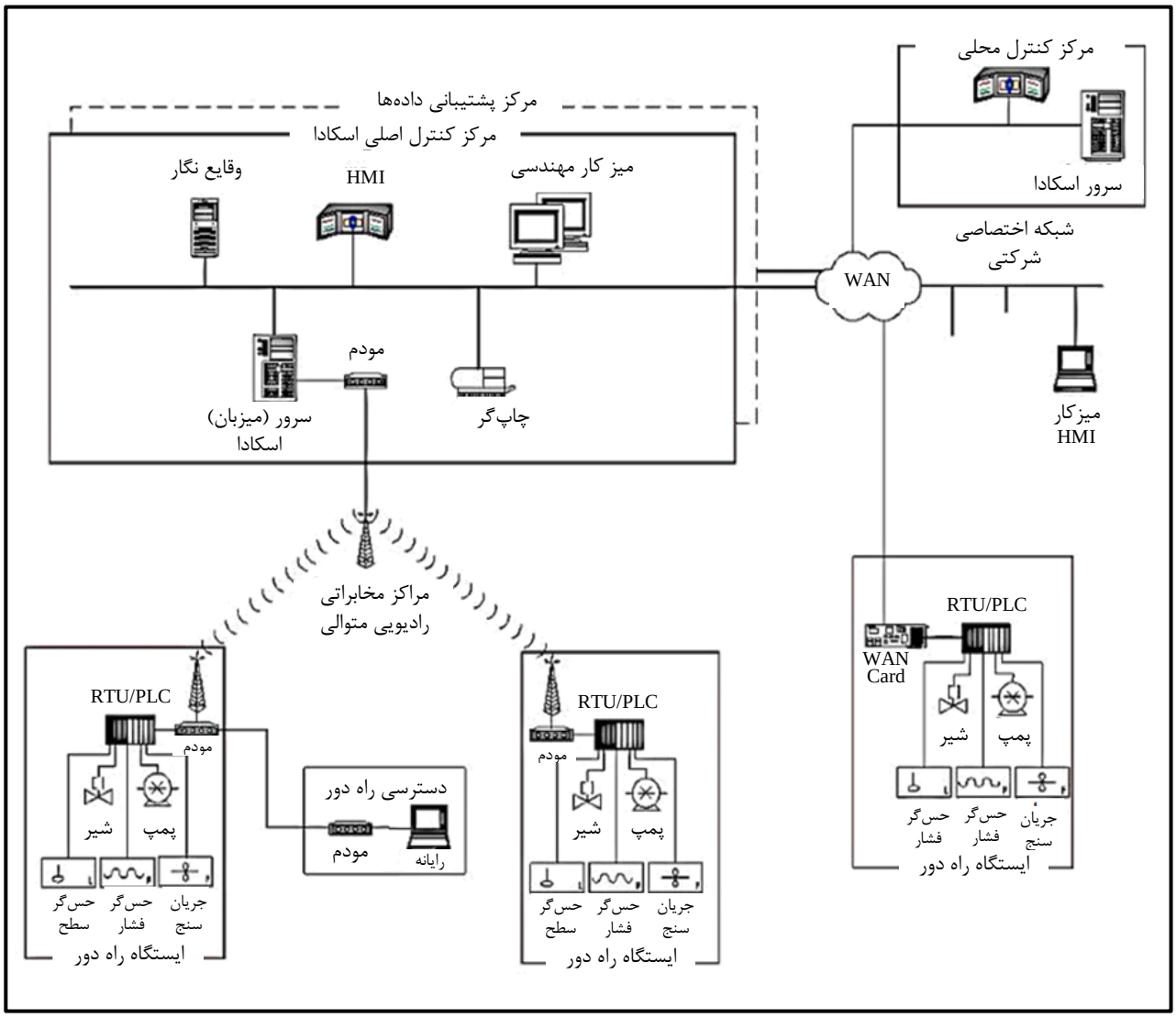
شکل ۵-۳- پیکربندی (توپولوژی) پایه‌ای ارتباطات در یک سامانه اسکادا



شکل ۵-۴- پیکربندی (توپولوژی) ارتباطات در یک سامانه بزرگ اسکادا

شکل (۵-۵) نمونه‌ای از یک شکل پیاده‌سازی سامانه اسکادا را نشان می‌دهد. این سامانه اسکادا متشکل از یک مرکز کنترل اصلی و سه ایستگاه کاری است. مرکز پشتیبانی داده‌ها، در صورت بروز خرابی در مرکز کنترل اصلی، به عنوان پشتیبان عمل می‌کند. از اتصالات نقطه به نقطه برای تمام ارتباطات مرکز کنترل و ایستگاه‌های کاری راه‌دور، با دو اتصال تله‌متری رادیویی، استفاده می‌شود. ایستگاه کاری سوم، به ایستگاه مرکزی نزدیک است و از شبکه گسترده WAN[1]جهت ارتباط استفاده می‌کند. یک مرکز کنترل محلی[2] به منظور کنترل نظارتی سطح بالاتر، در بالای مرکز کنترل اصلی قرار می‌گیرد. این شبکه شرکت بهره‌برداری از طریق WAN به کلیه مراکز کنترل دسترسی دارد و به ایستگاه‌های کاری راه‌دور نیز برای عملیات عیب‌یابی و تعمیرات به صورت تله‌متری دسترسی پیدا می‌کند. مرکز کنترل اصلی، از ایستگاه کاری برای دریافت اطلاعات و داده‌ها در فواصل تعریف‌شده (مانند، ۵ ثانیه، ۶۰ ثانیه و ...) درخواست می‌فرستد و درصورت نیاز می‌تواند مقادیر هدف جدیدی را به ایستگاه‌های کاری ارسال نماید. کلاینت مرکز اسکادا علاوه بر درخواست و ارسال فرمان‌های سطح بالا، بر هشدارهای با اولویت بالا که از ایستگاه‌های کاری ارسال می‌شوند نظارت دارد.

1- Wide Area Network
2- Regional Control Center



شکل ۵-۵- نمودار پیاده‌سازی سامانه اسکادا (نظارت و کنترل توزیعی)

۵-۴- خصوصیات سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری اطلاعات

سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری اطلاعات (اسکادا) با توجه به سطح کاربرد آن‌ها در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری، پیچیدگی زیادی دارد. در این بخش بعضی خصوصیات مهم سامانه‌های اسکادای پیچیده مورد بحث قرار خواهد گرفت. با توجه به معرفی نمودن سطوح مختلف سامانه کنترل نظارتی و ضوابط مربوط در بخش قبلی، در ادامه سامانه‌های کمابیش پیچیده اسکادا در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۵-۵- کاربرد روش‌های کنترل

در این بخش چهار روش کنترل مورد بحث قرار خواهد گرفت. استفاده از انواع روش‌های کنترل نظارتی بر اساس محدودیت‌های بهره‌برداری، تجهیزات، نیازها و عملکردهای مورد انتظار از سامانه و الگوریتم کنترل است.

روش‌های کنترل عبارت است از:

- نظارتی دستی[۱]
- نظارتی خودکار[۲]
- هدایت شده توسط رایانه[۳]
- بهینه‌سازی[۴]

۵-۵-۱- نظارتی دستی

در سامانه کنترل نظارتی دستی، متصدی مستقر در ایستگاه اصلی، تجهیزات و سازه‌های تحت کنترل شبکه آبیاری را به صورت دستی کنترل می‌کند. واحدهای راه‌دور (RTU) در هر یک از نقاط و ایستگاه‌های راه‌دور، با توجه به فرامین ارسال شده توسط اپراتور از ایستگاه اصلی، عملیات لازم از جمله باز و بسته کردن دریچه و روشن و خاموش کردن تجهیزات را به سازه‌های قابل کنترل اعمال می‌کنند.

در این نوع کنترل، متصدی باید متغیرهای سامانه کنترل را بررسی کند تا بتواند بر اساس آن‌ها عملکرد مناسب برای بهره‌برداری شبکه آبیاری را محاسبه نموده و از طریق واحدهای راه‌دور به تجهیزات شبکه آبیاری اعمال کند. سامانه کنترل نظارتی دستی، در شبکه‌های آبیاری با استراتژی بهره‌برداری کمابیش ساده قابل استفاده بوده و برای تجهیزاتی که عملکرد آن‌ها قابل پیش‌بینی است، کاربرد دارد. کلیه اطلاعات لازم برای گرفتن تصمیم مناسب توسط متصدی مستقر در ایستگاه اصلی، به نحوه عملکرد حس‌گرها به عنوان اندازه‌گیرهای پارامتراهای مورد نیاز و تجهیزات واحدهای راه‌دور به عنوان جمع‌آوری‌کننده و ارسال‌کننده‌های این سیگنال‌ها بستگی دارد. چون این اطلاعات مبنای تصمیم‌گیری توسط متصدی است، از این‌رو پایش داده‌ها و اطلاعات در واحدهای راه‌دور باید شکل و قالب شفاف و روشنی داشته باشند.

کنترل تجهیزات واحدهای راه‌دور توسط ایستگاه اصلی از طریق بسترهای مخابراتی، به کنترل‌کننده‌های اصلی و فرعی[۵] معروف است. دلیل این نام‌گذاری این است که سخت‌افزار فرایند کنترل و نرم‌افزار مربوطه در یک مکان قرار ندارند. تصمیمات کنترلی در مرکز کنترل[۶] گرفته می‌شود و از طریق کنترل‌کننده فرعی[۷] به تجهیزات و سازه‌های تحت کنترل در شبکه‌های آبیاری اعمال می‌گردد.

1- Supervisory / Manual
2- Supervisory / Automatic
3- Computer Directed
4- Optimization
5- Client and Server
6- Client
7- Server

۵-۵-۲- نظارتی خودکار

کنترل خودکار تجهیزات و سازه‌های قابل کنترل شبکه آبیاری به وسیله عملکرد واحدهای راه‌دور (RTU/PLC) و بدون دخالت ایستگاه اصلی به روش کنترل نظارتی خودکار معروف است. هر واحد راه‌دور، با استفاده از تجهیزات قابل کنترل شبکه آبیاری، پارامترهای تحت کنترل را در موقعیت یا نقطه هدف مورد نظر تنظیم می‌نماید و این وضعیت بر حسب شرایط (به استثنای موارد بحرانی) بدون دخالت متصدی برقرار خواهد بود. برای تامین دقت و افزایش عملکرد سامانه کنترل نظارتی خودکار، باید اطلاعات و داده‌های مورد نیاز سامانه از سطح شبکه جمع‌آوری و پایش گردد. تمامی هشدارها باید جمع‌آوری و ثبت شود و سپس با بررسی دقیق آن‌ها تصمیم‌گیری لازم توسط سامانه کنترل نظارتی خودکار صورت گیرد، به طوری که متصدی مستقر در ایستگاه اصلی از هشدارهای ارسالی نقاط و تمامی عملکردهای سامانه کنترل آگاهی داشته باشد. اپراتور می‌تواند در مواقع لزوم تنظیمات سامانه هشدار و محدوده نقطه هدف برای پارامترهای مورد کنترل[1] را تغییر دهد.

۵-۵-۳- هدایت شده توسط رایانه

در این روش، محاسبات مربوط به کنترل خودکار تجهیزات شبکه آبیاری، به وسیله پردازش سامانه‌های رایانه‌ای مستقر در ایستگاه اصلی صورت گرفته و از طریق تجهیزات مخابراتی و RTUها به نقاط مربوطه ارسال و اعمال می‌گردد. در روش کنترل نظارت رایانه‌ای به جز در مواقع ضروری هیچ‌گونه نیازی به دخالت اپراتور وجود ندارد. در این روش، عملکرد هریک از واحدهای راه‌دور از طریق ایستگاه اصلی رصد می‌شود. رایانه ایستگاه اصلی محاسبات مربوط به کنترل سامانه را در قالب الگوریتم تدوین شده و با استفاده از اطلاعات و داده‌های دریافتی از شبکه آبیاری انجام می‌دهد و فرمان‌های کنترلی لازم را بر اساس زمان‌بندی پیش‌بینی شده به واحدهای راه‌دور ارسال می‌کند. در این حالت فرایند کنترل می‌تواند برای دوره‌های زمانی طولانی بدون هیچ دخالتی از ایستگاه اصلی اعمال شود.

واحدهای راه‌دور می‌توانند هم در حالت نظارتی دستی و هم در حالت نظارتی خودکار که سامانه از طریق رایانه فرمان می‌گیرد، فعالیت نمایند. برای مثال یک برنامه زمان‌بندی می‌تواند بر اساس پارامترهای کارکرد تجهیزات یا بر اساس متغیرهای سامانه کنترل انجام شود. اگر برنامه زمان‌بندی نقطه کار هر یک از تجهیزات را مشخص نماید در این صورت RTU در حالت نظارتی دستی مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت. اگر برنامه زمان‌بندی پارامترهای کنترلی از جمله مقدار آبدهی و سطح آب را تامین نماید، نیازمند این است که RTU برای رسیدن به آبدهی یا سطح آب مورد نظر در حالت نظارت خودکار مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

1- Dead Band

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در این حالت مشابه نیازهای خواسته شده برای حالت عملکرد نظارتی خودکار خواهد بود. به منظور به‌دست آوردن وضعیت دقیق، اطلاعات سامانه مورد نیاز است تا بتوان محاسبات لازم برای کارکرد مناسب تجهیزات را فراهم نمود. این اطلاعات ممکن است همیشه در سایت‌های راه‌دور موجود نباشد و برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز وجود تجهیزات اضافی در سایت‌های راه‌دور لازم شود. بهینه‌سازی کنترل به همان روش کنترل رایانه‌ای[1] اشاره دارد. در این حالت عملکرد سامانه بهینه‌سازی می‌شود تا حصول عملکرد با بازده بالا تامین گردد (ر.ک. ۴-۹-۲).

روش بهینه‌سازی در طول عملکرد سامانه نیازی به دخالت اپراتور ندارد. اگر خواسته‌های سامانه طوری باشد که روش بهینه‌سازی نتواند نیازهای پروژه را تامین کند، روش رایانه‌ای به صورت خودکار جایگزین شده و اپراتور مطلع می‌شود که روش بهینه‌سازی دیگر کارایی ندارد. در این حالت اپراتور می‌تواند تنظیمات عملکرد تجهیزات را برای بهترین کارکرد اصلاح نماید. به علاوه در صورتی که در طول فرایند کنترل بهینه‌سازی، یک وضعیت اضطراری رخ دهد این اتفاق باعث می‌شود که حالت بهینه‌سازی به صورت خودکار به وضعیت کنترل رایانه‌ای تغییر یابد. در تمام مواقع، شروع به کار پروسه کنترل بهینه‌سازی و همچنین متوقف کردن آن توسط اپراتور به صورت دلخواه امکان‌پذیر است.

نیاز به جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات برای بهینه‌سازی مانند روش کنترل رایانه‌ای خواهد بود. اطلاعات اضافی مورد نیاز برای بهینه‌سازی شامل توان نامی[2] تجهیزات و اطلاعات مربوط به بازده تجهیزات مذکور است.

۵-۶- نیازهای اجرای سامانه اسکادا

سامانه اسکادا محدوده وسیعی دارد، از سامانه‌هایی که دارای یک رایانه اصلی و تعدادی واحد راه‌دور است تا سامانه‌هایی که دارای مجموعه‌ای از رایانه‌ها با صدها واحد RTU متصل تحت شبکه‌های پیچیده مخابراتی هستند. در طراحی سامانه اسکادا، طراح باید چندین معیار اصلی در رابطه با پروژه را قبل از طراحی سامانه کنترل، مدنظر قرار دهد. معیارهای ضوابط اصلی طراحی به شرح زیر ارائه شده‌اند.

1- Computer Directed
2- Rating

۵-۶-۱- زمان عکس‌العمل سامانه

زمان عکس‌العمل سامانه[1] برای دو فاصله زمانی جداگانه تعریف می‌شود، یکی برای کنترل و جمع‌آوری اطلاعات و دیگری برای زمان به‌روزرسانی اطلاعات سامانه. زمان در نظر گرفته شده برای جمع‌آوری اطلاعات و کنترل به دوره زمانی مورد نیاز برای ایستگاه مرکزی برای کسب اطلاعات کلیه واحدهای راه‌دور بستگی دارد.

زمان به‌روزرسانی اطلاعات سامانه به زمان مورد نیاز ایستگاه مرکزی برای ثبت اطلاعات جمع‌آوری شده از واحدهای راه‌دور در پایگاه داده‌ها و اصلاح داده‌های سامانه به منظور به‌روز رسانی آخرین اطلاعات اسکن شده اطلاق می‌شود. معمولا زمان به‌روزرسانی اطلاعات برای سامانه‌های کنترل آبی می‌تواند در دامنه ۰/۵ ثانیه تا ۵ ثانیه اتفاق افتد و از این‌رو زمان عکس‌العمل سامانه می‌تواند در محدوده ۱/۵ ثانیه تا ۱۰ دقیقه تعریف شود.

این موضوع بسیار مهم است که پایش اطلاعات و داده‌ها و نیازهای کنترلی برای هر یک از سایت‌های راه‌دور و همچنین ایستگاه مرکزی و سامانه مخابراتی طوری طراحی شود تا زمان عکس‌العمل مناسب برای هر یک از واحدهای راه‌دور به منظور برقراری ارتباط با مرکز کنترل تعیین گردد. همچنین این موضوع بسیار مهم است که اطلاعات و داده‌ها در ایستگاه مرکزی چگونه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. اطلاعات پایش شده می‌باید در دفعات مناسب جمع‌آوری شود تا باعث اصلاح اطلاعات سامانه و تعیین زمان عکس‌العمل فرایند کنترل گردد. برای مثال اگر داده‌های آبدهی در روش کنترل بهینه‌سازی به صورت مستقیم و برخط مورد استفاده قرارگیرد، این اطلاعات باید در دفعات منظم و بدون اختلال برای کنترل سامانه جمع‌آوری شود.

۵-۶-۲- نیازهای در دسترس بودن

در دسترس‌بودن[2] به شکل زیر توصیف می‌شود:

Availability (A) = Uptime/ (uptime+downtime)

زمان uptime مجموعه زمانی است که در دسترس بودن سامانه را اندازه‌گیری می‌کند و زمان downtime زمانی است که عملکرد نرمال سامانه قابل بهره‌برداری نباشد.

معمولا عملکرد نرمال سامانه زمانی قطع می‌شود که مشکلات سخت‌افزازی یا نرم‌افزاری به وجود آید. برای نشان دادن قابل اطمینان بودن سامانه و نگه‌داشت[3] سامانه در دسترس بودن مجموعه‌های اصلی تجهیزات را می‌توان بر اساس زمان متوسط مابین خطاها[4] (MTBF) و زمان متوسط مابین تعمیرات[5] (MTTR) به شرح زیر تعریف نمود:

1- System Response Time
2- Availability
3- Maintainability
4- Mean Time Between Failure
5- Mean Time To Repair

$$A = MTBF / (MTBF+MTTR)$$

اهداف طراحی برای به دست آوردن قابلیت اطمینان بالای سامانه به این قرار است:

۱- به حداقل رساندن فاصله زمانی مابین هر یک از خطاهای مولفه‌های سامانه و فراخوانی برای انجام سرویس‌های نگهداری (زمان تعریف‌شده اداری)

۲- به حداقل رساندن فاصله زمانی مابین فراخوانی برای سرویس نگهداری و حضور فیزیکی پرسنل نگهداری در سایت با تجهیزات و قطعات لازم برای تعویض (زمان تعریف شده ترانسپورت)

۳- به حداقل رساندن زمان مورد نیاز برای تعویض یا تعمیر تجهیزات از مدار خارج شده و برگرداندن آن‌ها به وضعیت کارکرد عادی (زمان تعریف شده تعمیر)

برای سامانه‌های اسکادای مبتنی بر سامانه رایانه‌ای، عدد در دسترس بودن سامانه در دامنه ۹۵٪ تا ۹۹/۵٪ قرار خواهد گرفت. پیکره‌بندی سامانه، مجموعه قطعات یدکی و نوع نگهداری از سامانه تعیین‌کننده مستقیم عدد مذکور است. این موضوع بسیار پر اهمیت است که مسوولین خودکارسازی چه زمانی را برای خارج از سرویس بودن ایستگاه مرکزی تعریف خواهند کرد. زمان خارج از سرویس بودن بر مبنای نیاز کلی سامانه تعیین خواهد شد. پس از تعیین زمان خارج از سرویس بودن سامانه، پیکره‌بندی سامانه تعریف و تجهیزات سامانه کنترل بر اساس نیازهای در دسترس‌بودن سامانه طراحی خواهد شد.

۵-۶-۳- نیازهای امنیت سامانه

سامانه اسکادا به نحوی طراحی می‌شود که عملکرد تجهیزات در سایت‌های راه‌دور از طریق شبکه‌های مخابراتی امکان‌پذیر باشد. به علت این‌که اطلاعات سامانه کنترل از طریق شبکه مخابراتی ارسال می‌شود، یک نوع امنیت اطلاعاتی مورد نیاز خواهد بود تا از عملکرد غیرصحیح تجهیزات نقاط راه‌دور جلوگیری شود. عموما دو نوع امنیت اطلاعاتی در سامانه‌های اسکادا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- امنیت پیغام‌ها

۲- انتخاب توالی عملکرد، قبل از شروع به کار سامانه

امنیت پیغام‌ها، فرایندی است متصل به یک کد امنیتی برای کلیه پیغام‌هایی که از طریق شبکه مخابراتی ارسال می‌گردد. روش‌های امنیتی باید درجه بالایی از حفاظت در مقابل خطاهای پیغام‌های دریافتی از طریق RTUها را ایجاد نمایند، در عین حالی که سرعت بالای ارسال اطلاعات را نیز به صورت پایدار نگهدارند.

بیش‌ترین و معمول‌ترین روش امنیتی پیغام که به وسیله سامانه اسکادا فراهم می‌شود روش ذخیره‌ای کد افزونگی دوره‌ای[1] است. کد امنیتی با دو بایت، خطاهای پیغام‌های یک یا دو بایتی را در پیغام‌های چندین بایتی تشخیص می‌دهد. پیغام‌های طولانی می‌بایستی در بسته‌های ۲۵۶ بایتی ارسال شود. بازدهی ارسال پیغام را می‌توان به شرح زیر تعریف نمود:

- بازدهی (راندمان) پیغام: Message efficiency = (TMB - (SB+OB)) / TMB
- مجموع بایت‌های پیغام: TMB (Total Message Bytes)
- بایت‌های امنیتی: SB (Security Bytes)
- بایت‌های بالاسری: OB (Overhead Bytes)

بازده پیغام‌ها برای پیغام‌های کوتاه باید بالاتر از ۵۵٪ باشد. پیغام‌های کوتاه پیغام‌هایی است کوچک‌تر از ۱۷ بایت، پیغام‌های برگشتی از RTUها که فاقد اطلاعات عملکردی است نباید در تعیین بازده پیغام‌ها مدنظر قرار گیرد. به جز نکات امنیتی اشاره شده، موارد زیر باید به عنوان بخشی از سامانه جامع امنیتی مدنظر قرار گیرند.

۱- یک پیغام خطا نباید باعث ایجاد خطای بحرانی در سامانه گردد.

۲- در صورتی که RTU از دریافت یا ارسال پیغام معتبر عاجز شده باشد باید یک خبر معین در دسترس اپراتور قرار گیرد.

۳- عملکرد مناسب کانال‌های مخابراتی باید بر پایه یک روش مورد استفاده نرمال یا یک وسیله یک پیغام آزمایشی مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد.

۴- استفاده از یک بخش از خط مخابراتی یا کانال‌های مخابراتی سوئیچ شده یا هر دو، باید خیلی با دقت تعریف شود. به طور مثال دو عدد RTU با آدرس مشترک نمی‌توانند در یک کانال مخابراتی تسهیم شوند.

۵-۶-۴- میزان دقت

اطلاعاتی که باید در سراسر سامانه پایش شوند، نیازمند میزان دقت بالایی خواهند بود. میزان دقت[2] به وسیله مولفه‌های سخت‌افزاری که می‌تواند مورد استفاده بخشی از سامانه واقع شود، تعریف خواهد شد.

بازدهی قابل حصول به وسیله تجهیزات مبتنی بر رایانه، معمولا خیلی بیش‌تر از ترانسدیوسرهای متداول، است. بنابراین درجه دقت برای هر یک از ترانسدیوسرها، باید بر اساس نیازهای اطلاعاتی سراسر سامانه مشخص شود.

1- Cyclical redundance check-16
2- Accuracy

۵-۶-۵- شرایط اقلیمی محیط کار

شرایط اقلیمی محیط کار برای سامانه اسکادا و تجهیزات آن باید تعریف شده باشد تا طراح بتواند تصمیمات لازم برای طراحی بر اساس نیازهای عملکرد تجهیزات را اتخاذ نماید. درجه حرارت محیط و شرایط رطوبت محیط برای ایستگاه مرکزی و واحدهای راه‌دور باید تعریف شود تا تجهیزات تکمیلی لازم برای سامانه تهویه مطبوع و حرارتی پیش‌بینی گردد. بیش‌تر مراکز کنترل رایانه‌ای و تجهیزات مربوط آن‌ها در مقابل تغییرات درجه حرارت و رطوبت نسبی حساس بوده بنابراین شرایط محلی برای آن‌ها باید تنظیم‌شده باشد.

برای واحدهای راه‌دور معمولا تجهیزات تهویه مطبوع مورد نیاز نیست، هرچند که ممکن است تجهیزات حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. معمولا مشخصات محیطی برای RTUها به شرح زیر خواهد بود:

- رطوبت نسبی ۰ تا ۹۵ درصد
- دمای محیط از ۱۰- تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد

محیطی که تجهیزات در آن مستقر می‌شوند یکی از مهم‌ترین فاکتورهای طراحی است. در ایستگاه مادر، تجهیزات می‌بایست از طریق یک منبع تامین انرژی که به خوبی تنظیم‌شده و کاملا پایدار باشد تغذیه گردند. نحوه کار معمول نصب یک مرکز، شامل فیلترها، رگولاتورها، مانیتورها و سامانه توزیع که به طور خاص برای رایانه‌ها و محیط‌های رایانه‌ای و وسایل پیرامونی آن طراحی شده باشد خواهد بود.

مرکز و منبع تامین انرژی، تجهیزات ایستگاه مادر را در مقابل نوسانات ولتاژ ورودی سامانه، نویز (پارازیت) شوک‌های ولتاژ و شرایط تداخل امواج رادیویی و الکترومغناطیس محافظت می‌نماید.

واحدهای راه‌دور که دارای ارتباط با تجهیزات سایت‌های راه‌دور هستند، باید در مقابل تغییر ناگهانی ولتاژ[1]، ولتاژهای ناپایدار، اضافه ولتاژ، شرایط اتصال کوتاه و ولتاژهای الکترواستاتیک، روی رابط‌های مدارهای کنترل حفاظت گردند. قابلیت تحمل شوک‌های ولتاژی در استاندارد ANSI/IEEE C37.90.1 تعریف‌شده است و کلیه مدارات استفاده شده در RTU که متصل به تجهیزات سایت راه‌دور است، بر اساس این استاندارد حفاظت می‌گردند.

1- Surge

فصل ۶

شاخص‌های مدیریتی، فرهنگی–اجتماعی در انتخاب خودکارسازی شبکه‌های آبیاری

۶-۱- مقدمه

در عمل نقطه برداشت آب از منبع آب یا نقاط تحویل آب از کانال‌های درجه دو به کانال‌های درجه سه، نقطه تعامل و ارتباط بین نهاد بهره‌برداری و نگهداری شبکه اصلی و شبکه فرعی است. رویکردهای متفاوت در خصوص ایجاد و راه‌اندازی سازمان‌های بهره‌برداری و نگهداری، عموما منجر به تعارضات مدیریتی در خصوص بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های احداثی شده و در عمل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری را برای ذی‌نفعان نهایی شبکه‌ها (مصرف‌کنندگان آب کشاورزی) افزایش خواهد داد.

خودکارسازی شبکه آبیاری بی‌تردید تغییراتی را در ساختار تشکیلات، تعداد و کیفیت نیروهای انسانی سازمان بهره‌برداری و نگهداری شبکه آبیاری ایجاد خواهد نمود. مدیران سازمان مسوولیت تعیین این تغییرات و تحولات را برعهده دارند. از این‌رو ضرورت دارد در مورد خودکارسازی، شاخص‌های لازم از این منظر انتخاب و به‌کار برده شود.

۶-۲- شاخص‌های تعیین ساختار مدیریتی

۶-۲-۱- طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری و زهکشی برحسب انواع سازه‌ها و تاسیسات

در جدول (۶-۱)، شبکه‌های آبیاری و زهکشی برحسب انواع سازه‌ها و تاسیسات آبیاری به دسته‌های مختلفی طبقه‌بندی شده است. در این جدول، سازه‌ها و تاسیسات زهکشی منظور نشده است. در جدول (۶-۱) ملاحظه می‌شود که هرچه از شبکه آبیاری نوع (A) به سمت نوع (E) حرکت می‌کنیم، پیچیدگی شبکه آبیاری به سمت شبکه آبیاری ساده‌تر تغییر می‌یابد، به بیان دیگر سطح پیچیدگی سازمان بهره‌برداری و نگهداری نیز ساده‌تر می‌شود. به این ترتیب مطابق جدول (۶-۲)، هر چه از شبکه آبیاری در نوع (E) به سمت شبکه آبیاری در نوع (A) (شبکه آبیاری ساده‌تر به پیچیده‌تر) حرکت می‌کنیم، نیاز به خودکارسازی با توجه به سطح پیچیدگی سازمان بهره‌برداری و نگهداری، ضرورت بیش‌تری پیدا می‌کند.

جدول ۶-۱- طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری و زهکشی برحسب انواع سازه‌ها و تاسیسات*

انواع سازه‌ها وتاسیسات	انواع شبکه‌های آبیاری و زهکشی				
	A	B	C	D	E
شبکه آبیاری درجه یک (کانال یا لوله)	Y	Y	Y	Y	Y
شبکه آبیاری درجه دو (کانال یا لوله)	Y	Y	Y	Y	Y
شبکه آبیاری درجه سه (کانال یا لوله)	Y	Y	Y	Y	Y
ایستگاه(های) پمپاژ داخل محدوده شبکه آبیاری	Y	N	Y	N	N
ایستگاه(های) پمپاژ خارج از محدوده شبکه آبیاری	Y	Y	N	N	N
مخازن تعادلی (آب پخش)	Y	Y	Y	N	N
ایستگاه(های) پمپاژ ثانویه	Y	Y	Y	Y	N

* Y= دارد ، N= ندارد

جدول ۶-۲- طبقه‌بندی شبکه‌های آبیاری و نیاز به خودکارسازی و مدرن‌سازی

نوع شبکه آبیاری	سطح پیچیدگی سازمان بهره‌برداری و نگهداری و نیاز به مدرن‌سازی و خودکارسازی شبکه								
A									
B									
C									
D									
E									

۶-۲-۲- شاخص‌های مدیریتی

به طور کلی برای طراحی ساختار تشکیلات و مدیریت در سازمان‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی که خودکارسازی در آن‌ها در حال طراحی و اجرا است، لازم است متناسب با عملیات طراحی و اجرایی، مشخص گردد که کدام سازه‌ها از حالت کنترل دستی یا تحت جریان آب در کانال به کنترل اتوماتیک و به چه سطحی از کنترل خودکار، تغییر و تحول خواهند یافت. کدام یک از فعالیت میراب‌ها یا سایر پرسنل موجود حذف یا کاهش یافته یا سطح فناوری کنترل دستی (حضور پرسنل در محل سازه) تغییر می‌یابد. در هر سامانه کنترل خودکار، ایستگاه اصلی کنترلی در مرکزیت سازمان بهره‌برداری و نگهداری ایجاد می‌شود (بند ۵-۳) براساس زمان‌سنجی فعالیت‌های دستی که در وضع موجود عمل می‌شود و مقایسه آن در شرایط کنترل شبکه از طریق سامانه خودکار، می‌توان با کاهش میراب‌های میدانی (پرسنل صف) و جایگزینی پرسنل ستادی با توجه به مهارت‌های مورد نیاز نیروی انسانی طرح را تعدیل کرد. چنین سازوکاری باید بتواند ترکیب تخصصی نیروی انسانی را در حدود معقول تعدیل کرده و سرعت و دقت خدمات ارائه شده و مستندسازی فعالیت‌ها را افزایش دهد و فرصت‌های زمانی برای دقت بیش‌تر را برای سازمان بهره‌برداری و نگهداری فراهم نماید.

پس از تعیین مشاغلی که در وضع موجود نسبت به شرایط خودکارسازی حذف یا نیاز به نیروی انسانی در هر رده‌ای از سازمان و مدیریت افزایش داده شود، لازم است بازنگری در ساختار تشکیلات بهره‌برداری و نگهداری نیز صورت گیرد. چنین بازنگری لازم است به‌صورت مرحله‌ای انجام شود تا اطلاعات و داده‌های مستند نشده در نزد نیروی انسانی شرایط دستی، قابلیت دستیابی وانتقال به ساختار تشکیلات و مدیریت شرایط خودکارسازی را پیدا نماید. در هر حال ایجاد واحد مرکزی کنترل شبکه در واحد بهره‌برداری و نگهداری ضروری است.

برای نیل به اهداف مدیریتی، نظارتی، کنترلی و نیز عرضه بهینه خدمت، استفاده از ابزارهای کنترلی پیشرفته نظیر اسکادا را در قالب طرح‌های پایش بهینه (دیسپچینگ[1]) در دستورکار باید قرار داد. ضرورت استفاده از پایش بهینه با

۱- دیسپچینگ (پایش بهینه)- پایش، نظارت، کنترل و حفظ پایداری و بهره‌برداری بهینه از شبکه انتقال و توزیع

گستردگی شبکه آبیاری، اعم از فرایند تامین آب، انتقال و توزیع و نیز اهمیت دقت در کنترل میزان تامین آب، توزیع و مبادلات، بیش از پیش ضرورت می‌یابد. با در اختیار داشتن چنین سامانه هایی می توان به آسانی و با سرعت و قابلیت اطمینان بالا، همه عملیات لازم از قبیل نمایش و انتقال اطلاعات، تشخیص مؤثر و ردیابی خطاهای به‌وجود آمده را بررسی و کنترل کرد. امروزه پایش بهینه، الزامی حیاتی برای نظارت بهتر و مدیریت کارآمد معرفی می شود. پایش بهینه با دسترسی به اطلاعات دقیق، سریع و کافی از همهٔ بخش های تامین آب، انتقال، توزیع و مصرف و با بهره گیری از نرم افزارهای تحلیلی برای پردازش اطلاعات، اتخاذ تصمیمات مدیریتی در سطوح مختلف را با دقت و سرعت بالا انجام‌پذیر خواهد کرد. اسکادا نه تنها ابزاری مؤثر در مدیریت خطاهای به‌وجودآمده در سامانه و اصلاح به موقع آن است، بلکه با استفاده از آن می توان به برنامه ریزی بهینه در تامین آب، کاهش تلفات و شناسایی منابع هدررفتگی و توازن در عرضه و تقاضا دست یافت. قابلیت تهیه و نگهداری گزارش های دقیق و جامع عملکردی از سامانه و محاسبات دقیق مبادلات انجام شده از دیگر مزایای استفاده از اسکاداست.

معمولا سازمان‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری، قبل از خودکارسازی دارای بخش(هایی) هستند که تقاضای خرید آب کشاورزی و تطبیق تقاضا و الگوی کشت را با امکان تامین آب کشاورزی، انجام داده و با ذی‌نفعان قرارداد فروش و تحویل آب کشاورزی را منعقد و مبادله می‌نمایند. این قسمت از سازمان بهره‌برداری و نگهداری در فرایند خودکارسازی نیز می‌تواند تغییراتی در ساختار آن‌ها ایجاد نماید.

خودکارسازی در فرایندها و سازمان و تشکیلات و نیروهای انسانی دریافت تقاضای آب از مصرف‌کنندگان آب کشاورزی، انجام فرایندهای تسویه مالی، فرایند مبادله و عقد قرارداد فروش آب کشاورزی و تطبیق میزان تقاضا با میزان عرضه آب تغییری ایجاد نخواهد کرد. اما پس از خودکارسازی لازم است که در انتهای فرایندهای ذکر شده، برنامه میزان تحویل آب به مزارع با زبان قابل درک توسط سامانه خودکارسازی ترجمه شده و به مسوولین خودکارسازی انتقال یابد.

در پایان طراحی و آغاز به کارسامانه خودکارسازی، ملاحظه خواهد شد که نگهداری و تعمیر شبکه آبیاری نیز دچار تحول شده و از نظر کیفیت نیروی انسانی و موضوع نگهداری و تعمیر نیز ارتقا می‌یابد. سازمان نگهداری و تعمیر در شبکه آبیاری ضرورتا تحول یافته و ترکیب نیروی انسانی نیز دچار تغییر می‌شود. این تحول موجب می‌شود که رویه‌های رسیدگی، ردیابی و شناخت نقاط آسیب‌دیده و نیازمند به تعمیر و دوره‌های زمانی نگهداری و نوع عملیات نگهداری در هر یک از سازه‌های خودکارسازی شده تغییر کند. در این صورت مستندات لازم در این موارد نیز باید طراحی و فرایندهای آن نیز در نظام مدیریت، تعریف و تبیین گردد. از جمله این تحولات می‌توان به کاهش اپراتورهای شبکه و افزایش سطح مهارت و دانش آن‌ها به همراه کارکنان بخش نگهداری و تعمیر اشاره کرد. این افراد به دلیل تحول ساختار سازه‌های کنترل جریان و تحویل آب از حالت مکانیکی به خودکار، باید قابلیت‌های جدیدی را کسب نمایند. از سوی دیگر کنترل کیفی اقدامات کارکنان تعمیرات، در فرایند شناسایی نقاط نیازمند تعمیر و قطعات منصوبه روی آن‌ها، نیازمند شرایط جدیدی در سطوح مدیریتی بالاتر است. در سامانه خودکار آبیاری، اسناد فنی بهره‌برداری و نگهداری مشاور طراح سامانه و دفترچه‌های راهنمای فروشندگان قطعات با فناوری‌های نوین به کار رفته در سطح طرح، پایه اولیه

چنین کنترل‌هایی را تعیین خواهد نمود. درشرایط جدید شبکه، کارکنان نگهداری و تعمیر از متخصص امور الکترونیکی و برقی، کارکنان دارای توان برنامه‌ریزی نرم‌افزاری و کارکنان دارای توان راه‌اندازی قطعات و ابزارهای دقیق تشکیل خواهد شد.

هر سازمان به منظور آگاهی از میزان مطلوبیت و مرغوبیت فعالیت‌های خود به‌ویژه در محیط‌های پیچیده و پویا، نیاز مبرم به ارزیابی عملکرد دارد. از سوی دیگر فقدان نظام ارزیابی و کنترل دریک سامانه به معنای عدم برقراری ارتباط با محیط درون و برون سازمانی می‌شود که پیامدهای آن کهولت و در نهایت مرگ سازمان است. تعیین عملکرد می‌تواند به عنوان یک سامانه کنترل در هر سازمانی که عملیات روزانه‌اش را بررسی می‌کند، تعریف شود و این‌که سازمان چقدر به اهدافش رسیده است را، ارزیابی نماید.

شاخص کلیدی عملکرد، از معیارهایی هستند که می‌توان به کمک آن‌ها موفقیت سازمان را اندازه گرفت، رسیدن به اهداف سازمان را ارزیابی کرد و حتی مشاهده نمود که آیا سازمان در مسیر درست موفقیت حرکت می‌کند یا خیر. شاخص‌های کلیدی عملکرد[1] (KPI) بسیار متنوع هستند و انواع بسیاری دارند. بدیهی است که در موضوع خودکارسازی شبکه آبیاری همه آن‌ها مناسب نیستند. تعیین شاخص‌های مطلوب برای رصد ارزیابی عملکرد، از یک سازمان بهره‌برداری و نگهداری به یک سازمان دیگر و با توجه به سطح خودکارسازی می‌تواند متفاوت باشد. تعیین تعداد و انواع شاخص‌های KPI مورد استفاده، قبل و پس از خودکارسازی از جمله وظایف مدیریت سازمان است. از جمله شاخص‌های کلیدی عملکرد که می‌توان در این باره پیشنهاد نمود عبارت است از:

- میزان رشد (نرخ) فروش محصول (شبکه آبیاری)
- درصد ضایعات محصول در مقایسه با زمان عدم اجرای خودکارسازی
- میزان رضایت مشتریان نهایی (مصرف‌کنندگان آب کشاورزی)، بهره‌وری میزان آب تحویلی
- تعداد شکایات در مورد تحویل آب به مزارع
- کاهش هزینه‌های سربار تحویل آب به مزارع

۶-۳- شاخص‌ها و چارچوب‌های لازم فرهنگی-اجتماعی برای خودکارسازی

در خودکارسازی سامانه آبیاری، میزان تعاملات با بدنه اجتماعی شبکه آبیاری که شامل گروه‌های هم‌آب در یک مزرعه و سرگروه‌های هم‌آب در یک روز و در یک دوره آبیاری خواهد بود، کاهش یافته و کم‌تر ارتباط چهره به چهره

1- Key Process Indicator

کارکنان برنامه‌ریزی و تحویل آب به مزارع با سرگروه‌های مزارع هم‌آب در طول فصل زراعی و تامین آب، برقرار می‌شود. چنین برخوردی ممکن است این فکر را در بین ذی‌نفعان ایجاد نماید که با آغاز و بهره‌برداری از سامانه‌های خودکارسازی و مدرن‌سازی در شبکه، نیاز آبیاری آن‌ها و خواسته‌های فنی آن‌ها بسیار کم‌تر مورد توجه مسوولین سازمان بهره‌برداری و نگهداری قرار خواهد گرفت. درجهت کاهش چنین شرایط اجتماعی، لازم است گزارشات مکتوب و کوتاه از فرایند اقدامات و میزان آب تحویلی به مزارع مختلف و کانال‌ها و آبادی‌های واقع در محدوده شبکه آبیاری تهیه و برای آن‌ها در شبکه‌های اجتماعی مرتبط با شبکه آبیاری مربوطه یا به صورت کاغذی ارسال گردد.

میزان همدلی بین ذی‌نفعان در یک شبکه آبیاری با مدیریت و پرسنل سازمان بهره‌برداری و نگهداری، قادر است به عنوان یک شاخص اجتماعی موثر در افزایش توان خودکارسازی و مدیریت به کار رود. هم‌چنین ارتقای سرمایه اجتماعی سازمان بهره‌برداری و نگهداری که حاصل سه معیار اعتماد اجتماعی ذی‌نفعان (سرگروه‌های مزارع هم‌آب)، انسجام اجتماعی آن‌ها در دفاع از عملکرد سازمان بهره‌برداری و مشارکت اجتماعی آن‌ها در تسهیل در بهره‌برداری از ابزارها و رویه‌های خودکارسازی است، می‌تواند شاخص‌های مناسب اجتماعی برای ارتقای فرهنگ این اقدام در بین ذی‌نفعان باشد.

در جدول (۶-۳)، با توجه به نوع کنترل سامانه و میزان خودکارسازی، تعداد کارکنان، سطح مهارت کارکنان و وضعیت مشارکت مصرف‌کنندگان آب در یک شبکه ترسیم شده است. همان‌طور که در این نمودار نشان داده شده با افزایش سطح خودکارسازی، تعداد پرسنل در یک سازمان بهره‌برداری و نگهداری کاهش، سطح مهارت کارکنان افزایش و میزان مشارکت ذی‌نفعان کاهش یافته است.

جدول ۶-۳- تعداد، سطح مهارت کارکنان و وضعیت مشارکت مصرف‌کنندگان آب در یک شبکه آبیاری و زهکشی با توجه به میزان خودکارسازی

نوع کنترل سامانه	تعداد کارکنان					سطح مهارت کارکنان									فرصت مشارکت مصرف‌کنندگان آب							
کنترل نظارتی رایانه‌ای			■			■	■	■	■	■	■	■	■	■				■				
کنترل نظارتی دستی		■	■	■			■	■	■	■	■	■	■					■				
کنترل ترکیبی (دستی/خودکار)	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■						■	■	■		
کنترل ساده (روشن/خاموش)		■	■	■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	
کنترل تقسیم به نسبت			■							■					■	■	■	■	■	■	■	■
کنترل سنتی			■							■					■	■	■	■	■	■	■	■

در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری باید به موارد زیر، پاسخ‌های مناسب داده شود:

- کفایت
- بازده
- عدالت
- انعطاف‌پذیری
- مدیریت مطلوب

- ارتقای سطح مطلوبیت

بررسی برخی مطالعات انجام شده در انتخاب خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری کشور نشان می‌دهد که برای بهبود سطح مطلوبیت که یکی از شاخص‌های مدیریت خودکارسازی است، به تعامل مجموعه عوامل تاثیرگذار، شناسایی الگوهای حاکم بر پدیده و بررسی تغییرات الگوهای رفتاری شناسایی شده در طول زمان نیاز است. اولویت‌ها با اعمال گزینه‌های اصلاحی، در بهبود سطح مطلوبیت شبکه به قرار زیر هستند:

اولویت اول- تخصیص بودجه و اعتبارات سرویس و خدمات خودکارسازی بر اساس میزان مورد نیاز در کل شبکه

اولویت دوم- ارتقا سطح آگاهی و مهارت بهره‌برداران

اولویت سوم- جلب اعتماد و مشارکت کشاورزان در فرایند خودکارسازی

با شناخت صحیح مکانیزم‌های تاثیرگذار بر کاربرد خودکارسازی و تاثیر آن بر سطح مطلوبیت آن در سامانه، می‌توان با تعیین خط مشی‌ها و سیاست‌های مناسب در دراز مدت، موجبات ارتقا سطح مطلوبیت را فراهم آورد.

اعتقاد مدیران بهره‌برداری و نگهداری به این امر که بدون ارتقای سطح آگاهی و مهارت بهره‌برداران ذی‌نفع و جلب اعتماد و مشارکت کشاورزان در فرایند خودکارسازی، شاخص‌های بیان شده برای خودکارسازی به طور مطلوبی ارتقا نخواهدیافت، گام اول در موفقیت سامانه خودکار است.

رویکرد حاصل از مشارکت و تعامل تصمیم‌گیران، کارشناسان و بهره‌برداران ذی‌نفع در انتخاب خودکارسازی در سامانه آبیاری، کمک خواهد کرد تا تصمیمات اتخاذ شده روی دغدغه‌های اصلی طرفین متمرکز شده و بدین ترتیب راه‌حل‌های امکان‌پذیر با استفاده از دانش و تجربیات تصمیم‌گیران، کارشناسان و گروه‌های کشاورزان پدیدار شود. رویکرد مشارکت‌جویی و همیاری‌طلبی، موجب خواهد شدکه مسایل پراکنده شناسایی و نسبت به راه‌حل‌های پیشنهادی، توافق آرا به دست آید.

۶-۴- شاخص‌های انتخاب نرم‌افزارهای مدیریتی سامانه آبیاری

نرم‌افزار مدیریت آبیاری، مسوولان آبیاری را قادر می‌سازد تا سفارشات آب را مدیریت کنند، بر استفاده از آب نظارت کرده و با مشتریان ارتباط برقرارکنند؛ همچنین امکان تولید فاکتورها و تجزیه و تحلیل عملکرد را در اختیار مسوولین قرار دهد. این نرم‌افزار باید دارای یک هسته پایگاه داده به همراه ابزارهای مختلف کنترل، تحلیل، دریافت تقاضا و ... باشد که شامل موارد زیر است:

- رابط ارتباط با مشتری مانند وبگاه، اپلیکیشن و پاسخگویی صوتی برای برقراری ارتباط مستقیم بین کاربران آب با مقامات آبیاری
- ابزارهای مدیریت حقوقی آب و مدیریت منابع آبی مطابق با این حقوق که با مقررات دولتی همخوانی داشته باشد

- ابزارهای مدیریت دریافت تقاضا، برنامه‌ریزی و تحلیل آن‌ها بر اساس ظرفیت سامانه به منظور تحویل خودکار و مطابق برنامه آب با تنظیم آبگیرها
- ابزار مدیریت تعرفه و آب‌بها، همراه با ابزار صدور صورتحساب برای ساده‌سازی مدیریت درآمدها

اصولا با وجود سامانه اسکادا بخش اصلی مدیریت انتقال و توزیع آب در شبکه توسط نرم‌افزارهای اسکادا صورت می‌گیرید و می‌باید برای دریافت تقاضا از مصرف‌کنندگان، برنامه‌ریزی و مدیریت مصرف نرم‌افزارهای مدیریتی اضافه شوند.

حداقل پیشنهاد آن است که به شاخص‌های زیر در انتخاب این نرم‌افزارها توجه شود:

- **قابلیت بهره‌برداری؛** نرم‌افزار پیشنهادی لازم است قابلیت بهره‌برداری برای طیف بیش‌تری از کارکنان سازمان بهره‌برداری و نگهداری را داشته باشد و امکان تعامل با مصرف‌کنندگان و آب‌بران را فراهم کند.
  - مولفه مدیریت تقاضا در نرم‌افزار این اطمینان را ایجاد می‌کند تا یک سفارش درخواستی باعث نقض ظرفیت و محدودیت‌های بهره‌برداری ایمن سامانه نشود.
  - برنامه زمان‌بندی آب در هر خروجی آبیاری، طبق تقاضای مصوب سازمان آبیاری انجام شود.
  - جریان در هر یک از سازهای تنظیم و مسیرها برنامه‌ریزی شود.
- **سادگی؛** نرم‌افزار توانایی کافی در ارائه ساده فرایندهای کنترلی و خودکارسازی را ارائه نماید و برای مصرف‌کنندگان به سادگی قابل اجرا و درک باشد.
- **نمادسازی در اقدامات؛** نرم‌افزار توانایی نمادسازی برای فرایندها و اقدامات و نتایج را در زمینه موضوع خودکارسازی داشته باشد.
- **توانایی راهنمایی؛** نرم‌افزار توانایی راهنمایی برای رفع معایب احتمالی خود نرم‌افزار و گزارشات را داشته باشد.
- **تهدیدات الکترونیکی؛** امنیت کافی نسبت به تهدیدات الکترونیکی، مانند بدافزارها، سفارشات نامعقول و نفوذ را داشته باشد.

۶-۵- مدیریت برنامه آموزشی خودکارسازی سامانه

با توجه به آشنایی کم‌تر کشاورزان، بهره‌برداران و حتی برخی از کارشناسان و مدیران آب و کشاورزی در ارتباط با ابزار و ادوات فنی خودکارسازی و جدید بودن سامانه و به‌کارگیری ابزار و ادوات نوین در مدیریت انتقال و توزیع آب، آموزش در این زمینه اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند. از این‌رو ضرورت‌ها، الزامات، روش‌های آموزشی و چگونگی تنظیم برنامه‌های آموزشی به صورت عام و خاص امری حیاتی است و باید مورد تاکید باشد.

آموزش ضعیف یا ناکافی کارکنان، حتی در شبکه‌های با کنترل دستی، می‌تواند عامل اصلی عملکرد ضعیف در سازمان و سامانه خودکار آبیاری باشد. آموزش، کار دشواری است که برای انجام کارآمد آن نیاز به کارشناسان متخصص دارد. این امر مستلزم درک کاملی از موضوع و نیازهای آموزشی شرکت‌کنندگان (مدیران، اپراتورها، آب‌بران، کشاورزان) است، به ویژه اگر لازم باشد سامانه انتقال، توزیع وتحویل به صورت خودکار باشد.

۶-۵-۱- الزامات برای موفقیت در آموزش

- آماده‌سازی هدفمند موارد آموزشی و استفاده از روش‌های مناسب با توجه به مخاطب، اساس موفقیت‌آمیز آموزش است. طیف گسترده‌ای از نیازهای آموزشی در بخش آبیاری و زهکشی وجود دارد که در سامانه خودکار، ماهیت آموزش، ویژه است و شرایط متفاوتی خواهد داشت. برای این‌که افراد بتوانند رفتار خود را مطابق خواسته‌های مدیریت تغییر دهد باید چهار اصل به قرار زیر را دارا باشند:
  - آن‌ها باید آگاه باشند که عملکرد یا وضعیت آن‌ها می‌تواند بهتر باشد.
  - آن‌ها باید بخواهند یاد بگیرند که چگونه اوضاع را بهبود بخشند.
  - آن‌ها باید برخی از موارد یادگیری را هنگام آموزش انجام دهند.
  - آن‌ها باید آنچه را که آموخته‌اند، عملی کنند.

برای آموزش کاربردی، محتوای برنامه آموزشی باید به‌گونه‌ای باشد که کارآموز را از سطح مشخصی از توانایی به سطح دیگر و بالاتر ارتقا دهد. برای تحقق این تغییر باید یک برنامه آموزشی طراحی و اجرا شود و مسوولیت این امر بر عهده مدیریت است. ارزیابی نیازهای آموزشی می‌تواند به قرار زیر خلاصه شود:

نیاز آموزشی کارآموز = دانش و مهارت‌های لازم - دانش و مهارت کارآموز

از این‌رو قبل از دوره آموزش، باید سطح دانش و توانایی کارآموز مشخص و با سطح دانش و توانایی مورد نیاز مقایسه شود.

فصل ۷

منشور امنیت و پدافند غیرعامل

۷-۱- مقدمه

توجه ساختاری به موضوع پدافند غیرعامل در خودکارسازی و مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی به دلیل نقش این گروه از سازه‌ها و تاسیسات وابسته در انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی، موجب می‌شود که توان و ظرفیت مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی به طور چشم‌گیری ارتقا یابد. با اجرای پدافند غیرعامل می‌توان از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تاسیسات و تلفات انسانی جلوگیری نموده یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش‌داد.

همان‌طورکه در فصول پیشین اشاره شد، کنترل خودکار یک سامانه آبیاری عموما مبتنی بر استفاده از PLC/RTUها است و با توجه به وسعت و گستردگی نقاط کنترلی و تنظیم، نیاز به یک سامانه کنترل نظارتی و کسب داده (اسکادا) نیز وجود دارد. مدیریت سامانه آبیاری می‌تواند از جهات زیادی در زمینه مدیریت بحران و پدافند غیرعامل از سامانه اسکادا بهره‌برداری کند (ر.ک ۲-۶-۲). سامانه اسکادا با قابلیت اعلام فوری و هشدار، به عنوان اصول پدافند غیرعامل، هنگام بروز اقدامات غیرمعمول، رخنه امنیتی یا شرایط بحرانی، در مواجهه با مخاطرات و آسیب‌ها، سریع و کارآمد است. (ر.ک. ۵-۳-۲- هشدارها و زیرساخت‌های امنیتی و تامین انرژی).

۷-۲- شناسایی ریسک‌ها، مخاطرات، حوزه‌های امنیتی و نقاط آسیب‌پذیر

پدافند غیرعامل در زیرمجموعه مدیریت ریسک جای دارد. در تدوین منشور امنیت و پدافند غیرعامل در زمینه خودکارسازی و نوسازی شبکه آبیاری و زهکشی، شناسایی ریسک‌ها و مخاطرات، گلوگاه‌های امنیتی مورد استفاده و نقاط آسیب‌پذیر در کلیه عناصر خودکارسازی نصب شده ضروری است.

در کلی‌ترین حالت می‌توان ریسک‌ها و مخاطرات را در دو دسته فیزیکی و اطلاعات بررسی نمود که می‌توان به مسایلی مانند مقاومت در برابر حوادث طبیعی (مانند سیلاب‌ها)، خراب‌کاری، دستکاری غیرمجاز تجهیزات در نقاط کنترلی راه‌دور و موارد امنیتی مربوط به حفاظت از مرکز کنترل، موارد امنیتی فیزیکی و اطلاعاتی در سطح کسب داده و کنترل[1] (حس‌گرها، اندازه‌گیرها و عمل‌گرها)، سطح انتقال داده‌ها[2] (شبکه ارتباطی، مخابراتی و اینترنت)، سطح پردازش داده‌ها[3] (تحلیل داده‌ها و کنترل نظارتی) و سطح کاربرد[4] (ارتباط با آب‌بران و مدیریت سامانه) اشاره کرد. برخی مشکلات و چالش‌های حوزه امنیتی در شبکه‌های خودکار آبیاری عبارتند از:

1- Sensing Layer
2- Transport Layer
3- Processing Layer
4- Application Layer

- عدم بهره‌گیری از زیرساخت‌های فناوری اطلاعات برای مدیریت و بهره‌برداری
- نداشتن یک سیاست‌گذاری امنیتی روشن و دقیق
- نبود محیط‌های شبیه‌سازی تست و آزمون
- عدم استفاده از روش رمزنگاری اطلاعات
- استفاده از سامانه‌های احراز هویت بسیار ساده و ناامن
- طراحی و ساختار امنیتی نامناسب
- عدم وجود برنامه رسمی اطلاع‌رسانی و آموزش امنیتی کارشناسان سامانه کنترل شبکه آبیاری
- عدم وجود برنامه بازیابی اطلاعات بعد از وقوع خرابی
- کم بودن یا عدم وجود ممیزی‌های امنیتی در سامانه کنترل
- خط مشی امنیتی نامناسب برای سامانه کنترل

اصولا قبل از تهیه برنامه پدافند غیرعامل، تولید مستندات سامانه خودکارسازی ضروری است تا قابلیت کنترل مدیریتی سامانه افزایش یابد. تهیه نقشه کلی از سخت‌افزارهای متکی به فرمان‌های الکترونیکی نصب شده در شبکه آبیاری اولین قدم در این راه است و طبقه‌بندی نقاط متکی به فرمان‌های خودکارسازی در شبکه آبیاری لازم است تهیه شود. در یک سامانه مبتی بر استفاده از RTU/PLCها مدارک زیر باید همواره در دسترس باشد:

۱- مشخصات سامانه تحت کنترل
۲- جدول ورودی‌ها و خروجی‌های متصل به PLC
۳- دستورالعمل‌های راه‌اندازی و توقف سامانه
۴- نرم‌افزار و سخت‌افزار پشتیبان
۵- دستورالعمل‌های فنی شرکت سازنده RTU/PLC
۶- جدول خطاها و توقف اضطراری
۷- راهنمای نرم‌افزارهای مورد استفاده

جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها طبق روش FMEA[1]، به شدت اثر و احتمال وقوع و قابلیت کشف، عددی تعلق می‌گیرد. این اعداد بر مبنای جداول شدت اثر، احتمال وقوع و قابلیت کشف (که در هر سازمان بهره‌برداری و نگهداری به طور اختصاصی تدوین می‌شود) در یکدیگر ضرب‌شده و عدد اولویت ریسک (RPN=S×P×D) محاسبه و به‌دست می‌آید. بر اساس عدد اولویت ریسک (RPN)[2] ریسک‌ها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

1- Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)
2- Risk Priority Number

- ریسک با درجه اهمیت پایین: در این دسته، ریسک تاثیر ناچیزی بر عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی داشته و می‌توان با مدنظر قرار دادن جوانب امر از پرداختن به آن صرفه‌نظر نمود.
- ریسک با درجه اهمیت متوسط: ریسک با توجه به شدت آن تاثیر قابل توجهی بر عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی و تجهیزات الکترونیکی نصب شده، دارد. در این دسته اقدامات کنترلی مرتبط با تهدیدها و اقداماتی که جهت بهره‌مندی از فرصت‌ها در حال انجام است کفایت لازم را ننموده و لازم است با مدنظر قراردادن اولویت پرداختن به ریسک، اقدامات لازم تعیین و اجرا گردد.
- ریسک با درجه اهمیت بالا: ریسک با درجه اهمیت بالا یعنی اقدامات جاری مدیریت خودکارسازی و مدرن‌سازی کافی نبوده و باید اقدام اجرایی ویژه با اولویت قراردادن این دسته از ریسک‌ها تعریف شود. از منظر فرصت‌ها، باید از فرصت پیش‌رو حداکثر بهره را برد و از منظر تهدیدها این دسته از ریسک‌ها برای شبکه آبیاری و زهکشی، سخت‌افزارها و نرم‌افزارها مرتبط با خودکارسازی غیرقابل قبول بوده و باید برای حذف یا کاهش یا کنترل اثرات آن اقدام شود.

۷-۳- جوانب امنیتی طرح و تدوین منشور امنیت اطلاعات جهت رعایت اصول پدافند غیرعامل

یک سامانه خودکار انتقال آب آبیاری باید از جدیدترین فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی برای نظارت بر کل فرایند توزیع و استفاده از آب، تصمیم‌گیری برای اجرای برنامه کاربردی به منظور اندازه‌گیری جامع‌تر، استفاده از منابع یک‌پارچه‌تر، تصمیم‌گیری هوشمندانه و ایمنی بیش‌تر استفاده کند.

ایجاد یک سامانه کنترل جامع، حاوی تمام اطلاعات به منظور بهره‌برداری و مدیریت شبکه آبیاری، علاوه بر تسهیل امور، مشکلات امنیتی را نیز به همراه دارد. هدف اصلی در ایجاد سامانه کنترل خودکار آب، تحقق بهره‌برداری شبکه است و ساخت سامانه تامین امنیت اطلاعات، معمولا نادیده گرفته می‌شود که در نتیجه آن سامانه خودکار جامع کنترل شبکه آبیاری در معرض خطر دست‌کاری اطلاعات، سرقت داده‌ها، ورود غیرقانونی و ... قرار می‌گیرد. بنابراین علاوه بر امنیت فیزیکی در خصوص تجهیزات و شبکه آبیاری، امنیت شبکه ارتباطی، امنیت اطلاعات، امنیت کاربرد و امنیت پردازش و مدیریت اطلاعات نیز باید مورد توجه باشد. در نتیجه باید از فناوری‌های امنیت اطلاعات پیشرفته، به طور فعال و مبتنی بر اهداف کلی طرح برای حفاظت از اطلاعات درنظر گرفته شود.

بالاترین مقام مسوول سازمان بهره‌برداری و نگهداری شبکه آبیاری مسوول تهیه منشور امنیت اطلاعات جهت رعایت اصول پدافند غیرعامل در محدوده شبکه خودکار آبیاری است. این منشور باید توسط کمیته‌ای از نمایندگان در سطوح مختلف از جمله منابع انسانی، بخش‌های مدیریتی و IT کامل شود.

۷-۴- ملاحظات پدافند غیرعامل در کاهش اثرپذیری کلی سامانه از تهدیدات و حملات

به طورکلی شبکه‌های خودکار انتقال آب کشاورزی از منظر تهدیدات و حملات نسبت به سایر تاسیسات آبی، مانند سدها و تاسیسات تامین آب شرب از حساسیت بالایی برخوردار نیستند؛ اما رعایت اصول اولیه کار با نرم‌افزارها و سخت‌افزارها، مانند عدم ورود افراد غیرمسوول به محدوده اتاق کنترل سامانه و ایجاد سامانه‌های امنیتی با تجهیزاتی مانند دوربین‌های نظارتی، حس‌گرهای حرکتی، سوئیچ‌های تماسی (در محل تجهیزات راه‌دور و درب‌ها و پنجره‌ها)، دستگاه‌های ثبت ورود و خروج و کارت‌خوان‌ها همگی برای کنترل و جمع‌آوری داده‌های ثبت وقایع امنیتی[1] ضروری است.

امنیت در شبکه‌های کنترل در بسیاری از مکان‌ها از جمله اتاق کنترل، موضوعی چالش برانگیز است، چراکه سامانه‌های کنترل/اسکادا، اطلاعات خود را به یک بانک اطلاعاتی ارسال می‌کنند که این بانک اطلاعاتی و سامانه اسکادا دارای یک بستر ارتباطی یکسان هستند و این به معنای وجود یک مسیر دسترسی به سامانه‌های اسکادا و شبکه‌های انتقال داده از طریق هر سامانه مبتنی بر TCP/IP و رایانه است. از این رو این دسترسی می‌تواند به صورت تمام وقت و ۲۴ ساعته و غیرفیزیکی باشد. این ساختار باعث پدید آمدن یک موقعیت برای حمله به سامانه‌های کنترل به روش‌های مختلف (از جمله توسط کارکنان اتاق کنترل) و اهداف مختلف خواهد بود.

شبکه‌های داخلی در بسیاری از سامانه‌های مبتنی بر TCP/IP و از جمله سامانه‌های اسکادا استفاده می‌شوند. با توجه به این نکته که PLCها و RTUها اطلاعات خود را به وسیله یک گروه از پروتکل‌ها مانند DNP3،MODBUS،RS-485، RS-232 و معمولا توسط بسترهای ارتباطی شبکه، مانند خطوط تلفن، ماهواره، شبکه‌های رادیویی خصوصی و غیره منتقل می‌کنند، ایجاد تنها یک شبکه داخلی مجزا در جهت القای تفکر «مصونیت از حملات خارجی» می‌تواند حفره‌های امنیتی بسیاری را در سامانه به وجود آورد. علاوه بر آن با توجه به این نکته که بسیاری از این پروتکل‌ها تحت مالکیت نیستند (شبکه‌های ارتباطی باز[2]) می‌توان با دسترسی به بسترهای انتقال تقریبا هر ضربه‌ای را به یک سامانه کنترل وارد کرد.

بر این اساس نمی‌توان آفند (حمله) را تنها به از بین بردن اطلاعات تعبیر کرد، بلکه حمله‌ها می‌توانند در مرحله‌های مختلف و به روش‌ها و با راهبردهای گوناگون صورت پذیرند. با این توصیف آفند عبارت است «از هر عملیاتی که به هر روشی برای کسب منافع متضاد با منافع بهره‌بردار به‌کار گرفته می‌شود». به عنوان مثال چهار نمونه از حمله‌ها به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱- دسترسی نامشروع به اطلاعات یک سامانه در جهت تغییر و بهره‌برداری مغرضانه

۲- خاموش کردن و شروع مجدد (ریست کردن) سامانه تحت کنترل

1- Security Logs
2- Open Communication Networks

۳- ارسال اطلاعات اشتباه به بهره‌بردار

۴- نابودی بانک اطلاعات

لازم بـــه ذکر است که حمله‌ها می‌تواند از داخل سامانه (مسیرهای دسترسی داخلی شبکه)، دسترسی‌های سطح بالا مانند کاربران یا دسترسی‌های سطح پایین مانند PLC/RTUها باشند. براین اساس می‌توان به چند نمونه از حملات کلاسیک مندرج در جدول (۷-۱) اشاره کرد.

جدول ۷-۱- حمله‌های کلاسیک به سامانه‌های کنترل و اسکادا

ردیف	نام حمله	هدف	توضیحات
۱	محرومیت از سرویس[۱]	خرابی و غیر عملیاتی کردن سامانه	حمله با هدف تخریب سرورها که منجر به شرایط خاموشی می‌شود
۲	پاک کردن فایل‌های سامانه	خرابی و غیر عملیاتی کردن سامانه	پاک کردن فایل‌های سرورهای سامانه کنترل/اسکادا
۳	نصب بدافزارها	به دست گرفتن کنترل سامانه و قدرت فرماندهی اپراتورها	نصب بدافزارهایی مانند تروجان برای به دست گرفتن کنترل سامانه
۴	دزدی شناسه کاربری و رمز عبور	دزدی شناسه کاربری و رمز عبور از طریق کاربران	حمله مقدماتی جهت زمینه‌سازی حملات کامل‌تر
۵	دزدی اطلاعات حساس شرکت‌ها، اشخاص	تخریب مزایای رقابتی و استقلال تصمیم‌گیری	دزدی اطلاعات حساس کارخانه‌ها برای شرکت‌های رقیب یا سودجویی شخصی
۶	القای شرایط اضطراری	خرابی سامانه و از دست رفتن اطلاعات بهره‌برداری	تغییر نقاط تنظیم و اطلاعات بهره‌برداری برای القای شرایط غیرقابل کنترل و خاموش کردن سامانه از طریق بهره‌بردار
۷	تغییر اطلاعات	از دست رفتن اطلاعات بهره‌برداری	تغییر اطلاعات بایگانی در بانک‌های اطلاعاتی
۸	سوءاستفاده	سوءاستفاده از IPها	استفاده از سرور اسکادا به عنوان پایگاه جهت تهدید و ایجاد خطر برای سامانه‌های دیگر

۷-۵- میزان اثرپذیری کلی سامانه از عوامل خراب‌کاری داخلی و خارجی در صورت به کار بردن سخت‌افزار و نرم‌افزارهای مختلف ساخت داخل و خارج کشور

از آنجا که در کشور ما بسیاری از نرم‌افزارهای پایه، از قبیل سیستم‌های عامل و نرم‌افزارهای کاربردی و سخت‌افزارهای کنترلی و ارتباطی از طریق واسطه‌ها و شرکت‌های خارجی تهیه می‌شود، نپرداختن به امنیت آن‌ها گاهی باعث بروز خساراتی خواهد شد. استفاده از نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای داخلی مورد تایید نهادهای ارتباطی در کشور،

۱- حمله محرومیت از سرویس (DoS) یا حمله منع سرویس توزیع شده(DDoS)، در علم رایانه تلاش برای خارج کردن ماشین و منابع شبکه از دسترس کاربران مجازش تعریف می‌شود؛ اگرچه منظور از حمله DoS و انگیزه انجام آن ممکن است متفاوت باشد، اما به‌طور کلی شامل تلاش برای قطع موقت یا دائمی یا تعلیق خدمات یک میزبان است.

درصورتی‌که حفره‌های امنیتی در آن وجود نداشته یا قبلا در سامانه‌های دیگر با موفقیت به کار گرفته شده باشند، می‌تواند به ارتقای فنی کشور در این زمینه کمک نماید.

با توجه به این‌که تولیدات تجاری سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مخصوص خودکارسازی در کشور محدود بوده و در مراحل ابتدایی است و با توجه به اهمیت تحقق اهداف خودکارسازی و دوری از حوادث و مشکلات در شبکه آبیاری، استفاده از تجهیزات تولیدی دیگر کشورها، همانند آنچه در صنایع برق و آب و فاضلاب کشور اجرا شده، ناگزیر است و همچنان می‌توان از تجربیات این صنایع در خصوص تهیه تجهیزات و نرم‌افزارها و راهبردهای امنیتی در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری بهره برد. به خصوص که امنیت تاسیسات آبی مانند سدها و تاسیسات تامین آب شرب نسبت به شبکه‌های انتقال آب کشاورزی، از منظر تهدیدات و حملات بسیار پرمخاطره‌تر است و در این تاسیسات از تجهیزات و نرم‌افزارهای ساخت خارج استفاده می‌شود.

۷-۶- راه‌کارهای امنیتی در طراحی و پیاده‌سازی سامانه کنترل به منظور بالا بردن مقاومت شبکه، کاهش میزان خسارات و تسهیل بازسازی در حملات و شرایط بحران

راهکارهای دفاع از سامانه‌های کنترل می‌تواند به صورت ابتدایی و غیرهوشمند باشد که روش‌هایی مانند ایجاد شبکه مستقل یا عدم نصب سامانه اسکادا را می‌توان برای آن برشمرد؛ این راهکارها ناکارآمد و بیان‌گر عدم وجود دفاع هوشمند هستند. اسکادا ابزاری برای کاهش هزینه‌ها، افزایش بازده سامانه و مهم‌تر از همه ابزار اعمال تئوری کنترل به سامانه است و به طور واقع‌بینانه بدون آن، فرآیند کنترل بازده لازم را ندارد.

پدافند عبارت است از «تهیه و اجرای یک راهبرد مناسب و مجموعه‌ای از روش‌ها به صورت یک‌پارچه با بازخورد کامل و بررسی تمامی جوانب از جمله معماری سامانه کنترل (اسکادا)، فایروال‌ها، پراکسی سرورها، سیستم‌های عامل، لایه‌های کاربری، لایه‌های انتقال اطلاعات، قوانین و فرآیندها با درنظرگرفتن درجه امنیت اجرایی سامانه». انعطاف‌پذیری، استفاده از یک روش جامع، ساختار یک‌پارچه، هوشمندی و مقرون به صرفه بودن از موارد حیاتی یک سامانه پدافند کامل است.

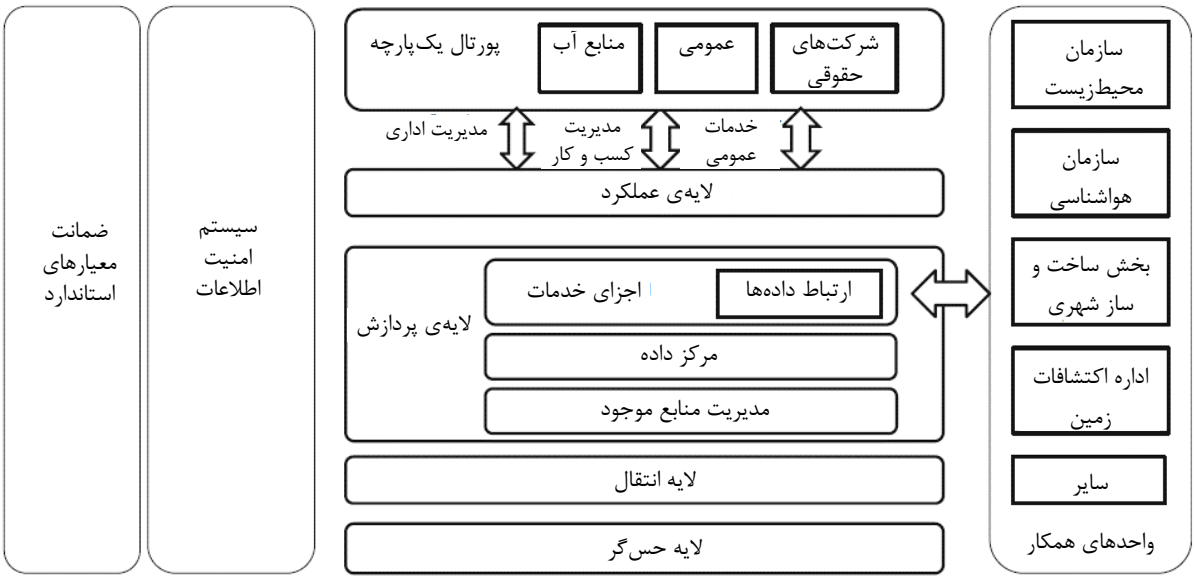
برای تحقق این موارد ضروری است برای برقراری امنیت، سامانه کنترل با شبکه فناوری اطلاعات (IT) ادغام شود که شامل موارد زیر می‌گردد:

- به کارگیری فناوری‌های امنیتی همچون رمزگذاری اطلاعات و منابع اطلاعاتی سامانه کنترل و سامانه نظارت
- مدیریت جامع برای ایجاد تصمیم‌گیری در مواقع بحرانی
- قابلیت پشتیبان‌گیری و امنیت مکانیزم ذخیره‌سازی اطلاعات
- توسعه خط مشی‌های امنیتی، مطالب آموزشی و دستورالعمل‌هایی که در سامانه کنترل به‌کار می‌روند
- پایش برخط و کنترل شبکه سامانه‌های اسکادا در مقابل حملات نفوذگران و رفع خطا

- تامین امنیت در سامانه کنترل از ساخت تا تهیه، نصب، نگهداری، تعمیرات، و از کاراندازی
- محدود کردن دسترسی فیزیکی به وسایل و شبکه سامانه کنترل و نظارت
- عدم نفوذپذیری و پیشگیری از تغییرات عمدی در اطلاعات
- باز آرایی شبکه‌های اسکادا به منظور کاهش آسیب‌پذیری‌ها
- شناسایی افراد برای اجازه دسترسی

۷-۶-۱- امنیت در معماری سامانه خودکار

معماری یک سامانه خودکار را می‌توان به دو قسمت سطوح کنترل شامل سطح کسب داده و کنترل، سطح انتقال داده‌ها، سطح پردازش داده‌ها و سطح کاربرد و سامانه امنیتی، شامل امنیت اطلاعات و مشخصات امنیتی استاندارد تجهیزات دسته‌بندی کرد. در سطح کسب داده و کنترل، با نصب حس‌گرها، اندازه‌گیرها و عمل‌گرها در نقاط مورد نظر، وضعیت، مکان، پارامترها و سایر اطلاعات مربوط به نقاط پایش آب، به طور کامل و به موقع جمع‌آوری می‌شود. در سطح انتقال داده‌ها، داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق اینترنت، شبکه‌های ارتباطی تلفن همراه، شبکه اختصاصی سامانه کنترل یا سایر شبکه‌ها مخابره می‌شود. در سطح پردازش، روش‌های پردازش داده‌های شبکه، روش‌های محاسبات، فناوری میان‌افزارها یک‌پارچه شده و اطلاعات برای کنترل پردازش می‌شود. باید در نظر داشت که سطح کاربرد بر اساس نیاز هر شبکه انتقال آب، شامل مجموعه‌ای از برنامه‌های کاربردی قابل توسعه مخصوص خواهد بود (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- معماری عمومی سامانه کنترل شبکه آبیاری خودکار هوشمند

۷-۶-۲- دسته‌بندی تهدیدها بر اساس سطوح معماری سامانه خودکار آبیاری

الف- تهدیدهای سطح کسب‌داده و کنترل: ۱) نقاط کسب‌داده و تنظیم دچار مشکل شوند، برای مثال به دست افراد مهاجم بیفتند یا تایید دستگاه‌ها برای انتقال داده دچار اختلال شود، ۲) تغییر و دست‌کاری داده‌ها و ایجاد اطلاعات کاذب، ۳) تخریب فیزیکی، ۴) مشکلات امنیتی مربوط به RFID[۱] و ....

ب- تهدیدهای سطح انتقال: ۱) حملات DoS و DDoS و مشابه آن‌ها، ۲) مشکلات ناشی از تاییدیه دستگاه‌ها، مانند ورود مهاجم در میانه راه انتقال داده[۲]، ۳) مشکلات امنیتی ذاتی روش ارتباطی (امنیت شبکه تلفن همراه، اینترنت و ...)، ۴) عدم همخوانی و تطابق در ارسال و دریافت داده‌ها و ....

پ- تهدیدها در سطح پردازش: ۱) عدم توانایی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای تشخیص و پردازش اطلاعات گسترده و زیاد دریافتی از پایانه‌های متعدد موجود در شبکه، ۲) حملات از داخل مرکز کنترل و پردازش (کارمند ناراضی)، ۳) مشکلات حریم خصوصی، ۴) جعل هویت، ۵) مشکلات در امنیت داده‌های مدیریتی (درصورت عدم رمزگذاری و سطح‌بندی دسترسی به اطلاعات، کاربران معمولی نیز می‌توانند اطلاعات را مشاهده کنند).

ت- تهدیدها در سطح کاربردی: ۱) گم‌شدن تجهیزات با قابلیت اتصال و تایید امنیتی، به‌ویژه تجهیزات قابل حمل، ۲) مشکلات حریم خصوصی آب‌بران، ۳) مشکلات ناشی از ضعف قابلیت اتصال هم‌زمان کاربران، ۴) تهدید در هنگام تایید دسترسی کاربران، ۵) درز اطلاعات، ۶) جعل هویت، ۷) از بین رفتن اطلاعات و داده‌ها.

۷-۶-۳- راهکارهای مربوط به سامانه امنیتی

الف- امنیت در سطح کسب داده و کنترل: در این سطح، امنیت به شکل فیزیکی، از طریق کدگذاری تجهیزات و RFID، ایجاد می‌شود. عموما باید حس‌گرها و عمل‌گرها دارای برچسب‌های RFID بوده و همچنین نقاط مسیریابی[۳] دارای خواننده/نویسنده RFID و شبکه بیسیم شامل پروتکل‌های مربوط به RFID باشد. علاوه بر RFID لازم است از روش‌های سبک امنیتی (برای عدم تحمیل بار اضافی بر شبکه) شامل الگوریتم‌های رمزنگاری (یکسان بودن کدها) و پروتکل‌های امنیتی سبک (پروتکل‌های اعتبارسنجی) نیز در این سطح بهره‌برد.

۱- سامانه بازشناسی با امواج رادیویی (Radio Frequency Identification) یک سامانه شناسایی بی‌سیم است که قادر به تبادل داده‌ها به‌وسیله برقراری اطلاعات بین یک Tag متصل به یک کالا، تجهیزات، کارت و... و یک بازخوان (Reader) است. سامانه‌های RFID از سیگنال‌های الکترونیکی و الکترومغناطیسی برای خواندن و نوشتن داده‌ها بدون تماس بهره‌گیری می‌کنند.

2- Man-in-the-middle attacks

3- Routing Nodes

ب- امنیت در سطح انتقال: اعتبارسنجی گواهینامه‌های بین دامنه‌ای، درون شبکه‌ای و بین نقاط کنترل، توافق بین اطلاعات رمزنگاری‌شده (مدیریت و تطابق کلیدها)، پایش شبکه، ایجاد دیوار آتش، استفاده از ویروس‌یاب‌ها و ضد بدافزارها، روش‌های دسترسی به شبکه، استفاده از استانداردهای امنیتی هر راه ارتباطی (شبکه تلفن همراه، اینترنت و ارتباط رادیویی).

پ- امنیت در سطح پردازش: ایزوله کردن داده‌ها[1]، استفاده از روش‌های بازیابی داده‌ها، ایجاد مقاومت در برابر حوادث، قابلیت مدیریت خودکار، تایید درستی داده‌ها.

ت- امنیت در سطح کاربرد: استفاده از نرم‌افزاهای مطمئن، پایش نحوه اجرای نرم‌افزارها، محافظت از حریم خصوصی، رصد درز اطلاعات، محدودسازی سطح دسترسی کاربران، آموزش و مدیریت امنیتی کاربران، ارزیابی امنیتی، کنترل دسترسی‌های انجام گرفته به اطلاعات.

۷-۷- امنیت فیزیکی

در چند سال اخیر اهمیت امنیت اطلاعات به دلیل گسترش شبکه‌های محلی، شبکه‌های گسترده و اینترنت که امکان سوءاستفاده کاربران غیرمجاز را فراهم می‌کنند، بیش‌تر شده است. یکی از مهم‌ترین مسایل در امنیت به‌ویژه در کاربردهای حساس و مواردی که امکان پیاده‌سازی مکانیزم‌های امنیتی در حوزه شبکه امکان‌پذیر نیست (مانند بخش‌هایی از شبکه‌های صنعتی)، رعایت اصول امنیت فیزیکی است.

در بخش‌های قبل نیز در هر یک از سطوح ایجاد امنیت، مواردی مربوط به امنیت فیزیکی نیز ارائه شده است. امنیت اطلاعات، می‌تواند یک سازمان را حفاظت یا تخریب کند. در مورد امنیت اطلاعات، فازهای متفاوتی از امنیت مطرح است که اولین و مهم‌ترین آن‌ها امنیت فیزیکی است. در بیش‌تر موارد امنیت فیزیکی ندانسته توسط فردی بدون هیچ نیت بدی، به خطر می‌افتد. به عنوان مثال یک کارگر ممکن است هنگام جارو کردن اتاق سرور، به سیم برق برخورد کند و بدون تعمد برق را قطع کند. بدون وجود تدابیر امنیتی درست، این اتفاق به ظاهر ساده منجر به خاموش شدن سرور و راه‌اندازی مجدد آن و نقص‌هایی در سامانه می‌شود.

در امنیت فیزیکی نیز فازهایی وجود دارد که باید در پیاده‌سازی آن در نظر گرفته شوند. این فازها عبارتند از:

- کل محیط/ساختمان مرکز کنترل و نظارت
- مناطق حساس و ضروری در محیط/ ساختمان (اتاق کنترل / اسکادا)

1- Data Isolation

- محیط داخلی سازمان
- عوامل انسانی

۷-۷-۱- امنیت فیزیکی تجهیزات

امنیت فیزیکی سخت‌افزارها باید اولین و مهم‌ترین مرحله در امن کردن سامانه باشد. بدون پیاده‌سازی این فاز از امنیت، بقیه اقدامات امنیتی، بی‌معنی است. برای مثال اگر هر کس بتواند به سرورها دسترسی فیزیکی داشته باشد، علی‌رغم هزینه هنگفت برای امن کردن سرورها با نصب فایروال‌ها، رمزنگاری و نرم‌افزارهای آنتی‌ویروس امکان سوءاستفاده از کنترل‌های امنیتی نصب شده روی سرورها و دسترسی به اطلاعات حساس یا حتی دزدیدن یا آسیب به خود سرورها مهیا خواهد بود.

طبق بررسی‌های انجام شده، خطرات محیطی یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات امنیتی هستند.

برخی از این خطرات عبارتند از: آتش، سیل، گرد و غبار، برق و حرارت؛ هر یک از این عوامل می‌تواند برای تجهیزات رایانه‌ای مخرب باشد.

خطر آتش‌سوزی از مواردی است که باید در هر سازمان به آن توجه کرد و می‌تواند توسط هشدار دهنده‌های دود و حرارت، خاموش‌کننده‌های آتش (شیرهای آتش‌نشانی) و سامانه‌های آب‌پاش کنترل شود. آموزش کارمندان برای استفاده از این دستگاه‌ها نیز اهمیت دارد.

هشدار دهنده‌های دود و حرارت باید در داخل و خارج اتاق‌های رایانه، نصب شوند و به صورت دستی و اتوماتیک عمل کنند. ممکن است یک شخص آتش را جلوتر از حس‌گر آتش تشخیص دهد؛ بنابراین هشدار دستی جلوی بسیاری از خسارت‌ها را می‌گیرد. هر اتاق رایانه باید حداقل یک وسیله اطفا حریق مناسب داشته باشد.

تخریب‌های ناشی از آب‌گرفتگی، از دیگر خطرات زیست‌محیطی است که علاوه بر سیل ممکن است در اثر ایجاد مشکل در لوله‌های آب یا حتی سامانه‌های آبپاش داخلی رخ دهد. برای پیشگیری از خسارات این حوادث، آشکارسازهای آب باید روی زمین یا نزدیک تجهیزات رایانه‌ای نصب شوند. علاوه بر آن باید پوشش‌های ضد آب به آسانی قابل دسترس باشند.

با توجه به تاثیر دما و رطوبت بر کارکرد سامانه‌های رایانه‌ای، اختصاص یک اتاق مجزا با قابلیت تنظیم دما و رطوبت برای حفاظت از آن‌ها ضروری است. دمای اتاق رایانه معمولا باید بین ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و سطح رطوبت باید بین ۴۵٪ تا ۵۵٪ تنظیم شود (طبق دستورالعمل مربوط به تجهیزات). دما و رطوبت باید به طور منظم پایش شود و درصورت رسیدن رطوبت به ۲۰٪ یا ۷۰٪ و دما بالای ۳۰°C، سامانه باید هشدار شرایط بحرانی را صادر کند تا کارآیی تجهیزات رایانه‌ای تضمین شود.

مساله‌ای که هنگام حفاظت از عوامل محیطی باید در نظر گرفت، تداوم فعالیت سیستم‌های رایانه‌ای است. سیستم‌های رایانه‌ای نیاز به تامین برق مداوم دارند که این کار با منبع تغذیه بدون وقفه (UPS) و تولیدکننده برق (ژنراتور برق) تضمین می‌شود.

۷-۷-۲- امنیت فیزیکی و عوامل انسانی

یکی از عوامل کلیدی در سوءاستفاده از رایانه، عوامل انسانی است. آمار نشان می‌دهد که بیش‌تر از ۸۰ درصد حملات رایانه‌ای عمدی یا غیر عمدی، توسط کاربران داخلی و احراز هویت شده در سامانه انجام می‌شود. اگر شخصی توسط دسترسی‌های خاص مورد اطمینان قرار گرفت، سازمان اطمینان می‌کند که آن فرد از دسترسی‌هایی که به آن داده شده است، سوءاستفاده نمی‌کند. این تفکر در بعضی از مواقع نادرست است. بهترین روشی که سازمان برای پیشگیری از این نوع حملات می‌تواند استفاده کند، آموزش کارمندان است که حمله‌های مخرب را شناسایی کنند و گزارش دهند. یکی دیگر از اقدامات پیشگیرانه، مکانیزم‌های ردیابی و ثبت فعالیت‌های[1] شخص است که می‌تواند شامل دوربین‌های ناظر، امنیت شخصی و دستگاه‌های بیومتریک باشد. هرچند ممکن است هیچ‌کدام از این روش‌ها نتواند جلوی حمله را بگیرد اما در پیشگیری از رخ دادن دوباره آن موثر است.

با توجه به مفهوم کلی امنیت اطلاعات، امنیت فیزیکی باید در مدل امنیت اطلاعات گنجانده شود. برای تحقق این امر باید شبکه امنیت فیزیکی به شبکه IT متصل و با آن یک‌پارچه باشد؛ به عنوان مثال وقتی علائم کنترل‌کننده امنیت فیزیکی نشان می‌دهد که کارمندی ساعت ۱۵ از سازمان خارج شده است، ولی در داخل شبکه داخلی احراز هویتی در ساعت ۲۰ اتفاق افتاده است، یک هشدار اعلام می‌شود. این راه‌حل یک‌پارچه، خطرات امنیتی در سازمان‌ها را کاهش می‌دهد و هم‌چنین در کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند.

راهکارهای پدافند غیرعامل به طور خلاصه:

- استفاده از نرم‌افزارهای امن، پایدار و قابل اعتماد با توجه به نقش آن‌ها در سامانه‌های خودکار آبیاری و زهکشی
- بررسی، آزمایش و شبیه‌سازی پروتکل‌های استفاده از نرم‌افزارها قبل از استفاده از هر نوع نرم‌افزاری (ساخت داخل یا خارج)
- مطابقت سخت‌افزارهای الکترونیکی از نظر شرایط محیطی که به کارگرفته خواهند شد.
- در نظر گرفتن اصول مکان‌یابی، پوشش، مقاوم‌سازی و امکانات اعلام خبر و هشدار در طراحی خودکارسازی شبکه‌های آبیاری تا حد امکان
- یک‌پارچه‌سازی امنیت فیزیکی و امنیت اطلاعات
- ایجاد یک طرح احتمالی در شرایط بحرانی برای بازیابی و بهره‌برداری مجدد شامل: بازیابی و پشتیبان‌گیری از سرورها، داده‌ها، شبکه و اطلاعات کارکنان و همچنین تهیه قطعات و تجهیزات پشتیبان در مقادیر کافی

1- Tracking and Logging

فصل ۸

انتخاب روش‌های کنترل برای شبکه‌های آبیاری در دست بهره‌برداری

۸-۱- کلیات در امر خودکارسازی شبکه‌های موجود

تعدد و وسعت پروژه‌های در دست بهره‌برداری یا در دست ساخت شبکه‌های آبیاری در گستره کشور قابل توجه است. با توجه به قدمت شبکه‌های ساخته شده و پذیرفته شدن آن‌ها به عنوان وسیله‌ای برای بهتر شدن امر آبیاری و کشاورزی، به همین نسبت نیز دلبستگی به شرایط موجود و حفظ آن می‌تواند ریشه‌ای باشد. در فصول دوم تا پنجم، مفاهیم و محدودیت‌ها، عوامل و اجزای تاثیرگذار و مبانی کنترل در خودکارسازی به تفصیل توضیح داده شده است.

در این فصل به راهکارها و فرایند انجام خودکارسازی شبکه‌های آبیاری درحال بهره‌برداری پرداخته می‌شود. اما کلیاتی که لازم است مهندسان و بهره‌برداران قبل از اقدامات اساسی و تصمیم به برنامه‌ریزی مطالعاتی و اجرایی تحول مورد توجه قراردهند، به قرار زیر است:

۸-۱-۱- چالش‌ها

در کشور ما، ظرفیت ساخت سدهای مخزنی تامین آب کشاورزی و شبکه‌ها و کانال‌های بزرگ به سر آمده است. امروزه لازم است آنچه که ایجاد شده، بهبود یابد. سؤالات اساسی در این راستا که قبل از هر تحول بنیادی در هر شبکه باید به آن پاسخ داده شود عبارتند از:

- با توجه به شرایط جدید نیاز آبی و وضعیت موجود شبکه، آیا مجموعه ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان لزوم تغییر شرایط را پذیرفته‌اند؟
- آیا مدیران ایده‌های لازم برای تجدید ساختار به منظور پاسخگویی موثر به نیازهای پیچیده مدیریت و آبیاری نوین امروزی را دارند؟

اساسی‌ترین چالش‌های پیش رو در شبکه‌های آبیاری کشور برای ایجاد تحول به قرار زیر است:

- تولید محصول بیش‌تر در ازای هر واحد آب و انرژی مصرفی (افزایش محصول با مقدار آب و انرژی کم‌تر)
- حفاظت از محیط‌زیست

نتایج حاصل از دهه‌ها تلاش در زمینه خودکارسازی پروژه‌های آبیاری، علی‌رغم حرکت کند و نامتجانس آن در سطح جهانی، عوامل شکست را معین نموده و نیازمندی‌های لازم جهت دستیابی به موفقیت در این بخش را مشخص کرده است. نگرش اصولی در سطح مدیریت کلان کشور باید به‌گونه‌ای باشد که مدیران شبکه‌ها اقدامات لازم را درعین توجه به آخرین دستاوردها، در پاسخ‌گویی به نیازمندی‌های این تحول، اعمال نمایند.

۸-۱-۲- چشم‌انداز موفقیت

با توجه به قدمت شبکه‌های آبیاری و نهادینه شدن مدیریت اجرایی، آیا می‌توان انتظار تحول داشت؟ در عین چالشی بودن موضوع، پاسخ مثبت است. اما نباید فراموش کرد در شبکه‌های در دست بهره‌برداری در سطوح مختلف افرادی

هستند که معتقدند روش‌های توزیع آب آبیاری در عمل قابل تغییر نیست و روش‌های موجود برای شرایط محلی تطبیق یافته‌اند و اصرار دارند که تغییرات چندانی دست یافتنی نیست و خودکارسازی هدر دادن منابع مالی است.

اظهارات فوق می‌تواند بخشی از حقیقت باشد، اما این واقعیت را که ادامه روند موجود از نظر تولید محصول و حفاظت محیط‌زیست قابل قبول نیست، تغییر نمی‌دهد. بسیاری از امور فنی-مدیریتی باید تغییرکند. تغییرات نیز نمی‌تواند جزئی باشد و فرایندهای بهبود باید متحول گردند. تجربیات جهانی و موفقیت‌های تحول در سامانه‌های آبیاری برخی کشورها گواهی این نظر است.

۸-۱-۳- ظرفیت بهبود

برای ارتقای شبکه‌های در دست بهره‌برداری، در اولین مرحله باید مشخص نمود که آیا کنترلی قانونمند و کارآمد در شبکه اعمال شده است؟ و در صورت منفی بودن پاسخ، اصولا ظرفیت واقعی برای بهبود مدیریت شبکه و تولید محصول بیش‌تر به ازای مصرف آب و انرژی کم‌تر از زاویه اعمال اصولی کنترل، وجود دارد؟ در مرحله بعد باید مشخص شود که چه سطحی از بهبود از طریق سرمایه‌گذاری در مزرعه و چه مقدار بهبود از طریق ارتقای سامانه انتقال، توزیع و تحویل آب دست یافتنی است و این شرایط در موقعیت‌های مختلف شبکه در دست بهره‌برداری چگونه است؟

۸-۱-۴- سوابق و تجربیات خودکارسازی شبکه‌ها

اشراف مدیران اجرایی و مهندسان مشاور فعال در پروژه‌ها به پیچیدگی‌ها و اهمیت مهندسی خودکارسازی سامانه‌های آبیاری ضروری است و لازم است دامنه و ارزش کار قبل از شروع هر اقدامی، به درستی تعریف گردد. تا زمانی که جایگاه واقعی این تحول، برای تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیرندگان سرمایه‌گذاری مشخص نگردد، اقدام به انجام ناقص کار، بی‌فایده بوده و مساله‌ساز خواهد بود.

موفقیت تحول شبکه نیازمند بسترسازی با حضور موثر دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی پی‌ریزی می‌شود. به عنوان نمونه، مرکز تحقیقات و آموزش آبیاری ITRC در غرب آمریکا از سال ۱۹۸۹ با هدف تربیت نیروهای متخصص در زمینه نوسازی شبکه و کلیه مسایل مربوط به خودکارسازی آن‌ها تاسیس شد. این دانشگاه در نوسازی بیش از ۲۰۰ شبکه آبیاری در آمریکا فعالیت داشته که ۴۰ مورد از آن‌ها از خودکارسازی مبتنی بر PLC بهره می‌برند. بر اساس منابع معتبر جهانی توصیه کارشناسان مجرب در این زمینه این است که خودکارسازی گام به گام صورت گیرد و با استفاده از تجارب حاصل در سطح محلی و ملی، هم‌افزایی دانش و مهارت‌های مرتبط، گام‌های بعدی مستحکم‌تر برداشته شود.

۸-۱-۵- شکیبایی

یکی دیگر از پیش نیازهای موفقیت خودکارسازی، برنامه‌ریزی تدریجی و مرحله‌ای است. تجربیات نشان می‌دهد برنامه‌ریزی و اجرای حتی یک تغییر ساده، در برنامه خودکارسازی، طی یک‌سال به سختی امکان‌پذیر است. در کشورهای توسعه‌یافته، مناطقی با شبکه‌های آبیاری متعدد به صورت مرحله‌ای طی ۱۰ تا ۱۵ سال موفق شده‌اند به پیشرفت‌هایی

در این زمینه دست یابند و اکنون تجربه و تخصص مناسب کسب کرده و با سرعت بیش‌تری پیشرفت می‌کنند. با آگاهی از مشکلات و انتخاب زمان واقع‌بینانه مورد نیاز، مدیریت قاطع و صبورانه و با شناخت دقیق و انتخاب اصولی، گذر به خودکارسازی قابل قبول و اجرایی است.

۸-۲- برنامه شناخت اجزای تاثیرگذار سامانه موجود آبیاری و زهکشی

اولین مرحله در روند برنامه‌ریزی، اقدام به شناسایی همه جانبه سامانه آبیاری در دست بهره‌برداری است. برنامه‌ریزی انتخاب کنترل با توصیف اهداف و خصوصیات فیزیکی پروژه آغاز می‌شود. معیارهای بهره‌برداری تطابق کارآمد بین قابلیت‌های سامانه آبیاری و نیازهای آن رانشان می‌دهد. در این مرحله محدودیت‌های فیزیکی که با اهداف پروژه تداخل دارند، مشخص می‌شوند. توصیه می‌شود تمام این اطلاعات پیش‌نیاز، قبل از اقدام به دقت مشخص شوند. (در فصل سوم، عوامل و اجزای تاثیرگذار در بهره‌برداری خودکار شبکه‌های آبیاری به تفصیل توضیح داده شده است)

مرحله دوم برنامه‌ریزی، انتخاب روش کنترل است. این مرحله باید با انتخاب مفهومی بهره‌برداری و کنترل که معیارهای عملکرد مورد نظر را برآورده می‌کنند، آغاز شود (مفاهیم کنترل، روش‌های بهره‌برداری و روش‌های کنترل در فصل چهارم شرح داده شده است). پس از شناسایی ایده‌های مناسب برای پروژه، می‌توان روش کنترل و روش اقدام را انتخاب کرد. بیش‌تر مطالعات بهره‌برداری در این مرحله ضروری است چرا که قبل از انتخاب بهترین روش، ممکن است لازم باشد که روش‌های کنترل جایگزین با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. معمولا انتخاب بیش از یک راهبرد کنترلی و روش کنترلی ضرورت پیدا می‌کند.

مرحله سوم فرآیند برنامه‌ریزی، تعیین الزامات است. یک سامانه آبیاری موجود ممکن است برای ایجاد تغییر در روش کنترل، به اصلاحات ساختاری و تجهیزات اضافی در شرایط تغییر روش کنترل، نیاز داشته باشد. دراین مرحله جزییات آماده‌سازی کار با بررسی‌های میدانی و ملاحظات فنی تجهیزات، مشخص می‌شود. برای تعریف استراتژی‌های کنترل و پارامترهای بهره‌برداری معمولا به مطالعات کافی نیاز است.

مرحله چهارم برنامه، توجیه‌پذیری روش کنترل انتخاب شده و ارزیابی آن است. امکان‌سنجی براساس هزینه‌های برآورد شده سامانه کنترل جدید و درآمدهای حاصل از این روش صورت گرفته و شاخص مربوطه ارائه می‌شود.

مرحله نهایی (مشخصات فنی، اسناد اجرایی و اجرا)، در این مرحله اقدامات و جزییات نهایی طراحی برای آماده‌سازی و استقرار تجهیزات کنترل در محل و مشخصات فنی نصب و آزمایش پذیرش تجهیزات کنترل سامانه مشخص می‌شود. برای اطمینان از عملکرد سامانه کنترل جدید، ممکن است اصلاحاتی در محل مورد نیاز باشد. پس از این اقدامات، تجهیزات کنترل نصب، واسنجی و آزمایش می‌شود. برای اطمینان از عملکرد تجهیزات مطابق طراحی، آزمایش قبل و بعد از نصب لازم است.

فهرست اساسی‌ترین اطلاعات پایه از اجزای سازه‌ای و مدیریتی سامانه که لازم است برای تصمیم‌گیری در اختیار مدیران پروژه و کارشناسان طراح خودکارسازی قرار گیرد، در ادامه آورده شده است.

۸-۲-۱- سیمای عمومی طرح

شرح پروژه با شناسایی اهداف شبکه آغاز می‌شود. ماهیت منبع آب، نوع انتقال و مفهوم تحویل به طور خاص، اهداف سامانه را مشخص می‌کند. این عوامل همچنین تعیین خواهند کرد که آیا سامانه آبیاری، تقاضاگرا یا عرضه‌گرا خواهد بود. نقش کانال‌ها به عنوان تحویل‌دهنده، جمع‌کننده یا انتقال‌دهنده طبقه‌بندی می‌شوند (ر.ک.فصل ۳ و ۴). طرح کلی شبکه ساخته شده شامل محدوده کل اراضی تحت پوشش، واحدهای عمرانی و واحدهای زراعی و مزارع است. علاوه بر طرح کلی سامانه، ارائه مشخصات شماتیک نیم‌رخ طولی از کل سامانه، اطلاعات اولیه پیش نیاز زیر را به راحتی به تصمیم‌گیرندگان انتقال می‌دهد:

- آبگیری در سامانه ثقلی است یا پمپاژ؟
- آیا کانال از یک مخزن، سد انحرافی، یک کانال دیگر آبگیری می‌کند یا از یک رودخانه طبیعی؟
- سامانه ذخیره مخزن بالادست چند منظوره است و شامل نیروگاه‌های تولید برق یا پمپاژ می‌شود؟
- شمای کلی از استقرار سازه‌ها
- آرایش عمومی شبکه و نحوه استقرار واحدها
- پراکندگی روستاها و مراکز جمعیتی محدوده سامانه

۸-۲-۲- سامانه کنترل و توزیع

الف- زیرساخت‌های انتقال و توزیع جریان و کنترل آن که لازم است شناسنامه آن به صورت به‌روز شده تهیه شود، به قرار زیر است:

- موقعیت‌های مکانی و استقرار سازه‌های در مسیر کانال:
  - طول بازه ذخیره میان کانالی؟
  - چه تعداد سازه تنظیم در سامانه فعال است؟
  - چه تعداد سازه آبگیر انشعابی از بازه کانال تحت تاثیر سازه تنظیم قرار دارد؟
- حداکثر آبدهی طراحی برای هر بازه کانال؟
- دامنه تغییرات تقاضا در آبگیرهای درجه ۳؟
- آیا آبگیر نیازمند خودکار شدن است و قابلیت خودکار شدن دارد؟
- موقعیت مکانی و ظرفیت تخلیه سرریزهای جانبی، سیفون‌های معکوس، شیب شکن‌ها یا سایر سازه‌هایی که بر جریان تاثیر می‌گذارند.
- خصوصیات فیزیکی که باید توصیف شوند عبارتند از:
  - موقعیت مکانی سازه‌های تنظیم
  - تعداد سازه‌های تنظیم و نوع آن‌ها (قطاعی یا حرکت عمودی و...)

- چگونگی حرکت دریچه سازه، از نوع برقی، هیدرولیکی یا دستی
- نوع موتورهای بالابر: سرعت ثابت یا متغیر
- واسنجی جریان در مقابل دهانه دریچه به عنوان تابعی از سطح آب بالادست و پایین‌دست
- حس‌گرهای اندازه‌گیری سطح آب بالادست و پایین‌دست و گشودگی دریچه

ب- خدمات تحویل آب در تمامی سطوح شبکه شامل:

- سازمان و سامانه کنترلی و اندازه‌گیری جریان
- سامانه ارتباطی در سطح شبکه
- چگونگی تحویل آب از کانال اصلی یا درجه ۱ به درجه ۲ یا انشعابات در پایین‌دست
- چگونگی تحویل آب در آبگیرهای واحد مزرعه و محل تحویل به مصرف‌کنندگان
- چگونگی تحویل آب به آبگیرها و قطعات زراعی منفرد

۸-۲-۳- ضوابط و معیارها در بهره‌برداری

معیارهای بهره‌برداری یک سامانه آبیاری شامل اهداف، محدودیت‌های کاهش دامنه انعطاف‌پذیری بهره‌برداری و اقدامات توسعه‌ای لازم برای ارتقای امکانات بهره‌برداری، می‌شود.

الف- اهداف: توصیف مشخصات عملکردی سامانه آبیاری شامل اهداف دقیق تاسیسات آبگیری شبکه و آبگیرها درکانال‌های انتقال و کانال‌های انشعابی است. اهداف به عنوان اصول پایه‌ای برای انتخاب راهبرد و روش بهره‌برداری و راهبرد کنترل عمل می‌کنند. بنابراین معیارهای بهره‌برداری باید روشن، مختصر و مفید ارائه شود.

ب- محدودیت‌ها: محدودیت‌ها، توانایی سامانه آبیاری را برای پاسخگویی به تغییرات در میزان تقاضا در انشعابات و ایجاد یک رابطه کارآمد عرضه/تقاضا، محدود می‌کنند. عوامل محدودکننده، انعطاف‌پذیری بهره‌برداری را کاهش می‌دهد و توانایی حفظ سطح آب و برنامه‌های جریان مطلوب را در سامانه آبیاری تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۸-۲-۴- سازمان بهره‌برداری، پیشنهادی اولیه و موجود

بررسی مبانی و معیارهای طراحی شبکه موجود و روند تغییرات و اساسی‌ترین مواردی که توجه به آن در تهیه مدل‌ها و الگوریتم کنترل و مجموعه به هم پیوسته نرم‌افزاری بسیار با اهمیت و ضروری است، به قرار زیر خواهد بود:

الف- توانمندی مدیریت بهره‌برداری و تشکل‌ها با توجه به فرآیند دوره بهره‌برداری

ب- برنامه‌های آموزشی و ترویجی و میزان اثربخشی آن

پ- وظایف و روابط درون و برون سازمانی، مقررات حاکم بر تشکل‌ها و مدیریت بهره‌برداری و چگونگی مشارکت در خودکارسازی

ت- برنامه‌ریزی و فرایند اجرای فعالیت‌های بهره‌برداری

ث- مشکلات و آسیب‌های موجود شبکه و چگونگی مقابله با آن‌ها

ج- برنامه‌ها و روش‌های عملیاتی بهره‌برداری شبکه‌های موجود

چ- فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات

ح- شرایط و ضوابط ارائه خدمات تحویل آب

خ- دسترسی به انرژی الکتریکی و سابقه بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در منطقه

د- متوسط هزینه و درآمد و بودجه‌بندی سالانه

۸-۲-۵- اقدامات میدانی شناخت عوامل موثر

به موازات برنامه‌ریزی گردآوری گزارشات، نقشه‌ها و اطلاعات پایه دفتری مورد اشاره در بالا، برنامه‌ریزی و بازدیدهای میدانی نیز به شرح زیر انجام می‌شود:

- برنامه‌ریزی عملیات میدانی برای چگونگی پرکردن فرم‌ها توسط کارشناسان دفتری، دریافت و تکمیل نقایص
- کار دفتری-میدانی بررسی نقشه‌های چون‌ساخت شبکه آبیاری و نهایی کردن آن به همراه مدیر یا کارشناسان شبکه
- بازدید آبگیر مرکزی، بررسی دقیق نحوه کارکرد و مدیریت آبگیر مرکزی یا آبگیر اصلی در واحدی مشخص و یا آبگیر مرکزی کل شبکه که به صورت ثقلی یا پمپاژ خواهد بود، از اهمیت زیادی برخوردار است. این بررسی‌ها علاوه بر این‌که براساس نقشه‌های چون‌ساخت و مشخصات فنی طرح اولیه است، لازم است تغییرات بعدی و مسایل و مشکلات آن به لحاظ فیزیکی و مدیریتی مورد توجه باشد و با حضور میدانی متخصصین امر، گزارش قابلیت‌ها تهیه شود.
- پیمایش کانال اصلی، شروع این پیمایش از منبع آب یا آبگیر مرکزی و انتهای آن، نقطه پایان کانال اصلی و توزیع‌کننده است. در مسیر این پیمایش از کلیه سازه‌ها عکس تهیه شده و شرایط طراحی، اجرا و وضع موجود آن‌ها بررسی می‌شود. در این مسیر گفتگوی برنامه‌ریزی شده، کارشناس یا تکنسین مسوول صورت می‌گیرد. از آنجایی که مغایرت‌هایی بین آنچه واقعا انجام می‌شود و آنچه برنامه‌ریزی می‌شود وجود دارد، باید حساس بود و به مستندی روشن‌گر دست یافت. یکی از مستندات بسیار با ارزش دفترچه‌های یادداشت روزانه اپراتورها است که می‌تواند در تدقیق برخی اظهارات و گفته‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده مفید باشد.
- در پیمایش کانال اصلی و درجه ۱، آبگیرهای کانال‌های درجه ۱ و ۲ نیز بازدید می‌شوند. این آبگیرها از دو منظر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اول به عنوان جزئی از یک مجموعه در کانال اصلی و درجه ۱ و دوم به عنوان تامین آب کانال درجه ۲ که به آبگیرهای درجه ۳ تحویل به مزرعه می‌شود.

پس از طبقه‌بندی مشخصات کانال‌های درجه ۲، از تعدادی از هر کدام از این کانال‌های درجه ۲ بازدید و شرایط آبگیرهای درجه ۳ به عنوان نقاط تحویل مورد توجه قرار گیرد.

تبادل نظر با مصرف‌کنندگان آب بسیار با اهمیت است. انتخاب این افراد باید به‌گونه‌ای باشد که کارشناس بررسی‌کننده بتواند به اساسی‌ترین مسایل شبکه به روشنی دسترسی پیدا کند. پیشنهاد می‌شود:

- مصاحبه با کشاورزانی از موقعیت‌های مکانی مختلف مثلا ابتدای شبکه و انتهای شبکه به صورت انتخابی و همچنین معرفی شده باشد.
- نشست مشترک با تشکل‌های آب‌بران و دریافت اطلاعات از چگونگی تحویل و میزان آب دریافتی، آب‌بها و نحوه پرداخت آن، وضعیت خودگردانی تشکل‌ها به لحاظ مالی و مسوولیت‌پذیری آن‌ها و دامنه پذیرش تحولات اساسی و در نهایت خودکارسازی

۸-۳- تعیین محدودیت‌ها و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خودکارسازی

بررسی‌ها و کارهای تحقیقاتی زیادی در ارتباط با محدودیت‌ها و امکانات مدرن‌سازی شبکه‌ها که خودکارسازی یکی از وجوه مهم آن است، در سطح جهان انجام شده که چکیده‌ای از مهم‌ترین آن‌ها جهت توجه کاربران به صورت خلاصه ارائه می‌شود:

- مدرن‌سازی سخت‌افزاری، به طور چشمگیری می‌تواند باعث بهبود در سهولت عملکرد سامانه و همچنین سطح خدمات تحویل آب گردد. مدرن‌سازی فقط با تغییرات سخت‌افزاری یا مدیریتی به تنهایی قابل انجام نیست. نیازهای مدرن‌سازی، شامل سخت‌افزار، مدیریت و ترکیبی از این دو است.
- حضور تشکل آب‌بران کارآمد یا تشکل‌های قوی از مصرف‌کنندگان آب با تکیه بر وجود برخی ویژگی‌های مهم و کلیدی طراحی از قبیل: تعداد و تراکم کافی از آبگیرها و آب‌بندها در موقعیت‌های مناسب، می‌تواند پیش زمینه‌های موفقیت خودکارسازی را فراهم نماید.
- برخلاف پروژه‌های آبیاری موجود، در سامانه‌های آبیاری خودکار، به میزان قابل توجهی هرج و مرج و بی‌نظمی،کاهش یافته و از بین می‌رود.
- تشکل‌های آب‌بران خودگردان که توانایی قانونی کافی و حمایت‌های اجرایی لازم را داشته‌اند، در شرایط مطلوبی توانسته‌اند هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از شبکه را جمع‌آوری و تامین کنند.
- برخلاف جمع‌آوری صرف داده‌ها یا کار در دفتر، کارکنانی حتی با سطوح پایین‌تر از کاردانی اما با انگیزه و دارای ارتباطات مردمی خوب که بیش‌تر وقت خود را در شبکه آبیاری می‌گذرانند، نشان داده‌اند که خیلی موفق‌تر عمل کرده و می‌توانند مسایل و مشکلات خدمات‌رسانی را به سرعت حل کنند و رضایت کشاورزان را تا حد زیادی به دست آورند.
- چنانچه مدیران اجرایی شبکه‌های بزرگ مفهوم تقسیم پروژه به زیر مجموعه‌های قابل کنترل از لحاظ ساختار هیدرولیکی را به خوبی درک کنند تا در تقسیم‌بندی، هر مجموعه وظیفه ارائه سطح مشخصی از خدمات را به مجموعه‌های پایین‌دست را به عهده داشته باشند، می‌توان عملکرد بسیار مثبتی را انتظار داشت.

- در خودکارسازی سامانه طرح هیدرولیکی مناسب عملکرد کمابیش ساده‌تری داشته و در این شرایط می‌تواند خدمات تحویل آب به کشاورز نیز منعطف باشد.
- تجربه نشان داده در برخی شبکه‌ها، گاهی اقدامات موضعی تغییرات ساده در طرح اولیه و بهره‌برداری پیشنهادی، در عمل توانسته تاثیر چشمگیری بر روی سطح خدمات تحویل آب داشته باشد.
- برای بسترسازی تحول در سامانه‌های آبیاری و بهبود خدمات تحویل آب، حتی در شرایطی که برای این تحول نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجه و صرف زمان و هزینه وجود داشته باشد، راه‌حل‌های کمابیش ساده‌ای برای عملیاتی کردن تحول اساسی وجود دارند که متاسفانه بسیاری از مواقع در شبکه‌ها این راه‌حل‌ها تشخیص داده نمی‌شوند یا مسوولین ازنحوه انتخاب آن‌ها آگاه نیستند یا قادر به تجزیه و تحلیل و در کنار هم قراردادن آن‌ها برای وقوع یک تحول اساسی نمی‌باشند. البته این امر بدان معنا نیست که اصلاحات در مشکلات سازمانی ساده هستند، بلکه این بدان معناست که درصد قابل توجهی از محدودیت‌ها در سامانه‌های آبیاری وجود دارند که می‌تواند با استفاده از راه‌حل‌های کمابیش ساده‌ای که به خوبی نیز توسط کارشناسان خبره قابل درک هستند، حذف گردند.
- افزایش آگاهی به اهمیت و ارزش آب و باور به آن در شبکه‌های کشور با تکیه بر زیرساخت‌های باارزش موجود در آن‌ها، انگیزه و پتانسیل عالی و واقعی برای بهبود مدیریت آب و بازدهی محصول را می‌تواند در پی داشته باشد.
- برای ایجاد کادری متخصص که درک درستی از جزییات و چیدمان آن‌ها در یک برنامه خودکارسازی داشته باشند، برنامه‌های آموزشی اساسی و کاربردی قابل توجهی، با حضور فعال دانشگاه‌ها و مهندسان مشاور مورد نیاز است.

۸-۳-۱- اقتصادی بودن خودکارسازی

اقتصاد مهندسی سنتی و معمول در پروژه‌ها در تعریف نوین خودکارسازی نیاز به بازنگری داشته و لازم است درآمدهای ناپیدا که در محاسبات کنونی دیده نشده، مورد توجه قرار گیرد. اقتصاد مهندسی طرح جدید، باید ارزش ذاتی آب را در نظر داشته باشد و این‌که آیا بازده بهره‌وری آب با این تغییر در سامانه افزایش می‌یابد یا خیر و این‌که چگونه بهبود خدمات بر بهبود هزینه‌های آب و نگهداری تاثیر می‌گذارد. به‌ویژه باید توجه داشت که این عوامل لزوما در سال اول یا دوم بهبودی چشمگیر را نشان نداده‌اند.

۸-۳-۲- محدودیت‌ها و امکانات خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری در دست بهره‌برداری کشور

الف- محدودیت‌ها

- سابقه اجرایی خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور و به تبع آن تجربه کافی وجود ندارد.

- غیرواقعی بودن ارزش آب تحویلی که باعث عدم دستیابی به درآمد واقعی شده و محدودیت منابع مالی را ایجاد کرده است.
- کارکنان مرتبط با شبکه و مشاوران پروژه باید از سطح دانش و تجربیات بالاتری در ارتباط با جزییات مدیریت انتقال و توزیع برخوردار باشند.
- در شبکه‌های آبیاری کشور، کشاورزان عموما خرده مالک، در مجموع از خدمات تحویل آب که دریافت می‌کنند، ناراضی نیستند و این قناعت می‌تواند مانع تغییرات باشد. چرا که بسیاری آن را با شرایط قبل از اجرای شبکه یا با مناطق همجوار که هنوز آبگیری نامطمئن از منبع، انتقال و توزیع پرتلفات و پرهزینه و به صورت سنتی است، مقایسه می‌کنند. این در حالی است که ساختار و شرایط موجود انتقال و توزیع آب تقریبا در بسیاری از شبکه‌های آبیاری کشور نه تنها با اهداف تعریف شده فاصله دارد بلکه به هیچ‌وجه درآمد حاصل، متناسب با سرمایه‌گذاری انجام شده نیست.
- علی‌رغم تمام کارهای سخت‌افزاری و بسیج گروه عظیم نیروهای کارمندی، بهره‌وری استفاده از آب در سامانه‌ها به طور کلی بسیار پایین است. خودکارسازی باعث بیکار شدن برخی از این نیروها شده و باعث مقاومت در تغییر خواهد شد.
- استفاده از رایانه و نرم‌افزارهای به‌روز باید متناسب با نیازهای تحول واقعی در شبکه توسعه یابد. استفاده ناقص و ضعیف از این ظرفیت‌ها، باعث هدر رفت وقت و منابع مالی شده و به اعتبار «خودکارسازی» خدشه وارد کرده و آن را ضایع می‌کند.
- شبکه‌هایی با ناچیزترین خدمات تحویل آب و بیش‌ترین عدم تطابق بین خدمات اعلام شده و واقعی، دارای سازمانی گسترده هستند که باور دارند کار بزرگی انجام می‌دهند. این باور باید بازنگری شده و تغییر کند و مدیران شبکه‌ها، انگیزه برای کسب دانش در این زمینه پیدا کنند و با جسارت بیش‌تر در تحول مشارکت کنند.
- متاسفانه سامانه مدرن اغلب به درستی درک نمی‌شود و اقداماتی ساده و در کنار هم چیده شده مانند کانال‌های پوشش‌دار، دریچه‌های با قابلیت باز و بسته شدن بدون مشکل، برقی یا هیدرومکانیکال، وجود سازمان‌های مصرف‌کننده آب و مجهز بودن دفتر به کامپیوتر، نوسازی پنداشته می‌شود. در حالی‌که خودکارسازی، سامانه‌ای به هم پیوسته، فرایندی مشتمل بر فرایند فکر و ایده/طراحی/بهره‌برداری که هدف آن در نهایت، تحویل منطبق بر نیاز و تقاضای آب و مدیریت کارا و پرمنفعت در سطح یک شبکه است.

ب- امکانات:

- تحویل آب بر اساس تقاضا مورد دلخواه کشاورزان است و اکثر شبکه‌های آبیاری کشور نیازمند تغییر در جهت نزدیک شدن به این خواسته منطقی کشاورزان است.
- سیاست‌های عمومی و الزام به تحویل حجمی آب با حمایت‌های قانونی، پشتوانه خوبی برای انجام کار است.

- درصورتی‌که محدودیت آب قابل دسترس در مقابل اراضی حاصلخیز کشاورزی و ارزش ذاتی آب، به درستی تبیین شود، استقبال عمومی را درپی خواهد داشت.
- رشد روزافزون جمعیت و تامین مطمئن نیاز غذایی کشور در اولویت نخست قرار داشته و نیاز به افزایش بهره‌وری از آب، پشتوانه بسیار با اهمیتی برای تغییرات در سامانه است.
- سامانه‌های آبیاری و زهکشی کشور به عنوان زیرساخت‌های ارزشمند موجود در گستره‌ای بیش از دو میلیون هکتار، امکانات بی‌بدیلی است که نیازمند تحول می‌باشند تا عملکرد واقعی خود را نشان دهند (پ.۱-۲).
- پژوهش‌ها و تحقیقات قابل قبول و با ارزش در دانشگاه و موسسات علمی در مورد امکانات و محدودیت‌های استفاده از خودکارسازی در شبکه‌ها انجام گرفته و تاکید اساتید و محققین بر ضروری بودن و ناگزیر بودن ایجاد تغییرات در شبکه‌ها با بهره‌گیری از فناوری نوین تدوین شده است.
- ظرفیت‌های گسترده برای توسعه نرم افزارهای مورد نیاز برای خودکارسازی در اشکال مختلف آن و استقبال دانشگاه‌ها و شرکت‌های دانش بنیان در این زمینه. وجود دارد(پ.۱-۲).
- وجود سازندگان با تجربه جهت ساخت ابزار و ادوات مورد نیاز اندازه‌گیری و عملیات خودکار کنترل و توزیع آب مطلوب است.

۸-۴- راهکارهای مدرن‌سازی و بسترسازی در شبکه‌ها برای تحقق خودکارسازی شبکه‌های آبیاری

برنامه‌های موفقیت‌آمیز خودکارسازی به مدیران قدرتمندی نیاز دارند که به ضرورت کار ایمان داشته و چشم‌انداز روشنی را داشته و آینده‌نگر باشند. این مدیران در همه سطوح، از مدیران پروژه گرفته تا مجریان بهره‌برداری کانال‌ها تا کشاورزان سرگروه مزارع، باید آموزش ببینند و مهارت‌های لازم را کسب نمایند. برای آموزش خودکارسازی حتی از مراکز علمی نیز باید کمک گرفت و تجربیات جهانی را مورد توجه قرار داد. نتیجه این اقدامات، باورمندی همراه با توانایی اجرایی- مدیریتی بوده و با در اختیار داشتن منابع مالی مطمئن و پشتیبانی قانونی است که با چالش‌های پیش‌رو در هر شبکه، با قدرت می‌توان روبرو شده و بر آن فائق آمد.

برای ایجاد بستر مناسب و امکان‌پذیرشدن خودکارسازی شبکه آبیاری موجود، ۱۳ مورد ذکرشده به عنوان مراحل اصولی در مدرن‌سازی در بند ۲-۵، با توجه به امکانات و محدودیت‌های شبکه موجود، باید بررسی و پیش از خودکارسازی، عملی شود. همچنین تعریف روشن و منطقی دامنه انتظارات از خودکارسازی، تغییر در سامانه کنترل را با مشکلات کم‌تری مواجه می‌کند. از این‌رو در راهکارها توجه به موارد زیر ضروری است.

- چه سطحی از خدمات تحویل آب در چه سطحی از شبکه مورد انتظار است؟
- چشم‌انداز کلی خودکارسازی برای شبکه مورد نظر در چه سطحی منطقی و اقتصادی است؟
- رعایت الزامات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تاثیرگذار برای ارائه چنین خدماتی تا چه حد عملیاتی است؟
- کنترل خودکار و اقدامات مدیریتی متناسب با آن، تا چه میزان تاثیرات مثبت معنی‌داری در عملکرد شبکه دارد؟

- با توجه به هزینه‌ها و چالش‌ها، تغییر در سامانه چه تاثیرات اساسی در عوامل اقتصادی و اجتماعی را در پی دارد؟

۸-۵- راهکار پیاده‌سازی سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری

کارهای تحقیقاتی و تلاش‌هایی برای خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری کشور به صورت موردی و در طول یک کانال اصلی، نشان داده است که ظرفیت توسعه در این زمینه وجود دارد. اما اجرایی شدن آن نیازمند اقداماتی سنجیده و همه‌جانبه است. برای ارائه خدمات مناسب به کشاورزان، هر سامانه باید به صورت شبکه‌ای از لایه‌ها در نظر گرفته شود که هر یک از این لایه‌ها، خدماتی مشخص و تعریف‌شده را در ارتباط با لایه پایینی مرتبط در بر داشته باشد. برای این‌که ارائه این خدمات قابل کنترل باشند، باید اندازه‌گیری آبدهی (اندازه‌گیری عمق آب، آبدهی) در نقاط تحویل بین لایه‌ها و امکان انتقال آن به کنترل‌گر یا مرکز کنترل، به عنوان اصلی‌ترین متغیر کنترلی کل شبکه آبیاری، انجام شود در غیر این‌صورت کنترل خودکار، یا حتی کنترل مرکزی دستی نیز غیرقابل اجرا خواهد بود.

۸-۵-۱- انتخاب کنترل کاربردی سازه‌های تنظیمی

انتخاب طرح کنترلی مناسب در شبکه‌های موجود، از طریق بهینه‌سازی بهره‌برداری با رفع یا کاهش محدودیت‌های اعمال شده بر روی سامانه آبیاری، می‌باشد. کنترل سازه‌های شبکه آبیاری با چهار روش پایه‌ای به قرار زیر انجام می‌شود (توضیحات در بندهای ۴-۵ تا ۴-۹ فصل ۴ و ۵-۵- فصل ۵ ارائه شده است):

- محلی دستی (که در شبکه‌های موجود کشور بیش‌تر به این صورت انجام می‌شود)
- محلی خودکار (مانند سازه‌های هیدرومکانیکی یا PLC)
- کنترل نظارتی (کنترل مرکزی دستی، مرکزی خودکار، اسکادا)
- کنترل ترکیبی

کنترل محلی دستی، کنترل محلی خودکار و کنترل نظارتی لزوما از یکدیگر مجزا نیستند و در بسیاری از پروژه‌ها می‌توان ترکیبی از این شرایط را داشت. لازمه این امر، استفاده از سازه‌های تنظیمی و تجهیزاتی است که قابلیت مکانیزه شدن را داشته باشند (ر.ک. فصل ۳ و فصل ۵). برای مثال در آبگیرهای ثقلی وجود کنترل خودکار برای ایجاد آبدهی ثابت بسیار کارآمد است، چرا که با توجه به تعداد آن‌ها میراب‌ها امکان حضور به موقع در موقعیت آبگیرها را برای تنظیم نخواهند داشت. در حالی‌که محل آبگیر از تاسیسات آبگیر می‌تواند به صورت دستی کنترل شود. علاوه بر این، با توجه به تغییر آبدهی کانال در تاسیسات آبگیری، حتی با وجود آبگیرهای خودکار، همچنان نیاز به تنظیم مقادیر هدف جدید برای سازه‌های تنظیم وجود دارد که این کار در مرکز کنترل نظارتی صورت می‌گیرد.

همچنین می‌توان از کنترل محلی خودکار و دستی به صورت هم‌زمان در نقاط کنترلی استفاده کرد. با وجود RTU/PLC و درنتیجه امکان کنترل محلی خودکار نیاز به مخابره (ارسال و دریافت) دائم و پرحجم داده‌ها کم می‌شود و

پردازش اطلاعات در مرکز را کاهش می‌دهد و درنتیجه مرکز به صورت نظارتی عمل می‌کند و تنها در مواقع ضروری، دستور لازم را ارسال خواهد کرد.

مثالی دیگر در شرایط اضطراری در کنترل نظارتی خودکار است که شیوه کنترل سازه‌ها با توجه به شرایط توسط اپراتور تغییر می‌کند. در معمول‌ترین حالت آن، کنترل دستی به عنوان جایگزین کنترل خودکار در مواقع قطع برق، قطع ارتباط یا از کارافتادن عمل‌گر یا اشکال در اجرای الگوریتم کنترل به کار می‌رود. اپراتور در مرکز کنترل با مشاهده شرایط ویژه حادث شده، دستور تغییرات لازم را به اپراتورهای میدانی اعلام می‌کند یا تغییرات را در صورت امکان از راه دور مستقیم در سازه‌های تنظیمی اعمال می‌کند.

۸-۵-۲- سامانه کنترل پیشنهادی

سامانه کنترل مناسب به شرایط هر شبکه بستگی دارد. اما آنچه مهم است در انتخاب هرکدام از روش‌های فوق یا ترکیبی از آن‌ها، بهره‌گیری از سامانه نظارتی مانند اسکادا برای اندازه‌گیری و پایش شبکه‌های آبیاری ضروری است (ر.ک. فصل ۵). طبعا در شرایط موجود شبکه‌های کشور، سامانه کنترل تمام خودکار سرتاسری شبکه با ریسک‌های زیادی روبرو است. اما کنترل نظارتی (به صورت محلی دستی، یا با RTU، کنترل مرکزی دستی یا RTU/PLC، کنترل محلی خودکار) در زیر سیستم‌ها، مثلا یک واحد زراعی مشتمل بر مجموعه‌ای از آبگیرهای مزارع تحت پوشش یک کانال درجه ۲ یا واحد عمرانی مشتمل بر مجموعه‌ای از آبگیرهای واحدهای زراعی تحت پوشش یک کانال درجه ۱، قابلیت اجرایی دارد.

از آنجایی‌که بیش‌تر سامانه‌های آبیاری کشور برای ایمنی و نگهداری پیشگیرانه، نیاز به گشت‌زنی روزانه توسط یک میراب دارند، معمولا این میراب‌ها در هنگام انجام وظایف منظم گشت‌زنی، کنترل دستی محلی را انجام می‌دهند. حتی هنگامی که سامانه آبیاری از کنترل محلی خودکار توسط دریچه‌های هیدرومکانیکی تنظیم سطح آب استفاده می‌کند، ممکن است سایر سازه‌های کنترل آبدهی و آبگیرها نیازمند تنظیم باشند، از این‌رو حفظ این نیرو ضرورت خواهد داشت.

یک روش عمومی، ترکیب کنترل دستی محلی با یک سامانه کنترل نظارتی است که قابلیت دریافت داده‌های اندازه‌گیری شده از کل شبکه و درنتیجه پایش شبکه را از راه دور دارد. با نظارت از راه دور و دریافت اطلاعات تغییرات آبدهی، سطح آب، باران‌سنج‌ها یا اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری در بالادست، می‌توان میراب‌ها را به محل اعزام داشت تا تنظیم سازه‌ها را انجام دهند. در شبکه‌های کوچک‌تر این ترکیب نظارت از راه دور با کنترل محلی دستی، با هزینه مناسب در بودجه بهره‌برداری و نگهداری قابل دستیابی است. در این شرایط تنها با نظارت بر پارامترهای حیاتی، مسوول آب می‌تواند کارایی یک بهره‌برداری معمول را به میزان قابل توجهی افزایش دهد، اگرچه در این حالت کنترل خودکار وجود ندارد.

یک ترکیب ایده‌آل، استفاده از کنترل محلی خودکار سازه‌های تنظیمی شبکه با کنترل نظارتی دستی از ایستگاه مرکزی است. در این حالت نیازی به بازدیدهای مکرر میراب‌ها از سایت نبوده و مقادیر هدف را می‌توان از ایستگاه مرکزی تنظیم نمود. کنترل خودکار محلی می‌تواند شرایط جریان عادی را حفظ کند و در صورت خرابی تجهیزات کنترل

خودکار محلی، کنترل نظارتی از ایستگاه مرکزی قابل اتکا است. از این‌رو در شرایطی که دریچه‌های کنترل کانال در بالادست و پایین‌دست یک کنترل‌کننده دریچه تنظیمی از کار افتاده باشد، این دریچه‌ها به صورت دستی تنظیم می‌شوند تا عملکرد متعادل تا زمان تعمیر تجهیزات حفظ شود. همچنین در شرایط اضطراری، مانند ورود جریان پیش‌بینی نشده به کانال، مدیر واحد بهره‌برداری، می‌تواند مقادیر هدف را با دریافت اطلاعات از کل سامانه اصلاح کند و اقدام کنترلی لازم را اعمال نماید. باید تاکید شود که در اجرای کنترل محلی خودکار به همراه کنترل نظارتی دستی، بهتر است ابتدا کنترل محلی دستی به همراه کنترل نظارتی دستی (روش قبل) اعمال شود تا اشکالات کنترلی مشخص شده و کارایی منطق کنترلی و الگوریتم‌های کنترل تایید شود. به علاوه کارشناسان و اپراتورهای مرکز کنترل تجربه و توانایی کافی را برای گذار به کنترل محلی خودکار و نظارت و کنترل دستی از راه دور به دست آورند.

کانالی را در نظر بگیرید که دارای تجهیزات اندازه‌گیری است که با دستگاه کنترل مرتبط نیستند. همچنین آبگیرها به دلیل تعداد زیاد در ابتدای طرح خودکار نشده‌اند. در این مثال، اپراتور دریچه آبگیر را تنظیم می‌کند تا آبدهی مورد نیاز را بر اساس اطلاعات دستگاه اندازه‌گیری آب تامین کند. سازه تنظیم عرضی با کنترل محلی خودکار، سطح آب در کانال را کنترل می‌کند تا بار آبی در آبگیر ثابت باشد. با حفظ سطح آب، کنترل‌گر خودکار اساسا یک آبدهی ثابت را در آبگیر فراهم می‌کند. بنابراین، طرح کنترلی با شرایط ذکر شده، ترکیبی از ویژگی‌های کنترل دستی و خودکار است. با گذر زمان و درنظر گرفتن تمهیدات لازم انتظار می‌رود کنترل دستی کم‌تر و کنترل خودکار به تدریج بیش‌تر شود.

همان‌طور که اشاره شد، استفاده هم‌زمان از روش‌های کنترل دستی و خودکار و گذار تدریجی به سمت کنترل خودکار، معمولا ترکیبی عملی از روش‌های کنترل است و با کاهش ریسک و روند تدریجی اجرا، منافع اقتصادی و بهره‌برداری بیش‌تری از پروژه را در اختیار واحد بهره‌بردار قرار می‌دهد. (برای اطلاعات تکمیلی رجوع شود به بند ۹-۳-۱- در فصل ۹)

۸-۵-۳- انتخاب روش‌های کنترل ساده‌تر در شبکه‌های تحت بهره‌برداری

مواردی که استفاده از خودکارسازی مبتنی بر PLC مجاز نبوده و نباید توصیه شود، در بند۲-۷ فصل ۲ تشریح شده است. اگر اهداف مشابه خودکارسازی مبتنی بر PLC را بتوان به‌روش‌های کنترلی ساده‌تری به‌دست آورد، باید از آن روش‌های ساده‌تر استفاده کرد.

عملی‌ترین و موثرترین اقدامات و شاید تا حدودی ساده و قابل دسترس‌ترین آن‌ها برای تحول مثبت در شبکه شناخت نقاط ضعف و قوت و امکانات و محدودیت‌ها در شبکه در دست بهره‌برداری است. اساسی‌ترین این پارامترها که در فصول گذشته نیز بحث شد، از جنبه تاکیدی آن به قرار زیر است.

- شبکه جاده‌های دسترسی برای حضور در نقاط کلیدی با وسایط نقلیه موتوری چگونه بازسازی شود؟
- سامانه اندازه‌گیری در چه سطحی شبکه را پوشش می‌دهد؟ در هر شرایطی نصب تجهیزات اندازه‌گیری و استقرار سامانه اندازه‌گیری پیوسته و قابل اعتماد ضروری است.

- سازه‌های تنظیم سطح آب تا چه میزان قابلیت کنترلی دارند؟
- سازه‌های آبگیری تا چه میزان قابلیت کنترلی دارند؟ قابل کنترل بودن آبگیرهای اصلی امکانات خوبی برای مدیریت مطلوب سامانه است.
- سازه‌های آبگیری، قابلیت اندازه‌گیری دارند یا با تغییر مختصر به این قابلیت می‌رسند؟ توصیه این است که به فوریت این امر در شبکه بررسی شده و به اقتصادی‌ترین شکل این اقدام صورت گیرد.
- روش‌های کنترلی موجود و ارزیابی آن چگونه است؟ روش‌های کنترلی حتی به صورت غیر خودکار درصورتی‌که یک‌پارچه و با انضباط باشد، بسیار موثر خواهد بود.
- دستورالعمل‌ها تا چه حد مستند، اجرایی و قابل کنترل است؟ بازنگری، کنترل و به‌روز رسانی شود.
- قطعه‌بندی و آرایش عمومی شبکه تا چه میزان هم شکل و هم اندازه‌اند؟
- مدیریت شبکه و مشارکت تشکل‌ها در نحوه انتقال مدیریت انتقال و توزیع می‌تواند به انتخاب کنترل ساده‌تر کمک نماید.
- تامین منابع مالی شبکه از لحاظ خودگردانی در چه وضعیتی قرار دارد؟ خلاهای قانونی تا چه حد مشکل‌زا است و راهکارهای حمایتی از فروش آب، چگونه است؟ حل مشکل مالی سامانه و داشتن نقدینگی برای تغییرات اهمیت ویژه‌ای دارد.
- شرایط مالکیت اراضی چگونه است؟
- وجود دفتر و مکان مدیریت، تجهیزات دفتری مناسب، وضعیت مناسب وسایط نقلیه، تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل کافی، در اشکال کنترل ساده‌تر مفید و موثر هستند.
- سیستم ارتباطی مدیریت و عوامل اجرایی چه مقدار گسترده است؟
- برنامه‌های نرم‌افزاری مناسب و مورد استفاده کارکنان موجود یا قابل تهیه است؟
- برنامه‌های آموزشی کاربردی، طراحی و تدوین شده است؟
- سامانه مستندسازی و ثبت اطلاعات وجود دارد؟
- تحویل آب به چه صورت است؟ سهمیه‌بندی، تحویل حجمی آب، بازارهای فعال آب و...
- آیا تدقیق روش‌های محاسبه حجم آب مصرفی و دریافت آب‌بها انجام گرفته است؟
- میزان اعتماد کاربران به خدمات تحویل آب و کنترل صحیح آب چه میزان است؟

شناخت دقیق موارد فوق، امکان انتخاب روش‌ها را ساده‌تر می‌کند و برای شرایطی که امکان تغییرات و تحول بنیادی از جمله تعویض آبگیرها و سازه‌های کنترل نباشد، لازم می‌شود از تمامی ظرفیت‌های موجود زیر ساختی و برنامه‌ای، حداکثر استفاده را به عمل آورد و با تغییرات در سازه تاسیسات آبگیری و آبگیرهای اصلی و استفاده از سامانه نظارتی، کنترل قابل قبولی را پیاده نمود. نمونه‌هایی از شبکه‌های آبیاری موجود با شرایط متفاوت برای خودکارسازی در ادامه ارائه شده است.

الف – شبکه‌های با سازه‌های نیمه‌خودکار هیدرولیکی

در شبکه‌های سفیدرود، زرینه‌رود و دشت قزوین، سیستم کنترل انتخابی بیش‌تر دریچه‌های آمیل و آبگیرهای مدول نیرپیک (دریچه‌های پیمانه‌ای) است و در عمل سامانه تنظیم سطح آب خودکار هیدرولیکی و دریچه‌ها از نوع اندازه‌گیر دستی و محلی است. ظرفیت حداکثر مدول‌های C , L , XX , X به ترتیب معادل ۱۵۰، ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ لیتر در هر ثانیه و دامنه خطای اندازه‌گیری با تغییرات سطح آب نسبت به عمق نرمال، به ترتیب دریچه‌های تک‌سپره فوق به عمق ۷، ۱۱، ۲۰ و ۳۳ سانتی‌متر و برای دوسپره به عمق ۲۶، ۳۶، ۵۱ و ۸۳ به میزان ۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و۶۰۰ لیتر در هر ثانیه در هر آبگیر خواهد بود و این به روشنی ضعف تنظیم و اندازه‌گیری خودکار هیدرولیکی را نشان می‌دهد و تبدیل آن به سامانه قابل کنترل خودکار و ممانعت از دخالت‌های افراد مزاحم بدون هزینه‌های قابل توجه، به سادگی امکان‌پذیر نیست. با توجه به ویژگی تعادلی هیدرولیکی دریچه‌های آمیل شاید بتوان عملکرد تنظیمی تعادلی آن را قابل کنترل و در دامنه مشخص و قابل قبولی از عمق نرمال، کنترل و خطای اندازه‌گیری را اصلاح نمود. اما باید توجه داشت که این نوع سازه کنترلی بیش‌تر در ارتباط با یک دریچه مدول نیرپیک مشخص و استقرار یافته در رقوم معینی تعریف شده و در عمل بررسی تغییر مکانیسم هیدرومکانیکال به هیدرومکانیکال تنظیم شونده، جای تامل دارد. دریچه‌های مدول نیرپیک نیز سازه‌ای ویژه و غیر قابل تبدیل به آبگیر تنظیم‌شونده خودکار است. از این‌رو در این شبکه‌ها تاکید بیش‌تر باید بر روی سامانه کنترل ترکیبی متناسب با ساختار آن باشد.لذا اصلاح مدیریت بهره‌برداری باید متناسب با خودکارسازی تاسیسات آبگیری، ایستگاه‌های پمپاژ ، مخازن تنظیمی و تحت کنترل در آوردن کانال‌های اصلی تغذیه‌کننده و و توسعه امکانات ذخیره‌ای بازه‌های مابین دو سازه این کانالها (ذخایر میان کانالی) ، اقدام گردد .

ب- شبکه‌های با سازه‌های با قابلیت خودکارشدن

در شبکه‌هایی که سامانه کنترلی و آبگیری آنها مجهز به دریچه های کشویی و قطاعی هستند خودکارسازی در اشکال مختلف آن عملی بوده و با تغییراتی در دریچه‌های کشویی، سازه قادر به اندازه‌گیری و کنترل خودکار می‌شود.. آبگیرهای این شبکه‌ها عمدتا کشویی است که با اقدامات اصلاحی ارائه شده در «ضوابط انتخاب و بهره‌برداری از تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی- ضابطه ۸۳۳ سازمان برنامه و بودجه کشور» می‌توان قابلیت اندازه‌گیری خودکار را به آن‌ها اضافه نمود. در صورت امکان‌پذیری این اقدامات، تا حدودی بستر تغییر سازه‌های موجود به سازه‌های با قابلیت تنظیم و کنترل خودکار فراهم است و در چنین شرایطی، اقدامات نرم‌افزاری ضرورت پیدا می‌کند که شرح مختصری از آن در چند محور زیر ارائه می‌شود:

- مدل‌سازی برای بررسی گزینه‌های قابل انتخاب (تجهیزات تکمیلی، محل نصب، فرایند کنترل خودکار)
- تعیین راه‌حل کنترلی (با توجه به سازه‌های تنظیمی مانند دریچه، سرریز و ... موقعیت سازه‌ها و روند موجود)
- اصلاح روند و الگوریتم‌های کنترل برای رسیدن به اهداف خودکارسازی (احتمالا سخت‌ترین مرحله)
- آزمایش طرح‌های کنترلی (مدل‌سازی یا بهره‌برداری بخش به بخش شبکه)

- شروع عملیات عمرانی و اجرایی

که به صورت مشروح در فصول مختلف این راهنما به آن اشاره شده است.

۸-۶- توجیه‌پذیری طرح خودکارسازی در شبکه‌های موجود

امکان‌سنجی سامانه کنترل جدید بر اساس ارزیابی هزینه‌ها و درآمدهای واقعی قابل قبول، استوار است. در هر صورت هزینه‌ها نباید بیش از آن چیزی باشد که واحد بهره‌برداری سامانه آبیاری قادر به پرداخت منطقی آن است چرا که این مبلغ بر اساس توانایی کشاورزان یا ارزش افزوده ملی، قابل توصیه است.

برای هر گزینه پیشنهادی سامانه کنترل، کلیه هزینه‌های اجرای سامانه کنترل باید برآورد شود. برآورد درآمدها دشوارتر است زیرا ممکن است بسیاری از مزایای درآمدی نامشهود باشد. برای برآورد مزایای مرتبط با یک سامانه کنترل، قضاوت کارشناسی قوی و تجربه در امر بهره‌برداری لازم است.

بیش‌تر منافع و مزایای محسوسی که ارزش ریالی آن به وضوح مشخص شده باشد، کم‌تر از هزینه سامانه کنترل جدید است. با این حال، جذابیت مزایای نامشهود (آن مزایایی که برآورد ارزش ریالی آن‌ها دشوار است) باعث می‌شود که برای اجرای سیستم کنترل، تلاش لازم برای برآورد نزدیک به واقعیت صورت پذیرد. معمولا امکان اجرای یک سیستم کنترل جدید تا حد زیادی به قضاوت کارشناسی بستگی دارد.

۸-۶-۱- انواع هزینه‌ها

برای انتخاب کنترل مناسب، باید هزینه دو یا چند گزینه مختلف برآورد شود. هزینه‌ها شامل موارد زیر خواهد بود:

- خدمات مهندسی (مطالعات بهره‌برداری و تدوین دستورالعمل‌ها، نقشه‌برداری، آزمایشگاه و ...)
- آماده‌سازی بازسازی‌های لازم برای استقرار تجهیزات جدید
- خرید تجهیزات و ابزاردقیق کنترل و اندازه‌گیری
- نصب، راه‌اندازی و آزمایش سامانه
- هزینه‌های مرتبط بهره‌برداری و نگهداری و جایگزینی و آموزش

مطالعات بهره‌برداری و تهیه دستورالعمل‌ها، انتخاب و اجرای سامانه خودکار، بسته به دامنه و پیچیدگی مدل ریاضی مورد نیاز، می‌توانند پرهزینه باشند. برخی از طرح‌های کنترلی برای توسعه و تایید روش کنترل انتخاب شده و پارامترهای کنترل برای شرایط مختلف جریان، به مدل‌سازی گسترده رایانه‌ای نیاز دارند. برخی مدل‌های ریاضی در این زمینه موجود است. برخی از آن‌ها را می‌توان در رایانه شخصی اجرا کرد. تهیه مدل ریاضی مناسب و منطبق بر شبکه و یادگیری استفاده از آن، ممکن است هزینه‌بر باشد.

گاهی مطالعات بهره‌برداری توسط سازمان بهره‌بردار مبتنی بر راه حل سعی و خطا استوار است که این روش در شرایط پیچیده بودن سامانه عملی نیست. بنابراین نیاز به زمان طولانی‌تر برای بررسی همه شرایط مختلف جریان و

سناریوهای بهره‌برداری دارد. اگر واحد بهره‌برداری سامانه آبیاری توانایی انجام آن را نداشته باشد، خدمات مهندسی لازم به صلاحدید دستگاه اجرایی و توسط اشخاص حقیقی و یا حقوقی صاحب صلاحیت به صورت مقتضی انجام شود. بنابراین هزینه‌های مهندسی برای انتخاب و تایید طرح کنترل پیشنهادی باید در قالب خدمات مهندسی در هزینه‌ها ملحوظ شود.

هزینه‌های آماده‌سازی نقاط کنترلی شامل؛ حس‌گرها، محل حفاظت تجهیزات، چاهک آرامش سطح آب، به‌روزرسانی امکانات مکانیکی/ الکتریکی موجود، کانال‌های ارتباط عملیات بهره‌برداری، تجهیزات حفاظت الکتریکی می‌باشد. لوله‌های برق، سیم و کابل و سایر موارد نیز باید منظور گردد. برای تغییر روش کنترلی سامانه آبیاری موجود، شاید تغییراتی سازه‌ای در طول شبکه و در موقعیت‌های نصب تجهیزات مورد نیاز باشد.

هزینه‌های تجهیزات کنترلی بر اساس تجربه طراحان سامانه و استعلام از تامین‌کنندگان تجهیزات، برآورد می‌شود و چه‌بسا بالاترین بخش از هزینه‌ها خواهد بود. هزینه‌های تجهیزات کنترل باید شامل آموزش تجهیزات، مستندسازی و قطعات یدکی باشد.

هزینه‌های نصب و آزمایش: شامل نصب، واسنجی و سنجش عملکرد و راه‌اندازی میدانی برای بهره‌برداری، نصب سخت‌افزار و نرم‌افزار باید مورد توجه قرار گیرد. پرسنل آموزشی که برای بهره‌برداری از کانال با سامانه کنترل جدید اختصاص داده شده‌اند، باید در این زمینه لحاظ شوند.

تکنسین‌های مسلط به نرم‌افزار و سخت‌افزار سامانه‌های کنترل و ارتباطات و همچنین آشنایی برای تهیه آسان لوازم یدکی برای تسهیل خدمات و تعمیر به موقع، ضروری است.

مراجع معتبر حداکثر هزینه یک سامانه کنترل را به طور کلی تقریبا ۲ درصد از کل هزینه‌های پروژه سامانه آبیاری برآورد می‌کنند (به استثنای هزینه‌های استملاک اراضی). گاهی هزینه‌های بالاتر، زمانی قابل توجیه است که به‌روزرسانی سامانه کنترل، منجر به مزایای ملموسی شود که هزینه سامانه کنترل جدید را جبران می‌کند.

معمولا توجیه‌پذیری هزینه سامانه‌های کنترلی پیچیده‌تر برای سامانه‌های کوچک موجود، حتی وقتی هزینه تجهیزات کنترلی قابل قبول باشد، مشکل داشته و غیر عملی است. چرا که سایر هزینه‌های مرتبط در روند مطالعه و اجرا، ممکن است توجیه‌پذیری را منفی و مانع اجرای پروژه شوند. از جمله این موارد آماده‌سازی لازم، هزینه مهندسی برای انجام مطالعات و هزینه‌های نگهداری مرتبط با نیاز به تخصص فنی بیش‌تر، می‌تواند به سهولت منافع آشکار سامانه‌های آبیاری کوچک‌تر را نفی کند.

۸-۶-۲- انواع درآمدها

برای درک واقعی درآمدها باید اهداف و مزایای سامانه کنترل خودکار سامانه آبیاری فراموش نشود:

- خدمات بهتر به استفاده‌کنندگان از آب
- انتقال کارآمد آب، کاهش تلفات بهره‌برداری و فراهم کردن آب برای گسترش پهنه آبیاری

- کاهش هزینه‌های بهره‌برداری
- ایجاد شفافیت و حسابرسی
- حفاظت از محیط زیست و حفظ سلامت رودخانه‌ها
- ایجاد بسترهای ارتباطی کاربردی و ساده برای آب‌بران و مقامات مسوول برای ارتباط موثر و در نتیجه تطابق سفارش و تخصیص آب

برآورد ارزش ریالی بسیاری از مزایای نامحسوس ارائه خدمات بهتر به استفاده‌کنندگان از آب، دشوار است. یک سامانه کنترل به‌روز شده، به کاربر امکان می‌دهد مقدار برنامه‌ریزی شده آب را در زمان مشخص شده، برخلاف محدودیت‌های روش‌های کنترل معمولی، دریافت کند. وقتی محصولات بتوانند مقدار مناسب آب را در زمان مناسب استفاده کنند، تولید مزرعه و کارایی آن افزایش می‌یابد. بنابراین، استفاده‌کنندگان از آب می‌توانند مزایای قابل توجهی دریافت کنند.

کاهش تلفات و انتقال کارآمد آب از منبع به واحدهای مزارع از اهداف مدیریت در مصرف آب بوده و ضروری است. در بسیاری از سامانه‌های آبیاری، کاربران برای دریافت آب مازاد رقابت می‌کنند. این درحالی است که در بسیاری از پروژه‌ها، کاهش میزان هرزآب قابل محاسبه نبوده و در عمل به توجیه اقتصادی سامانه کنترل کمک نمی‌کند. مزایای این پروژه‌ها در درجه اول نامشهود است اما وقتی صرفه‌جویی آب باعث توسعه اراضی دیم زمین‌های موجود کشاورزی گردیده و بتوانند آبیاری شوند، قابل مشاهده و محاسبه خواهد بود. هر زمان آب پمپ شود، کاهش تلفات، باعث صرفه‌جویی اقتصادی در اثر کاهش مصرف برق می‌شود. زیرا این یک مزیت برای پروژه‌ای که شامل مقدار قابل توجهی واحدهای پمپاژ است، محسوب می‌شود. در بیش‌تر کانال‌های موجود به خصوص سامانه‌های قدیمی‌تر، سامانه کنترل این امکان را دارد که نیاز به هرزآبروها را حذف کند. حذف یا کاهش این مجاری، تبعات منفی و خسارات احتمالی این جریانات اضافی در مجاری و زمین‌های اطراف کاهش داده ولی از فواید نامحسوس ناشی از عدم استفاده از سامانه کنترلی است که کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، اصلی‌ترین مزیت قابل لمسی است که می‌توان آن را با هزینه سامانه کنترل مقایسه کرد.

با اجرای خودکار محلی، نظارتی یا ترکیبی از روش‌های کنترل، تعداد میراب‌های مورد نیاز برای کنترل سامانه آبیاری (به‌ویژه یک سامانه پیچیده) کاهش می‌یابد. با این حال، حداقل کنترل روزانه سامانه آبیاری توسط میراب برای بررسی اقدام غیرمجاز، خراب‌کاری یا سایر خطرات احتمالی که می‌تواند ایمنی را به خطر بیندازد، ضروری است. بنابراین، سامانه‌های کانال‌های کوچک‌تر معمولا کاهش قابل توجهی از هزینه‌های پرسنلی را محقق نمی‌کنند. به عنوان یک قاعده کلی، حذف دو میراب معمولی و جایگزینی آن با یک تکنیسین واجد شرایط برای حفظ سامانه کنترل جدید به طور تقریبی هزینه یکسانی دارد.

در پروژه‌هایی که تولید انرژی برقابی و پمپاژ آب وجود دارد، با سامانه خودکار و اجرای بهینه‌سازی برنامه‌های پمپ/ژنراتور، می‌توان کاهش قابل توجهی را در هزینه انجام داد. اجرای خودکار بهره‌برداری از ایستگاه‌های پمپاژ در خارج فصل پیک مصرف آب و در صورت امکان پیک مصرف برق، باعث کاهش هزینه انرژی می‌شود. بهینه‌سازی تولید انرژی باعث

افزایش درآمد می‌شود. هزینه کاهش یافته برای پمپاژ و افزایش توان مصرفی برق می‌تواند هزینه یک سامانه کنترل را جبران کند.

یک سامانه کنترل دارای توانایی‌هایی برای از بین بردن نوسانات شدید سطح آب درکانال‌ها را دارد که به دلایل مختلف و در شرایط جریان غیرعادی و اضطراری رخ می‌دهد و از این رو باعث کاهش آسیب به پوشش کانال و خاکریز می‌شود. این کاهش خسارت در هزینه نگهداری و در کوتاه مدت، کم‌تر ملموس است و می‌توان براساس سوابق نگهداری تاریخی برآورد شود.

۸-۷- واحد آزمایشی

قابلیت‌ها و اثربخشی خودکارسازی در واحد آزمایشی نشان داده می‌شود. در شرایطی که هدف خودکار نمودن کل سامانه باشد، این واحد انتخابی آزمایشی می‌تواند مجموعه مزارع تحت پوشش یک کانال درجه ۲ باشد. مبانی و اقدامات ضروری در این واحد آزمایشی شامل موارد زیر است:

- برقراری یا بهبود دسترسی به سایت‌های کلیدی کنترل
- بهبود یا ارتقا سامانه ارتباطات از طریق استفاده از فناوری نوین
- بهبود تجهیزات و سازه‌های کنترل سطح آب و آبگیری منطبق بر طرح نوین
- عملیات سیستماتیک کنترل و اندازه‌گیری جریان در نقاط کلیدی و مستندسازی آن
- استقرارسایت کنترل از راه دور جهت ارزیابی عملکرد
- بهبود زیرساخت‌ها و امکانات دفتری و آموزش مشارکت در اقدامات میدانی

در فرایند بهره‌برداری از سامانه، باید اطمینان حاصل شود که تلاش‌های اولیه ثمربخش بوده و به خوبی عمل می‌کنند. اهداف این مزارع آزمایشی علاوه بر اطمینان از عملکرد طرح خودکارسازی، برای کارشناسان و مدیران است. توصیه شده است بارها با افرادی که تحت تاثیر این پیشرفت‌های چشم‌گیر پروژه قرار گرفته‌اند، تبادل نظر شود خواه آن‌ها میراب کانال‌ها باشند یا مهندسین یا کاربران نهایی (کشاورزان). باید مطمئن شویم که این افراد از پیشرفت‌ها راضی هستند و پیشنهادات خود را مطرح کرده و در این ایده‌ها، تغییرات لازم را به درستی درک می‌کنند. در چنین شرایطی اهمیت آموزش میدانی مورد تاکید است.

برنامه‌های بازدید از موفقیت واحد آزمایشی به‌ویژه در ارتباط با ذی‌نفعان واحد، مهم است. بدیهی است مشاهدات آن‌ها و تبادل نظر با کشاورزان مربوطه باعث می‌شود افراد و ذی‌نفعان بیش‌تری از مناطق دیگر پروژه متمایل به ایجاد تغییر در مناطق خود گردند. اگر ذی‌نفعان واحد زراعی آزمایشی قانع و مشتاق نباشند، تلاش‌های خودکارسازی پروژه شاید نامناسب و بی‌فایده و حفظ و حراست از تجهیزات صحرایی، بی‌نهایت دشوار خواهد بود.

طبعا دستاورد واحد آزمایشی شامل همه جنبه‌های سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و مدیریت سامانه است که مشخص می‌نماید ادامه عملیات خودکارسازی تا چه سطحی و با چه تغییراتی انجام شود.

ملاحظه «تجارب و سوابق سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری» که در پیوست ۱ ارائه شده است، موجب دید روشن‌تر در ارزیابی شده و به ایده‌گرفتن برای چگونگی تغییر در شبکه‌های موجود کمک می‌کند.

فصل ۹

انتخاب روش‌های کنترل خودکار در سامانه‌های آبیاری و زهکشی– مرحله طراحی

۹-۱- مقدمه‌ای بر طراحی سامانه آبیاری خودکار

همچنان که در ضابطه ۲۸۱ سازمان برنامه و بودجه کشور تاکید گردیده است «هدف از ساخت شبکه‌های آبیاری، فراهم آوردن امکان توزیع و تحویل آب به صورت عادلانه به‌لحاظ مکانی و زمانی در راستای بهره‌وری حداکثری از منابع آب و خاک با ایجاد تاسیساتی است که در آن‌ها اصول و ضوابط فنی و اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی رعایت شود و در نتیجه حداقل تلفات آب و حداکثر بهره‌وری را به همراه داشته باشد و در عین حال میزان سرمایه‌گذاری و طول زمان اجرا نیز به حداقل ممکن کاهش یابد». از این‌رو در طرح‌های مطالعاتی جدید ضابطه یادشده مورد تاکید است. اما در جهت عملیاتی شدن و توسعه حداکثری آن، به‌کارگیری روش‌های کنترل خودکار در سامانه‌های آبیاری و زهکشی ضرورت‌یافته که در اینجا به آن پرداخته می‌شود.

از نظر تئوری می‌توان گفت که طراحی یک سامانه خودکار انتقال آب آبیاری جدید، نسبت به اصلاح یک شبکه موجود برای خودکارسازی مزیت بیش‌تری دارد، زیرا طراح می‌تواند از همه گزینه‌های ممکن برای دستیابی به یک طراحی بهینه سامانه استفاده کند. بهره‌برداری و کنترل به یکدیگر وابسته هستند و خودکارسازی، ابزاری برای ارتقای کنترل و مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری است. طراحی سامانه خودکار آبیاری جدید باید اهداف مدرن‌سازی را برآورده کند و برای دستیابی به این اهداف باید موارد زیر در خودکارسازی درنظر گرفته شود:

۱- ایجاد یک چارچوب خودکار برای برقراری تعادل بین سفارش آب و برنامه تحویل آب
۲- ثابت نگه‌داشتن سطح آب در حداکثر مجاز در تمامی بازه‌های کانال تا فراهم نمودن بارآبی و آبدهی لازم برای بخش‌های بعدی
۳- کاهش یا حذف سرریز آب در سامانه آبیاری از طریق مطابقت بین عرضه و تقاضای آب در کل سامانه و هر نقطه کنترلی در شبکه
۴- حذف برداشت‌های اضافی در آبگیرهای مزارع و سرریز آب مازاد در انتهای آن‌ها با کنترل دقیق آبدهی مطابق با نوع محصول، نیاز آبی و آب قابل تخصیص

برای امکان‌پذیرکردن خودکارسازی وجود عوامل زیر لازم است:

- دریچه‌های خودکار هوشمند که با تجهیزات اندازه‌گیری مناسب مرتبط شده‌اند و می‌توانند مستقل یا هماهنگ با مجموعه‌ای از دریچه‌ها و به صورت مداوم در سامانه آبیاری عمل کنند تا امکان حفظ سطح آب در محدوده رقوم طراحی‌شده در تمامی بازه‌های شبکه فراهم گردد.
- زیرساخت‌های ارتباطی و مخابراتی با قابلیت دسترسی و ظرفیت تبادل بالا و زمان تاخیر کم تا ارتباط مطمئن بین دریچه‌های خودکار و مرکز کنترل ایجاد گردد.

- نرم‌افزارهای مدیریت آبیاری که به مقامات مسوول شبکه امکان مدیریت سفارش آب و برنامه‌ریزی تحویل، درنظر گرفتن حقوق آب، پایش و تجزیه و تحلیل مصرف و ارتباط با آب‌بران و سایر قابلیت‌های حسابداری آب را فراهم کند.

۹-۲- فرایند طراحی سامانه آبیاری خودکار

در طراحی سامانه‌های آبیاری خودکار باید رویکردهای جدید و غیرسنتی گرفته شود. اگر طراحی تنها بر اساس فرضیات حالت پایدار و روش‌های بهره‌برداری متداول سنتی صورت گیرد، گزینه‌های مناسب بهره‌برداری که با خودکارسازی امکان‌پذیر هستند به دلیل محدودیت‌های ساختاری حذف خواهند شد. در رویکرد جدید طراحی باید شرایط واقعی بهره‌برداری، شامل انواع جریان‌ها در شبکه و گزینه‌های مختلف و منعطف بهره‌برداری درنظر گرفته شود. طراحی جدید شبکه باید با مطالعه جامع جریان ناپایدار و ارزیابی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری شروع شود. بعد از مشخص شدن راهبرد بهره‌برداری، روش‌های کنترل سازگار را می‌توان بررسی و انتخاب کرد و سپس منطق و الگوریتم کنترل خودکار و تجهیزات مناسب را طراحی و تعیین نمود.

به طور معمول، طراحی جدید یک کانال خودکار یک فرایند تکرارپذیر است. یک طراح ممکن است بارها و بارها برای ارزیابی گزینه‌های طراحی یا تغییر آن‌ها به مراحل قبلی برگردد. گام‌ها در طراحی سامانه آبیاری خودکار به ترتیب زیر پیشنهاد شده است:

۱- مشخص‌کردن اهداف اصلی و فرعی پروژه
۲- انتخاب گزینه‌های مختلف طرح و ترکیب شبکه انتقال آب
۳- انتخاب یا پیش‌بینی نظام بهره‌برداری
۴- انتخاب یکی از راهبردهای کلی تحویل آب (شامل یکی از روش‌های گردشی و ...)
۵- در نظرگرفتن ابعاد اولیه‌ای برای کانال (به‌صورت اولیه برحسب محاسبات هیدرولکی جریان ماندگار)
۶- تعیین ضوابط و محدودیت‌های بهره‌برداری
۷- گزینش یک روش کلی کنترل سامانه (بالادست، پایین‌دست، ترکیبی از بالادست و پایین‌دست)
۸- انتخاب روش کنترل بازه‌ها (عمق ثابت پایین‌دست، عمق ثابت بالادست، حجم ثابت، حجم کنترل‌شده)
۹- طراحی اجزا ساختاری (شامل: کانال انتقال، سازه‌های تنظیم، تجهیزات اندازه‌گیری، آبگیرها، هرزآبروها، مخازن تنظیمی درون و برون کانالی، ایستگاهای پمپاژ، زهکش‌های تقاطی و ...)
۱۰- امکان‌سنجی و توجیه اقتصادی طرح
۱۱- انتخاب کلی نوع کنترل کانال (بازخوردی، پیش‌خوردی، مرکب)
۱۲- انتخاب یک روش بهره‌برداری کانال (کنترل دستی، محلی، کنترل خودکار محلی، کنترل نظارتی دستی یا خودکار، اسکادا)

۱۳- توسعه دادن فرایندها، منطق و الگوریتم‌های کنترل (LQR، H_∞، MPC و ...)

۱۴- مشخص‌کردن تجهیزات کنترل مورد نیاز (حس‌گرها، شبکه‌های ارتباطی، PLC/RTU، عمل‌گرها)

۱۵- عملیاتی کردن سامانه کنترل

۱۶- بهره‌برداری و نگهداری

۱۷- ادامه توسعه و ارتقا سامانه

انجام تمامی موارد اشاره شده به ترتیب پیشنهاد شده همواره نیاز نیست، اما فهرست پیشنهادی، روندی برای فرایند طراحی ارائه می‌کند. طراحان باید در مراحل مختلف فرایند، گزینه‌های مختلف را ارزیابی کنند، هر زمان که ارزیابی منجر به تغییر طراحی شود، به مراحل قبلی برگردند. برای مثال، امکان‌سنجی اقتصادی در مرحله ۱۰، هزینه گزینه‌های مختلف را مشخص می‌کند و بر انتخاب روش تحویل، محدودیت‌ها و روش بهره‌بردای تاثیر می‌گذارد. ممکن است طراحان مجبور شوند مراحل ۴ تا ۱۰ را به توالی بازنگری کنند تا بهترین طراحی حاصل شود و سپس وارد مراحل بعدی شوند. اگرچه توانایی‌های سامانه خودکار در شرایط بهره‌برداری توسط نرم‌افزارهای شبیه‌ساز تا حدودی مشخص می‌شود، ولی عملکرد واقعی در شرایط بهره‌برداری و در شرایط دینامیکی (در یک دوره زمانی) مشخص خواهد شد.

فرایند طراحی با تعریف پروژه شروع می‌شود. این مرحله شامل تعیین اهداف پروژه، طرح و ترکیب کلی شبکه، الگوی توزیع و تحویل آب مورد انتظار و ضوابط بهره‌برداری پروژه است. طراح باید برای انتخاب یک طرح کلی و راهبرد بهره‌برداری از شبکه، محدودیت‌های شبکه آبیاری را در نظر داشته باشد (ر.ک. بند۴-۴ و ۴-۹-۴). هنگامی که نحوه تحویل آب و راهبرد بهره‌برداری مشخص شود، انتخاب سازه‌ها روشن‌تر خواهد شد. مشخص بودن نحوه تحویل آب به تعیین حداکثر آبدهی و تغییرات مورد انتظار جریان کمک می‌کند. همچنین برای طراحی و تعیین نیم‌رخ طولی سطح آب نیاز به دانستن روش بهره‌برداری و کنترل (بالادست، پایین‌دست و ...) است.

محاسبات جریان آب در کانال‌ها ابتدا با حالت پایدار آغاز شده و نیم‌رخ‌های طولی سطح آب و برگشت آب ایجادشده که اطلاعات مهمی را برای ادامه طراحی ایجاد می‌کنند، بررسی می‌شود. طراح با صرف‌نظرکردن از تاثیرات انتقالی جریان، برای انواع روش‌های مختلف به‌کارگیری بازه کانال، تغییرات حجم ذخیره را تخمین می‌زند. معمولا محاسبات جریان پایدار برای انتخاب روش بهره‌برداری از بازه کانال کفایت می‌کند.

برای روش‌های بهره‌برداری خاص، باید نیم‌رخ طولی جریان پایدار به‌دست آید تا داده‌هایی مربوط به تغییرات حجم، تغییرات عمق و عمق آزاد مورد نیاز، سطح آب تحویلی و طراحی اولیه هرزآب‌روها و سازه‌های کنترل را فراهم کند. هزینه روش‌های مختلف کنترل با توجه به شرایط جریان حداقل و حداکثر تخمین‌زده شود. با تخمین حداکثر تغییرات ممکن شدت جریان در یک بازه زمانی مشخص و مقایسه نیم‌رخ طولی سطح آب، طراحان می‌توانند تغییرات عمق کوتاه مدت را تخمین و تعداد سازه تنظیم را به صورت اولیه انتخاب کنند.

محاسبات جریان ناپایدار نیز باید در فرایند طراحی انجام شود. عکس‌العمل سامانه به روش‌های مختلف کنترل بازه کانال، به‌صورت قابل ملاحظه‌ای متغیر است. محاسبات جریان ناپایدار برای تایید این‌که عکس‌العمل روش کنترل انتخاب‌شده با تغییرات جریان و سطح آب مجاز مطابق انتظار باشد، لازم است.

آنالیز جریان ناپایدار برای تصحیح طراحی سازه‌ها و مطالعه رفتار سامانه کنترل ضروری است. علاوه بر این موارد، آنالیز جریان ناپایدار، برای تعیین ارتفاع امواج انتقالی به‌ویژه در کانال‌های دارای واحد پمپاژ و در نتیجه تعیین ارتفاع آزاد کانال به کار می‌آید (ر.ک. ۴-۸-۱ پ و ج).

۹-۳- انتخاب روش‌های کنترلی

اگر مراحل ۱ تا ۶ (در بند ۹-۲) درنظر گرفته شده باشد، باتوجه به سازگاری راهبردهای بهره‌برداری با روش‌های کنترل و بررسی امکان تقسیم شبکه آبیاری به بخش‌هایی با کنترل‌های مختلف، می‌توان روش کنترل شبکه را انتخاب نمود. بعد از این انتخاب و قبل از طراحی سازه‌ها، طراح باید روشی را برای کنترل سطح آب در بازه‌های کانال انتخاب کند؛ به عبارتی یکی از روش‌های کنترل عمق ثابت پایین‌دست، عمق ثابت بالادست، حجم ثابت یا حجم کنترل شده باید انتخاب گردد (ر.ک. بند ۴-۸-۱).

در روش عمق ثابت پایین‌دست بازه که با روش بهره‌برداری بالادست هماهنگی دارد، زمانی که در انتهای بالادست کانال تغییر جریان رخ دهد، کانال با تاخیر واکنش نشان‌داده و با تاخیر زمانی به شرایط پایدار جدید می‌رسد، اما هزینه ساخت کانال نسبت به‌دیگر روش‌ها کم‌تر است. در روش عمق ثابت بالادست بازه که با بهره‌برداری از پایین‌دست (برحسب تقاضا) مطابقت دارد، تنها مشکل، نیاز به ساخت یک کانال با دیواره تراز است. در این روش هزینه‌های اضافی مربوط به خاکریزی و پوشش بتنی برای هم‌تراز کردن کانال تحمیل می‌شود.

روش حجم ثابت می‌تواند هم با جهت بهره‌برداری بالادست و هم پایین‌دست هماهنگ باشد. برخلاف روش قبل برای رسیدن به سطح پایدار جدید نیازی به تغییرات قابل ملاحظه‌ای در حجم ذخیره درون کانالی نیست. همچنین این روش به سادگی می‌تواند با اصول کلی بهره‌برداری (پایین‌دست یا بالادست)، تغییر کند.

روش حجم کنترل‌شده، هم می‌تواند برای روش پایین‌دست و هم بالادست استفاده شود. حجم آب در هر بازه کانال می‌تواند هم از بالادست و هم از پایین‌دست جبران شود. اگرچه بهتر است در آن واحد، فقط یکی از اصول بالادست یا پایین‌دست مورد استفاده قرار گیرد. به صورت تئوری، روش حجم کنترل شده تمامی مزیت‌های روش‌های دیگر را دارد.

این روش در کنترل بازه‌هایی با نیازهای کاربری پیچیده مانند موارد زیر می‌تواند برتری‌هایی داشته باشد:

- تغییرات شدید جریان تحویلی
- اصل تحویل برحسب تقاضا
- کانال‌هایی با پمپاژ کناری (انتقال آب به مسیر جانبی با ارتفاع بیش‌تر)
- کانال‌هایی با پمپاژ درون مسیری (انتقال آب به مخزن یا مسیر در تراز بالاتر)

- کانال با جریان‌های ورودی سیلابی
- شبکه بدون هرزآبرو
- کانال بدون امکانات ذخیره‌سازی

۹-۳-۱- انتخاب پیکربندی کنترل

طراح همچنین انتخابی بین پیکربندی‌های مختلف خودکارسازی سامانه‌های کانال که در فصل ۴ و ۵ به تفصیل توضیح داده شده به قرار زیر دارد (شکل ۹-۱):

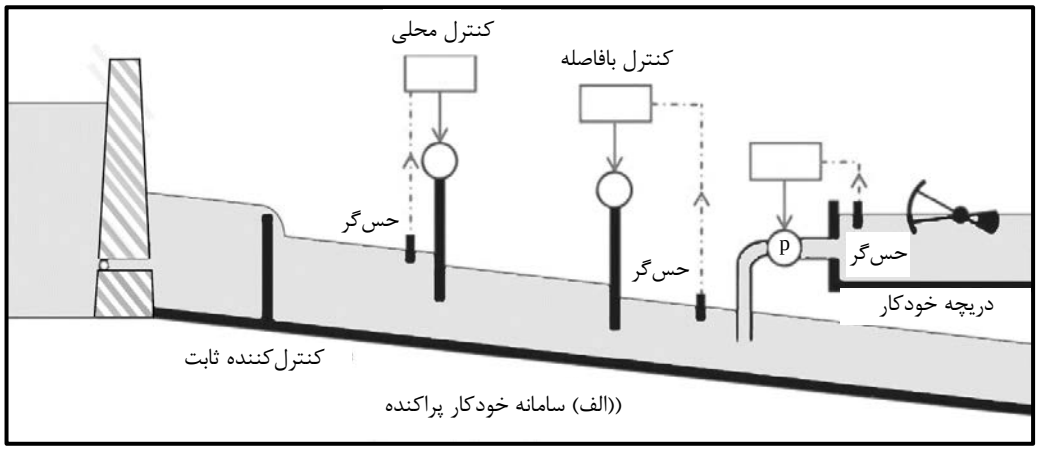
- کنترل پراکنده (غیر متمرکز) که در آن کنترل از طریق واحدهای خودکار مستقل حاصل می‌شود (کم‌تر در شبکه‌های انتقال آب آبیاری کاربرد دارد).
- کنترل متمرکز که در آن کنترل از طریق یک ایستگاه بالادست خودکار اعمال می‌شود.
- کنترل نظارتی ترکیبی

تجربیات جهانی نشان داده است، برای هر سطح از یک سامانه آبیاری تعدادی گزینه‌ی قابل رقابت وجود دارند که می‌توان از ترکیبی از مطلوب‌ترین گزینه‌ها به بهره‌برداری ساده با سطح خدمات بالاتر رسید. این گزینه‌ها در شکل (۹-۲) خلاصه شده است.

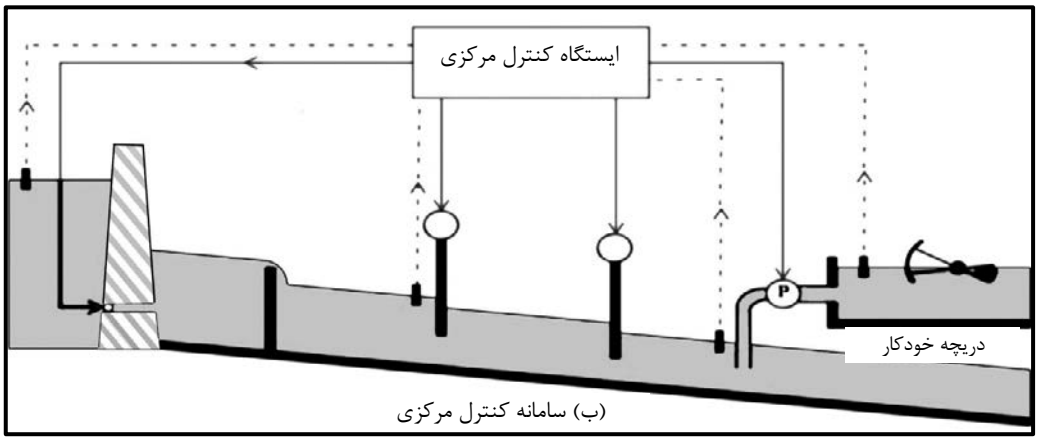
از این‌رو اصول کلی شامل عوامل فیزیکی و سازمانی که باید توسط برنامه‌ریزان و طراحان مورد توجه قرار گیرد با اهمیت بوده و به قرار زیر است:

- خدمات تحویل آب تا آنجا که ممکن است باید مشتری مدار باشد. قابل اطمینان بودن و عدالت درتحویل آب از ویژگی‌های اساسی سامانه توزیع آب آبیاری است. با این وجود، تامین نوعی انعطاف‌پذیری مطلوب آب‌بران و امکان‌پذیر در تناوب، میزان جریان و طول مدت آبیاری باید در مرحله برنامه‌ریزی در نظر گرفته شود.
- راهبردهای مختلف کنترل می‌توانند در یک سامانه آبیاری با هم ترکیب شوند. بنابراین میزان انعطاف‌پذیری می‌تواند از یک سطح به سطح دیگر شبکه متفاوت باشد.
- هدف اصلی در شبکه باید سهولت بهره‌برداری باشد و این امر لزوما با سادگی در طراحی یا نصب تجهیزات همراه نیست.
- کنترل خودکار پایین‌دست برای کانال‌های طولانی درشبکه‌های گسترده مناسب است، زیرا نیاز به برنامه‌ریزی پیشرفته و تعدد تخمین‌ها را کاهش می‌دهد. لازم به توضیح است استفاده از کنترل پایین‌دست در شبکه‌های بزرگ همیشه به معنای تحویل برحسب تقاضا در سطح مزرعه نیست و توانایی مدیریت شبکه در انتقال و توزیع را بهبود می‌بخشد.
- خودکارسازی با دریچه‌های هیدرومکانیکال در مقایسه با سامانه کنترل خودکار الکترونیکی، نیاز به حداقل مهارت و آموزش را دارد، اما قابلیت کنترل منعطف و مواجهه با شرایط بحرانی را ندارد.

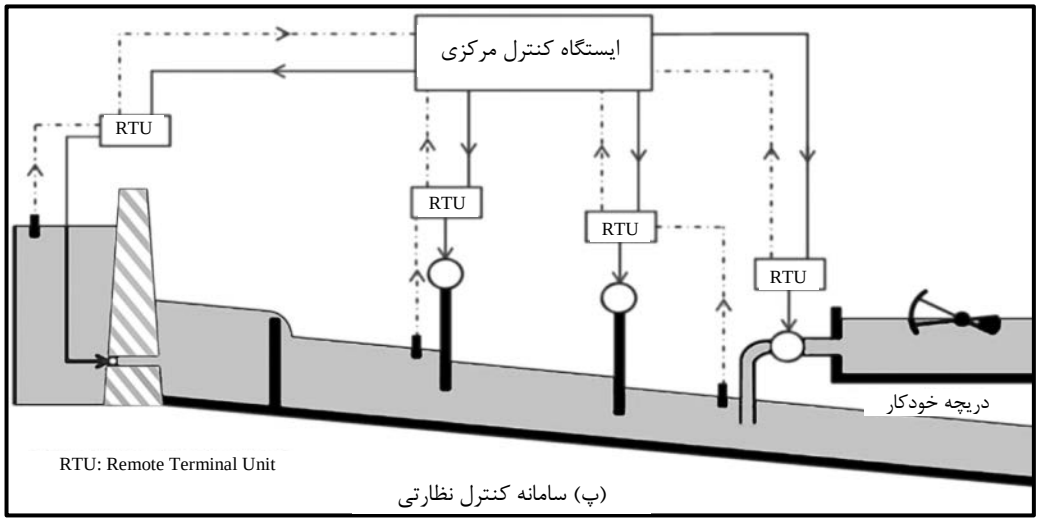
سامانه‌های تقسیم به نسبت دارای ساده‌ترین کارایی و طراحی هستند. اصولا این سامانه‌ها انعطاف‌پذیری در انتقال آب را ندارند. برای الگوی کشت مشخصی طراحی شده و نمی‌توانند به تغییرات سالانه الگوی کشاورزی پاسخ دهند. با این‌حال، گاهی می‌توان با تغییراتی در طراحی اولیه و تکمیل سازه و نصب تجهیزات ویژه نسبت به تنظیم جریان در جهت تحویل بهینه آب اقدام نمود.



((الف) سامانه خودکار پراکنده

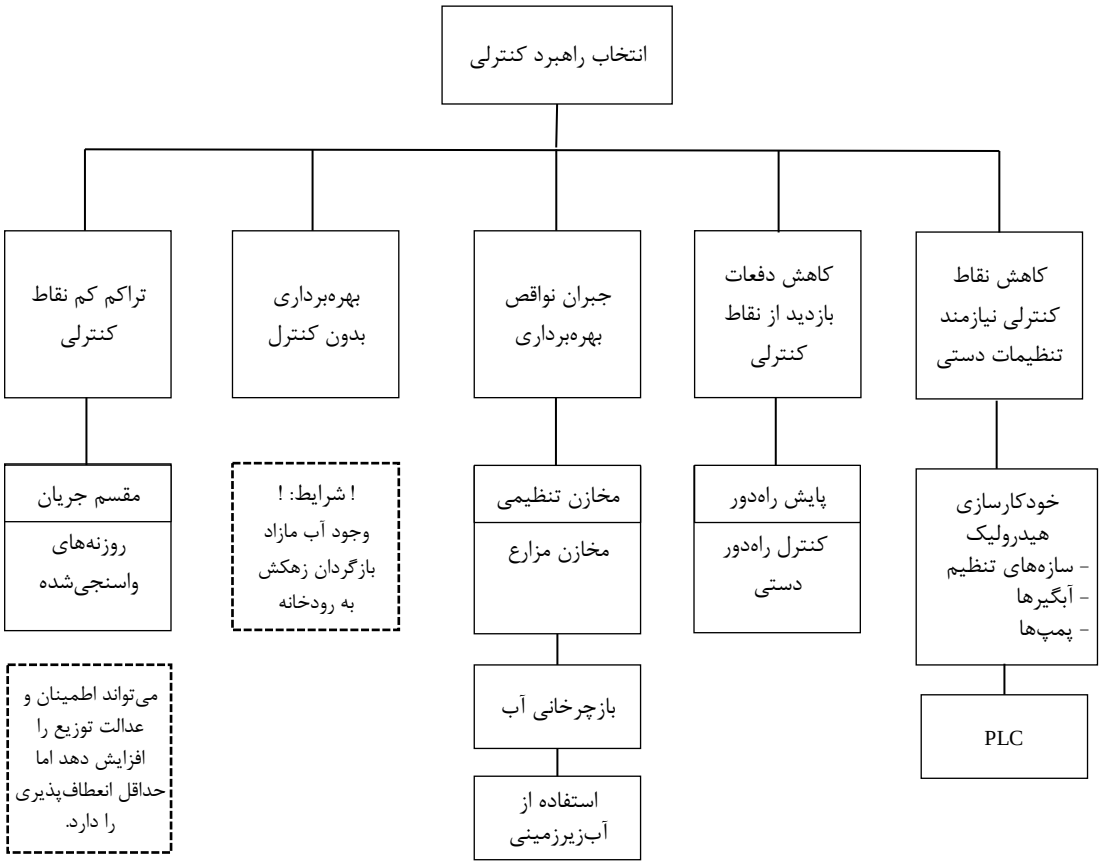


(ب) سامانه کنترل مرکزی



(پ) سامانه کنترل نظارتی

شکل ۹-۱- راهبردهای کنترل در سامانه‌های خودکار کانال‌های توزیع و تحویل آب آبیاری



شکل ۹-۲- نمودار انتخاب راهبرد کنترلی

۹-۳-۲- انتخاب و جانمایی مخازن تنظیمی

یکی از عوامل موثر در ارتقای کنترل در یک شبکه انتقال آب آبیاری، امکان ذخیره کردن و بازچرخانی آب به جهت جلوگیری از هرز رفت آب است. استفاده از مخازن تنظیمی درون شبکه یا کناری با توجه به شرایط، می‌توانند امکان تقسیم شبکه را به بخش‌های مجزا با کنترل بالادست و پایین‌دست فراهم کنند تا آب با کم‌ترین یا بدون تلفات و به مقدار کافی تحویل آب‌بران شود (ر.ک. بند ۲-۶). توضیحات کامل در مورد جانمایی و عملکرد مخازن تنظیمی در بند ۳-۶- داده شده است.

۹-۴- سخت‌افزارها و تجهیزات مورد نیاز

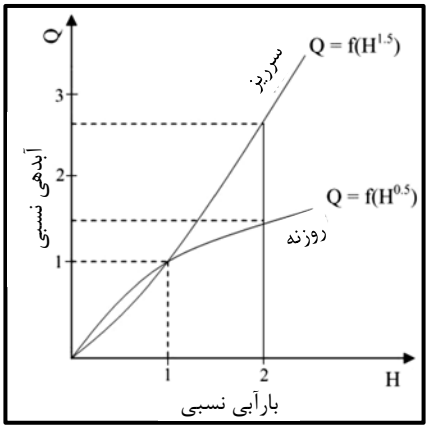
انتخاب تجهیزات متناسب با طرح کنترلی انتخابی بوده که در فصل ۳ توضیحات مفصلی درباره تجهیزات کنترل جریان در شبکه آبیاری ارائه شده است.

۹-۴-۱- سازه‌های کنترلی در سامانه خودکار

انتخاب و طراحی سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب و آبدهی در کانال‌ها با تجهیزات مکانیکی و هیدرومکانیکی مناسبی که امکان خودکارسازی آن‌ها در طرح فراهم باشد، صورت می‌گیرد. خصوصیات مکانیکی و هیدرولیکی انواع سازه‌های متحرک مورد استفاده در خودکارسازی، در فصل سوم، بند ۳-۳ ارائه شده است. توصیه می‌شود طراحان شبکه در پروژه‌های مطالعاتی جدیدی که کنترل خودکار برای آن‌ها انتخاب می‌شود، خود را پای‌بند سازه‌های سنتی نکرده و بعد ازمقایسه فنی و اقتصادی و با رویکرد شرایط نوین تحویل آب، سازه‌های مناسب را با توجه به آخرین تجربیات در این زمینه انتخاب و ارائه نمایند. سازه‌های تنظیم با قابلیت خودکارشدن شامل موارد زیر است:

- سرریزهای متحرک
- دریچه‌های کشویی
- دریچه‌های قطاعی
- دریچه‌های سالونی

درصورتی‌که خودکارسازی با تجهیزات مبتنی بر PLC، به‌درستی انجام‌شود، تفاوتی در عملکرد دریچه‌های روگذر و زیرگذر از منظر تنظیم تراز آب در بالادست یا پایین‌دست، وجود نخواهد داشت. اما اگر ضعف مدیریت بهره‌برداری و نگهداری سامانه خودکار وجود داشته‌باشد، توصیه می‌شود که از دریچه‌های تنظیم جریان روزنه با عملکرد هیدرولیکی (به دلیل حساسیت کم‌تر نسبت به تغییرات پیش‌بینی نشده جریان) استفاده شود (شکل ۹-۳).



شکل ۹-۳- تغییرات آبدهی در سرریز (سازه روگذر) و روزنه با تغییر در بارآبی

در انتخاب و اجرای روش کنترل، تجهیزات و سازه‌های شبکه، باید ضوابط و استانداردهای ابلاغ شده از سوي دستگاهاي تخصصي مرتبط مورد استفاده قرار گیرد

دریچه‌ها باید در سازه‌های تنظیم، به نیروی محرکه مجهز شوند. امکان استفاده از دریچه‌های قطاعی و کشویی عمودی که امکانات ساخت داخلی وسیعی دارند وجود دارد، اما دریچه‌های قطاعی برای خودکارسازی برتری دارند. دریچه‌های کشویی هزینه اولیه کم‌تری دارند، اما مشکلات نگهداری و بهره‌برداری بیش‌تری دارند. دریچه‌های قطاعی با

دوام‌ترند، آشغال را بهتر از خود عبور می‌دهند، می‌توانند با دقت بالاتری تنظیم شوند و عملکرد بهتری در حرکت به صورت متناوب دارند. به طور کلی در طراحی‌ها وقتی که شدت جریان طراحی از ۶ مترمکعب در هر ثانیه تجاوز می‌کند یا دریچه‌ها عریض‌تر از ۱/۸ متر می‌شوند، دریچه‌های قطاعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه باید درنظر داشت که طراح درصورت امکان می‌تواند با درنظر گرفتن دریچه‌های موازی، فشار بر روی دریچه‌ها را کاهش دهد و قابلیت کنترل جریان را افزایش دهد، همچنین درصورت خرابی یک دریچه (کنترل‌گر، عمل‌گر یا ...) وجود دریچه‌های دیگر قابلیت کنترل را حفظ می‌کند.

در مجموع دریچه‌های قطاعی برای عمل‌گرهای خودکار کوچک‌تر به منظور دستیابی به کارکرد با درجه اطمینان طولانی مدت و کاستن هزینه‌ها مناسب هستند. بالابرها و موتورهای دریچه‌های خودکار باید برای تنظیم دقیق و متناوب دریچه‌ها، طراحی شده باشد. جهت مهیا کردن موقعیت‌یابی دقیق و جابه‌جایی دریچه، مکانیزم بالابر دریچه باید به گونه‌ای باشد که حداقل میزان جابه‌جایی حاصل شود. بهتر است موتور، دنده‌ها و وسیله بالابرنده دریچه، برای تنظیم دقیق دریچه با دقت ۶ تا ۱۵ میلی‌متر طراحی شود. معمولا در دریچه‌های تنظیم خودکار، سرعت حرکت دریچه ۰/۳ تا ۰/۶ متر در هر دقیقه در نظر گرفته می‌شود. موتورهای دریچه باید به منظور هماهنگ کردن تعداد زیادی حرکات در روز، تاب آوری و بازده دورانی بالایی داشته باشند.

در طراحی باید به شرایط غیرعادی و اضطراری هم توجه داشت:

- اگر ارتباط یا برق سازه تنظیم قطع گردد، عکس‌العمل دریچه چه خواهد بود؟
- آیا برق اضطراری نیاز است یا خیر؟
- در طول زمان قطعی برق، آیا دریچه باید به صورت خودکار بسته شود یا این‌که بی‌حرکت بماند؟

پاسخ‌ها به شرایط ویژه محلی، فراوانی، استمرار و درجه اهمیت شرایط غیرعادی پیش‌بینی شده و قابلیت پشتیبانی دستی بستگی دارند که در ادامه بحث می‌شود.

در اکثر سامانه‌های آبیاری در طول شرایط غیرعادی بهره‌برداری، ساده‌ترین روش پشتیبانی، کنترل دستی موضعی سازه‌ها است. در زمان قطعی برق، ارتباط یا خرابی تجهیزات، کارکنان بهره‌برداری و نگهداری با تمهیدات ویژه ناگزیر به حضور سریع در محل و تنظیم دستی دریچه‌ها هستند. هر چند در چنین شرایطی، بهره‌برداری از سامانه ممکن است در مدت زمان کنترل محلی دستی مشکلاتی داشته باشد، اما شبکه کانال باید از تخریب محافظت شود تا شرایط به صورت عادی برگردد. طراحی تجهیزات باید به‌گونه‌ای باشد که امکان تنظیم دستی دریچه سازه تنظیمی حتی با چرخش دستی یا ژنراتورهای قابل حمل برای ایجاد نیروی محرکه وجود داشته باشد. دریچه‌های تنظیم برای حفظ موقعیت به محض قطعی برق یا ارتباط، لازم است طوری طراحی شوند و به تجهیزاتی مجهز باشند که اختلال در جریان کانال به حداقل برسد (ر.ک. بند ۳-۳-۳ عمل‌گرهای دریچه).

کنترل دستی موضعی همیشه نمی‌تواند پشتیبانی مناسبی را به منظور کنترل خودکار دریچه داشته باشد. در زمان از کارافتادگی سامانه کنترل اولیه، هنگامی که احتمال دارد اپراتور نتواند خود را به سرعت به محل تنظیم برساند، باید با

آینده‌نگری، تمهیدات بیش‌تری درنظر گرفته شود و شاید بهتر باشد سامانه‌های پشتیبانی پرهزینه‌تری طراحی و به کار گرفته شود. از این‌رو در شرایط قطع منبع اصلی برق، در سازه‌های تنظیمی که باید به صورت مداوم کار کنند یک موتور مولد برق یا تجهیزات ذخیره خورشیدی با یک استارت خودکار نیاز است. اما در شرایطی که نیاز به کار مداوم نباشد می‌توان از قطع‌کننده‌های خودکار جریان آب، با امکان استفاده از باتری یا فشار ذخیره‌شده در مخزن، استفاده شود و برای جلوگیری از اختلالات جریان آب در سامانه، بهتر است این قطع‌کننده‌ها در طول مدت کوتاه قطعی برق، کار خود را ۵ یا ۱۰ دقیقه به تاخیر بیندازند.

سازه‌های تنظیمی بیش‌تر ترکیبی از دریچه‌ها و سرریزها هستند. سرریزهای جانبی[1] (دیوارهای سرریزی) در یک سمت یا هر دو طرف دریچه‌ها به منظور منحرف کردن جریان اضافی در مواقع اضطراری و همچنین جلوگیری از افزایش عمق جریان بیش از حد درکانال ساخته می‌شوند (شکل ۹-۴). ظرفیت سرریزهای جانبی معادل مقدار ماکزیمم جریان کانال در مواقعی که دریچه به طور ناگهانی بسته می‌شود، است. در این مورد طراحان ممکن است بپذیرند که افزایش سطح آب وارد ارتفاع آزاد شود اما باید مطمئن بودکه این افزایش سطح آب از کناره‌های کانال بالاتر نباشد.

شکل ۹-۴- نمونه‌ای از یک نقطه کنترلی شامل سه دریچه کشویی خودکار موازی و سرریزهای جانبی در دو طرف

معمولا در کانال‌های مورد بهره‌برداری که در شرایط غیرخودکار طراحی می‌شوند، رقوم تاج سرریز جانبی حدود ۶ سانتی‌متر بالاتر از رقوم نرمال سطح آب در کناره بالادست سازه تنظیم، توصیه شده است. در روش انتخابی بهره‌برداری خودکار، سرریزهای جانبی یا باید حذف شوند یا باید رقوم تاج بیش‌تر از رقم ارائه‌شده فوق باشد تا سطح آب بالادست سازه تنظیم بتواند تا بیش از عمق نرمال بالا آورده شود. وقتی که از روش بهره‌برداری عمق بالادست ثابت و روش حجم ثابت استفاده می‌شود، سرریزهای جانبی باید بالاتر از عمق جریان صفر[2] در پایین‌دست بازه کانال و انتهای آبگیر باشند.

1- Bypass Weirs
2- Zero Flow

یک راه دیگر درصورت توجیه اقتصادی، استفاده از دریچه به جای سرریز ثابت است. در این نوع طراحی می‌توان سطح آب را کنترل کرد و به موجب آن حجم قابل ذخیره در بازه را تحت کنترل درآورد.

یک دریچه تنظیم می‌تواند در هر دو شرایط آزاد و مستغرق پایین‌دست خود، عمل کند. وقتی که سطح آب پایین‌دست، پایین باشد، جریان آزاد و وقتی که سطح آب پایین‌دست، بالا باشد، جریان مستغرق خواهد بود. در منطقه تبدیل جریان به آزاد یا مستغرق، ممکن است جریان در دریچه آزاد یا مستغرق باشد. عملکرد یک دریچه در منطقه تبدیل جریان، نتایج غیر قابل پیش‌بینی دارد. در کنترل خودکار، اجتناب از جریان تبدیلی در دریچه اهمیت زیادی دارد. اگر جریان در ناحیه انتقالی، بین جریان آزاد و مستغرق نوسان داشته باشد، ممکن است بی‌ثباتی کنترل بیش‌تر شود. سازه‌های تنظیم بهتراست طوری طراحی شوند که در هنگام بهره‌برداری نرمال، جریان در دریچه همیشه یا مستغرق یا همیشه آزاد باشد.

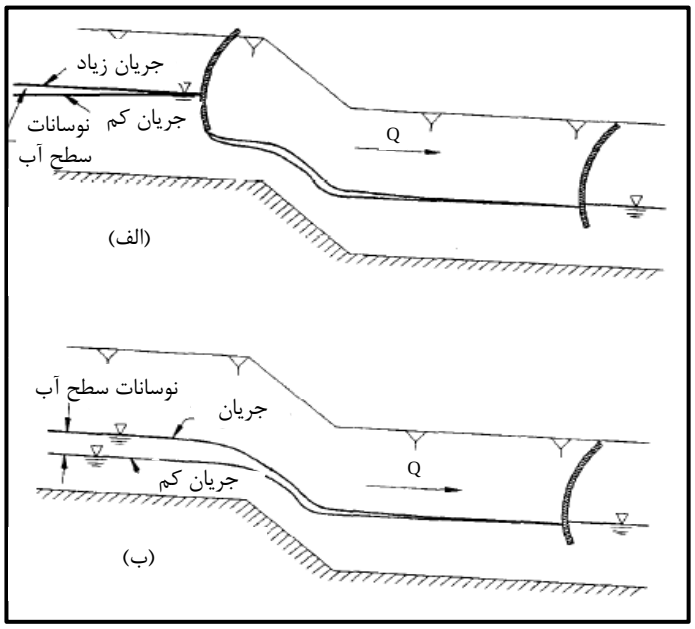
۹-۴-۲- انتخاب فاصله سازه‌های تنظیم

تصمیم‌گیری برای تعداد و موقعیت سازه‌های تنظیم مهم است و بهره‌برداری از کانال را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. سازه‌های تنظیم حداقل باید در موقعیت‌های ویژه قرار داده شوند؛ مثل محل تقسیم کانال به دو شاخه، سیفون‌ها، دراپ‌ها، محل تغییر در ظرفیت کانال، آبگیرهای اصلی و هرزآب‌روها. شکل (۹-۵) تفاوت نوسان سطح آب را در بالادست دراپ با یک یا دو سازه تنظیم‌کننده سطح آب نشان می‌دهد (ر.ک. ۴-۸-۱).

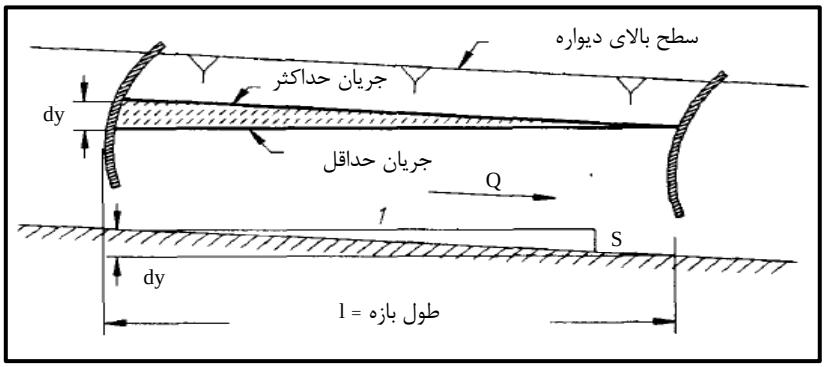
علاوه بر طراحی سازه‌های تنظیمی که در محل‌های بحرانی قرار دارند، باید تنظیم‌کننده‌های بیش‌تری برای ایجاد طول بازه مناسب برای آبگیرها درنظر گرفته شود. فاصله بین سازه‌های تنظیم‌کننده، بیش‌ترین تاثیر را روی توانایی کنترل جریان در بازه کانال دارد. اگر این فاصله زیاد باشد، تغییر جریان بدون ایجاد نوسانات زیاد در سطح آب مشکل خواهد بود. مقدار نوسان بین نیم‌رخ جریان حداکثر و نیم‌رخ جریان حداقل با نسبت معکوس رقوم پایین افتادگی از یک سازه تنظیم تا سازه بعدی مطابق با رابطه (۹-۱) کم می‌شود. (رقم دقیق آن با توجه به نیم‌رخ آب برگشتی قابل محاسبه است). شکل (۹-۶) این پارامترها را در کنترل عمق ثابت در پایین‌دست نشان می‌دهد. در کنترل عمق ثابت بالادست (دیواره هم‌تراز)، حداکثر مجاز نوسان سطح آب در پایین‌دست بازه باید درنظر گرفته شود.

$$l = dy / S \qquad (۹-۱)$$

در این رابطه l طول بازه بین دو سازه (فاصله بین تنظیم‌کننده‌ها)، dy حداکثر مجاز نوسان سطح آب و S شیب بازه بین دو سازه است.



شکل ۹-۵- نوسانات سطح آب در بالادست یک دراپ (الف) با و (ب) بدون وجود سازه تنظیمی



شکل ۹-۶- تاثیر فاصله سازه تنظیم بر نوسانات سطح آب

۹-۴-۳- هرزآبروها در سامانه خودکار

در طراحی معمول، هرزآبروها کانال را از تخریب حفظ می‌کنند و جریان‌های بیش ازحد نرمال را به خارج کانال تخلیه می‌کنند. هرزآبروها در طول کانال‌ها در موقعیتی جانمایی می‌شوند که جریان اضافی بتواند از طریق کانال‌های زهکش طبیعی یا ساخته شده به رودخانه تخلیه شوند. ضوابط این سازه در ضوابط مختلف طراحی شبکه‌های آبیاری ارائه شده است.

الف- تعیین نیاز: ممکن است در نظر گرفتن هرزآبروها همیشه نیاز نباشد. هرزآبروها می‌توانند به واسطه کنترل مناسب جریان آب در کانال و همچنین استفاده از مخازن در درون کانالی در طراحی حذف شوند. بدیهی است ارزش آب در هر منطقه در تصمیم‌گیری در مورد خارج کردن از سامانه یا ذخیره کردن آب اضافی تاثیر مستقیم دارد. همچنین در سامانه‌هایی که آب به منبع مرتفع‌تری پمپاژ می‌شود، در صورت هرز رفتن آب هزینه انرژی

پمپاژ هدر خواهد رفت. در عین حالی‌که باید توجه داشت که همیشه امکان یافتن مکانی مناسب برای تخلیه آب‌های اضافی وجود ندارد.

ب- **انتخاب نوع هرزآبروها:** هرزآبروها در شبکه‌های آبیاری بیش‌تر شامل یک سازه تخلیه آب ثقلی به صورت سرریز هستند. این هرزآبروها ممکن است مانع استفاده قسمت بالایی منشور کانال برای ذخیره آب شوند. در برخی سازه‌ها که برای هرزآبرو دریچه دارند، می‌توانند بسته نگه‌داشته شوند تا سطح آب کانال بالا رود و در مواقع ضروری برای سرریز جریان به صورت خودکار باز شوند. در این نوع هرزآبرو دریچه‌دار اگر آستانه به اندازه کافی پایین باشد، می‌تواند به عنوان دریچه حذف رسوب و سایر مواد زائد مستغرق در کانال به کار روند. به هنگام طراحی باید میزان خطر تخریب و درجه اطمینان عملکرد هرزآبروها ارزیابی شود. از این‌رو هرزآبرو دریچه‌دار با تجهیزات کنترل اضافی، پشتیبان‌های برق و علائم و هشدارها می‌توانند ایمنی بیش‌تری را تامین کنند. کنترل موضعی دستی برای چنین دریچه‌هایی ممکن است در مواقع اضطراری لازم باشد. همچنین می‌تواند از سرریزهای سیفونی هیدرولیکی نیز استفاده کرد. که با تراز سطح آب به صورت خودکارهیدرولیکی عمل می‌کند.

پ- **تعیین ابعاد:** برای تعیین اندازه هرزآبرو، باید بیشینه سرریز جریان مورد نیاز محاسبه شود. در بعضی موقعیت‌ها یک هرزآبرو باید به اندازه‌ای باشد که ۱۰۰٪ جریان را تخلیه کند. در بعضی موقعیت‌ها نیز یک هرزآبرو کوچک مناسب است.

۹-۴-۴- سیفون‌ها و شیب شکن‌ها

تغییرات ناگهانی ارتفاع در مسیر کانال ممکن است نیاز به ساخت سازه‌های شیب‌شکن و سیفون معکوس را ایجاب کند و تقریبا همیشه مکان این سازه‌ها را عوارض طبیعی زمین تعیین می‌کند. عمق بالادست سیفون یا شیب‌شکن بیش‌تر اوقات مستقل از عمق پایین‌دست است. در این مورد جریان عبوری از سازه به شرایط بالادست بستگی دارد و اثر جریان برگشتی از یک سازه کنترل پایین‌دست از بین می‌رود.

در بیش‌تر موارد، بهتر است که سیفون‌ها و شیب‌شکن‌ها یک ورودی تنظیم‌کننده داشته باشند؛ در غیر این‌صورت ممکن است نوسانات زیادی در سطح آب بالادست آن‌ها رخ دهد. تغییر جریان، تاثیری به مراتب کم‌تر در سطح آب پایین‌دست این سازه‌ها نسبت به بالادست آن‌ها دارد (مقایسه شکل ۹-۷ الف و ب). اگر جریان متوقف شود کانال بالادست توسط سیفون یا دراپ به طور کامل زهکشی (تخلیه) می‌شود. در این شرایط بهره‌برداری از بازه باید به شدت محدود شود تا از نوسانات سطح آب جلوگیری شود. شکل (۹-۷) نوسان سطح آب بالادست را در یک سیفون بدون تنظیم‌کننده نشان می‌دهد.

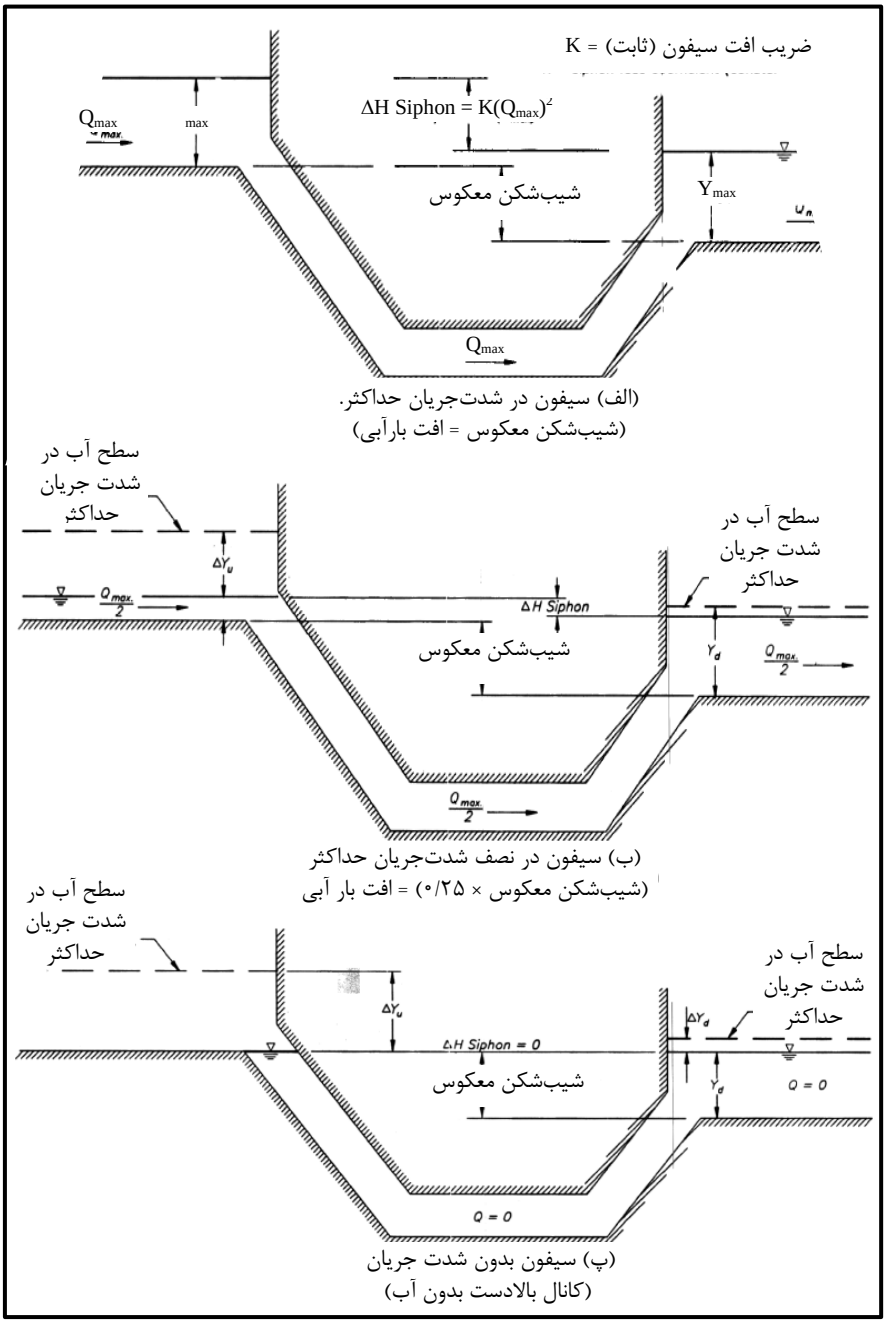
یک گزینه طراحی برای حفاظت از کانال، شامل تقویت پوشش کانال بالادست سیفون‌ها یا شیب‌شکن‌ها است، طوری که کانال بتواند نوسانات زیاد در سطح آب را تحمل کند. این گزینه ممکن است برای یک بازه کانال کوتاه امکان‌پذیر باشد.

در سیفون با تنظیم‌کننده‌های ورودی، به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن سطح آب پایین‌دست سازه تنظیم، کنترل جریان می‌تواند مشکل و پیچیده شود. سطح آب بین دریچه(های) تنظیم‌کننده و ورودی سیفون نسبت به شرایط معمول نوسان بیش‌تری خواهد داشته و ممکن است جریان دریچه به صورت مستغرق صورت نگیرد. سیفون‌ها به منظور انتقال جریان پر و با یک افت بار معین طراحی شده‌اند. معمولا ورودی سیفون در جریان حداکثر ناشی از جریان مستغرق دریچه، مستغرق خواهد شد. به هر حال، افت بار کم‌تر در سیفون در جریان‌های کم، ممکن است جریان دریچه را به صورت آزاد ایجاد کند و جریان به داخل سیفون فوق بحرانی شود. همچنین سطح آب در پایین‌دست دریچه‌ها و جریان در سازه تنظیم، ممکن است در پیش‌بینی دقیق افت بار سیفون، ممانعت ایجاد کند. وقتی که جریان دریچه بین آزاد و مستغرق نوسان داشته باشد، کنترل سازه تنظیم‌کننده همراه با خطا خواهد بود. مشکلات بالقوه، شامل حرکت بیش از اندازه دریچه و عدم ثبات آن‌ها است.

۹-۴-۵- آبگیرهای توزیع (آبگیرهای مزرعه)

نوع و موقعیت آبگیرهای جانبی باید با روش بهره‌برداری از کانال هماهنگ باشد. در طراحی، بهتر است ابتدا موقعیت آبگیرهای مزارع تعیین شود تا بتوان موقعیت سازه‌های تنظیم و روش بهره‌برداری بازه کانال را تثبیت/تعیین کرد.

در آبگیرهای ثقلی مزرعه، سطح آب کانال باید نسبتا ثابت باشد تا جریان ماندگار در آبگیر مزرعه رخ دهد. تغییر جریان کانال باعث خواهد شد که نوسانات سطح آب، عملکرد آبگیر مزرعه را مختل کند. به‌ویژه اگر آبگیرهای مزرعه در میانه بازه کانال قرار گرفته باشند. بنابراین بیش‌تر کانال‌ها با آبگیرهای ثقلی مزرعه، باید به منظور ارائه خدمات خوب به آب‌بران، یک جریان ثابت را برقرار کنند. این محدودیت شدیدا بر انعطاف‌پذیری تحویل آب تاثیر منفی گذاشته است، تا آنجا که یک طراح ممکن است نوع، تعداد یا موقعیت آبگیرهای مزرعه را تغییر دهد. برای مثال می‌توان جریان‌های تحویلی را به جای تعداد زیادی از آبگیرهای مجزای مزارع از کانال اصلی، در یک آبگیر تجمیع کرد. این آبگیر بهتر است (برای به‌کار گرفتن یک سامانه توزیع ثانویه (لترال یا فرعی)) در جایی قرار داده شود که سطح آب بازه کانال نسبتا ثابت باشد. سامانه‌های توزیع با خطوط لوله، انعطاف‌پذیری بالایی برای توزیع و تحویل آب بین متقاضیان ایجاد می‌کند. نوسانات سطح آب کانال ممکن است اثر کمی بر جریان‌های تحویلی داشته باشد یا اصلا تاثیری نداشته باشد. بنابراین تحویل از طریق خطوط لوله، می‌تواند تغییرات فشار در کانال اصلی را بدون تغییر در تحویل آب تحمل کند. آبگیرهای توزیع لوله‌ای می‌تواند در هر جایی در طول کانال قرار داده شود تا زمانی که حداقل سطح آب کانال، آب آبگیرمزرعه را تامین کند.



شکل ۹-۷- افت سطح آب در سیفون با شدت‌جریان (الف)حداکثر (ب) نصف و (پ) بدون جریان

۹-۵- معیارهای انتخاب تجهیزات و سازه‌های تنظیم و اندازه‌گیری

اصلی‌ترین قابلیت تجهیزات اندازه‌گیری برای کنترل خودکار سامانه آبیاری، قابلیت تبدیل مقدار قرائت شده به شکلی است (دیجیتال، آنالوگ) که بتوان به عملگر یا مرکز کنترل انتقال داد. برای اطلاعات بیش‌تر به بند (۳-۴- ابزاردقیق و اندازه‌گیری) و همین‌طور «ضوابط انتخاب و بهره‌برداری از تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی- ضابطه شماره ۸۳۳»، مراجعه شود.

۹-۶- امکانات اجرایی مخابرات و انرژی مورد نیاز

۹-۶-۱- مخابرات

در بند ۴-۱۳ فصل ۴ و بند ۵-۳-۳ فصل ۵، سامانه‌های مخابراتی برای جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها از سطح شبکه و انتقال فرامین به تجهیزات و سازه‌های قابل کنترل در سامانه خودکارسازی‌شده، تشریح شده است. وجود این سامانه‌ها برای انجام اهداف درنظر گرفته شده برای خودکارسازی و عملکرد مناسب شبکه‌های آبیاری، ضروری است. ضروری است ابتدا مدل‌های ارتباطی، پیکربندی شبکه ارتباطی، حالت‌های ارتباطی و پردازش ارتباطات و اهداف سامانه‌های مخابراتی تعریف شود، انتخاب سامانه مخابراتی برای خودکارسازی شبکه‌ها با توجه به سامانه کنترلی منتخب و موقعیت تجهیزات اندازه‌گیری و تجهیزات قابل کنترل در شبکه و هزینه سامانه مخابراتی انجام می‌گیرد.

انواع سامانه مخابراتی که بیش‌ترین کاربرد را در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری دارد به شرح زیر هستند:

- کابل فلزی
- کابل فیبر نوری
- فرکانس‌های بالای رادیویی (UHF/VHF)
- ماکروویو
- شبکه تلفن همراه

هر یک از این گزینه‌ها باید قبل از انتخاب نهایی سامانه مناسب مخابراتی برای خودکارسازی ارزیابی شود. بعد از انتخاب روش مناسب برای سامانه مخابراتی، طراحی، نصب و کیفیت نگهداری، موفقیت کلی سامانه مخابراتی را تعیین خواهد کرد.

۹-۶-۲- انرژی

شبکه آبیاری خودکار، برای باز و بستن دریچه و سامانه کنترل خود نیاز به یک منبع انرژی مطمئن داشته و بدان وابسته است. چگونگی تامین انرژی در بندهای ۳-۷ فصل ۳ و ۵-۳-۲-۷- فصل ۵ تشریح شده و نحوه محاسبه توان مورد نیاز و معایب و مزایای انرژی خورشیدی و استفاده از شبکه برق توضیح داده شده است.

تا زمانی‌که اطمینان کامل از عدم قطع برق شبکه یا مشکلات عملکردی تجهیزات انرژی خورشیدی حاصل نشده باشد، ایجاد اختلال در تامین آب هزارها هکتار محصولات کشاورزی و معضلات اجتماعی پیرو آن وجود دارد. از این‌رو با توجه به مشکلات احتمالی استفاده مستقل از انرژی خورشیدی یا از شبکه برق و همچنین با توجه به انتظاراتی که از یک شبکه خودکار می‌رود، جهت بالا بردن قابلیت اطمینان سامانه خودکار، بهتر است از یک سامانه ترکیبی از انرژی خورشیدی و شبکه برق استفاده شود. در این حالت کنترل‌های شبکه اصلی که تعدادشان کم‌تر و نقش کنترلی بالاتری دارند از شبکه برق و انرژی خورشیدی تامین انرژی شود و شبکه‌های فرعی فقط توسط انرژی خورشیدی تغذیه شوند.

۹-۷- ضوابط و معیارهای انتخاب سطح خودکارسازی جریان آب در شبکه

انجام کامل کنترل و برنامه اندازه‌گیری جریان آب، مستلزم وجود شبکه اندازه‌گیری منظم و تجهیز شده و در برگیرنده تاسیسات و نقاط کلیدی آبگیری یا انشعاب آب در فرایند انتقال، توزیع، تحویل و مصرف آب است. این سامانه (نقاط اندازه‌گیری) باید متناسب با مشخصات فیزیکی، فنی، دیدگاه‌ها و اهداف مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و نیازهای کاربران باشد. خودکارسازی شبکه نیز به طبع آن می‌تواند کنترل خودکار شبکه را از پایین‌ترین سطح خود برای نبات با تعیین میزان آب مورد نیاز گیاه با مقایسه رطوبت خاک، ظرفیت نگهداری خاک مزرعه (F.C.) و نقطه پژمردگی (W.P.) و رشد گیاه و توسعه ریشه، میزان تبخیر و تعرق روزانه، حساسیت نبات و ملاحظات حقابه و غیره محاسبه و درخواست آب نماید و این درخواست به صورت سلسله مراتبی به صورت خودکار به منبع رسیده و تامین آب صورت گیرد. طبعا چنین برنامه‌ای در مقیاس شبکه‌های بزرگ با مالکیت روستاییان عملی نبوده و هدف این راهنما، موضوع خودکارسازی شبکه بعد از منبع تامین آب تا آبگیر مزرعه (یا کشاورزان هم‌آب) بوده که می‌تواند بخش به بخش تا حصول پوشش‌دهی کنترل خودکار کامل شبکه انجام شود. اما کنترل نیمه‌خودکار می‌تواند تعاریف و اشکال مختلفی داشته باشد. به صورت سلسله مراتبی از بالا به پایین باشد یا واحدهایی از شبکه به صورت مستقل خودکار شود. شبکه‌هایی که با پمپاژ تامین آب می‌شوند یا تقویت فشار در مسیر آن‌ها مورد نیاز است، می‌توانند به طور مستقل خودکار شوند.

در شرایط نیمه‌خودکار، تحویل آب برحسب تقاضا از نظر پاسخگویی کم‌رنگ شده و طبعا بهره‌وری آب کم‌تر می‌شود؛ اما برای حفظ بازده بالا در چنین شرایطی مخازن تنظیمی آب، یکی از راهکارها است. امری که در شبکه‌های کشور ما به آن کم‌تر توجه شده است. سطح خودکارسازی می‌تواند فقط کنترل در نقاط کلیدی شبکه اصلی تا آبگیرهای کانال‌های تغذیه‌کننده (کانال درجه دو) مجموعه مزارع باشد و آبگیرهای مزارع خارج از سامانه کنترل خودکار باشند.

برای تعیین سطوح مختلف کنترلی لازم است سامانه اندازه‌گیری شبکه به دقت بررسی و تحلیل شود. بدیهی است با توسعه نقاط کلیدی و بهره‌گیری از نتایج سامانه کامل اندازه‌گیری، داده‌هایی دقیق‌تر برای مدیریت بهینه بهره‌برداری شبکه فراهم می‌شود. از نظر تعداد سازه‌ها در یک شبکه مدرن اصلی و فرعی، نسبت آبگیرهای واحد مزرعه به کل شبکه بالغ بر۹۰ درصد است و در عمل شبکه اصلی ۱۰ درصد را شامل می‌شود. طبعا همین ۱۰ درصد درصورت پیش‌بینی ظرفیت ذخیره‌سازی مناسب نقش بسیار با اهمیتی را ایفا می‌کند.

بر اساس هدف کنترل، نقاط الزامی برای نصب تجهیزات کنترلی و نوع سازه تنظیم و اندازه‌گیری متفاوت خواهد بود. افزایش تعداد نقاط کنترلی قطعا نتایج دقیق‌تری خواهد داشت. اما در مقابل و متناسب با آن، هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری، به ویژه حفظ تجهیزات و امنیت عملکردی آن‌ها عامل تعیین‌کننده است. از این‌رو تعیین نقاط کلیدی بسیار با اهمیت بوده و هر طرح می‌تواند شرایط خاص خود را داشته باشد. در هر شبکه‌ای اساسی‌ترین نقاط کنترلی به قرار زیر است:

۹-۷-۱- نقطه کلیدی ابتدایی

محل ورودی آب به شبکه آبیاری، اولین و مهم‌ترین نقطه است. تحویل از منبع در شبکه‌های آبیاری ثقلی و تحت‌فشار در اشکال مختلف به صورت زیر وجود دارد:

- خروجی سد مخزنی (دریچه یا دریچه‌های آبگیر مکانیکی، الکترومکانیکی یا هیدرومکانیکی مستقر درخروجی مخزن)
- سد انحرافی (دریچه یا دریچه‌های آبگیر ابتدای کانال یا انهار سنتی)
- خروجی ایستگاه پمپاژ (آبگیری از رودخانه، مخازن، حوضچه آبگیری)
- خروجی از تاسیسات تامین فشار ثقلی برای شبکه آبیاری مستقل که دارای چنین سازه‌هایی باشند.

طولانی بودن کانال انتقال آب دریافتی از منبع آب، بستگی به موقعیت استقرار و بعد مسافت منبع تا محدوده شبکه دارد. تعداد این نقاط کلیدی با توجه به ابعاد شبکه، پراکندگی یا تمرکز واحدهای عمرانی با توجه به شرایط کانال انتقال و اهداف کنترلی جریان، می‌تواند یک یا چندین مورد باشد.

۹-۷-۲- نقاط کلیدی میانی در شبکه اصلی آبیاری

نقاط کنترلی در انشعابات درونی شبکه اصلی آبیاری ثقلی و تحت‌فشار، با توجه به وسعت شبکه، شامل استقرار سازه‌ها و تجهیزات کنترلی در ابتدای واحدهای مختلف به قرار زیر خواهد بود:

- نواحی تحت پوشش کانال‌ها و خطوط لوله تغذیه‌کننده یا اصلی
- واحدهای عمرانی، تحت پوشش کانال‌ها و خطوط لوله تغذیه‌کننده یا اصلی
- واحد مالکیت روستایی یا طایفه‌ای تحت پوشش کانال‌ها و خطوط لوله تغذیه‌کننده یا اصلی یا درجه۱ و درجه۲
- واحد زراعی تحت پوشش کانال‌ها و خطوط لوله درجه ۲

۹-۷-۳- نقاط کنترل کلیدی انتهای شبکه اصلی

آبگیرهای درجه۳ مستقر بر روی کانال‌های درجه ۲، برای تامین آب مزارع ۶۰ تا ۱۲۰ هکتاری است و در عمل نقطه کلیدی و ارتباطی بین مدیریت شبکه اصلی و بخشی از تشکل آب‌بران مزرعه است. این آبگیرها بخشی از تاسیسات آبی شبکه اصلی بوده و تعداد آن‌ها در یک شبکه ۱۰۰۰۰ هکتاری بالغ بر ۱۰۰ تا ۲۰۰ آبگیر و آب‌بند خواهد بود.

در شبکه اصلی آبیاری، بیش‌ترین تعداد آبگیرها که نیازمند سازه یا تجهیزات کنترلی هستند، آبگیرهای تحویل آب به واحد مزرعه یا کانال درجه ۳ را شامل می‌شوند و پس از آن آبگیرهای تامین آب کانال درجه ۲ و بعد از آن کانال‌های درجه ۱ یا لترال‌ها و نقاط ابتدایی می‌گردد. پراکندگی و تعدد سازه‌ها، به طور تقریبی در شبکه‌ای که با رعایت

استانداردها ساخته شده، نسبت آبگیرهای درجات ۱، ۲ و ۳ و به تبع آن نقاط کنترلی به ترتیب حدود ٪۱، ٪۹ و ٪۹۰ است. بدیهی است اولویت‌بندی مراحل خودکارسازی با توجه به سیاست‌های راهبردی مدیران شبکه خواهد بود.

۹-۸- محدودیت‌ها و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری

در فصل پنجم (سامانه اسکادا) و فصل هفتم (پدافند غیرعامل) لزوم وجود یک سامانه یک‌پارچه‌شده فناوری اطلاعات با سامانه کنترل و استفاده از سامانه اسکادا که باعث توسعه و ارتقای امکانات مدیریتی و بهره‌برداری می‌شود تاکید شد. زمانی که سخت‌افزارها انتخاب شدند، آنچه مهم است نیاز به یک معماری یک‌پارچه به لحاظ روش‌های انتخابی مختلف در سامانه کنترل شبکه آبیاری است؛ در این شرایط مهندسان کنترل و فناوری اطلاعات نقش مهمی در تحقق این امر خواهند داشت. از این‌رو نیازهای سخت‌افزاری رایانه‌ای و برخی از نرم‌افزارهای تعاملی بین آب‌بران و مدیریت و یک‌پارچه‌سازی آن‌ها و ایجاد یک سامانه مطمئن و امن در یک سامانه خودکار آبیاری از طریق متخصصان برق، کنترل، مخابرات و IT تامین می‌شود. در حقیقت موفقیت یک طرح خودکارسازی نیاز به همکاری بسیار نزدیک و مستمر بین متخصصان رشته‌های مختلف دارد.

۹-۸-۱- ضوابط جانمایی اجزای شبکه در طراحی

محدودیت‌ها و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانه‌های خودکارسازی در به کارگیری آن‌ها در شبکه‌های آبیاری به تفصیل در فصول گذشته معرفی شده است. اساسا پارامترهای تعیین‌کننده سخت افزاری در جانمایی شبکه و قطعه‌بندی و آرایش کلی شبکه در پروژه‌های مطالعاتی خودکارسازی تا حدود زیادی منطبق بر همان ضوابطی است که در ضوابط شماره ۲۸۱ و ۸۳۳ سازمان برنامه و بودجه کشور اعلام شده و پیشنهاد می‌شود بررسی و ملاک عمل قرار گیرد. اما آنچه شرایط را متمایز می‌کند ضرورت ساخت حوضچه‌های تنظیمی جریان آب در میانه شبکه یا استفاده از حجم ذخیره‌ای در بازه‌های کانال‌ها در برخی شرایط خودکار در شبکه‌ها است.

۹-۸-۲- ملاحظات اجتماعی

محدودیت‌ها و امکانات از منظر ملاحظات اجتماعی و مدیریتی شامل موارد زیر است:

- ساختار نظام بهره‌برداری موجود، تشکل گروه هم‌آب در هر واحد مزرعه
- مدیریت آبیاری، مسوولیت‌ها و ساختار بهره‌برداری و نگهداری شبکه
- ارزیابی میزان مشارکت و علاقمندی کشاورزان صاحب زمین در اجرای شبکه مدرن مورد ارزیابی قرار گیرد و تاثیرگذاری این مهم در اجرا و بهره‌برداری شبکه
- آگاهی‌رسانی و مشارکت دادن خبرگان محلی و کشاورزان روستاهای شبکه در دوره مطالعات و طراحی با هدف کسب نظرات آن‌ها مدنظر باشد و اعمال نتیجه در طراحی

- میزان اثرگذاری و اعمال نظرات و دیدگاه‌های خبرگان محلی و کشاورزان در تعیین روش‌های مختلف کنترلی براساس نتایج کارگاه‌های هم اندیشی و جلسات حضوری مشخص
- امنیت منطقه‌ای حفاظت از تجهیزات

۹-۸-۳- ملاحظات بهره‌برداری در انتخاب روش کنترل

جانمایی شبکه به صورت واحدهای عمرانی مجزا امکان خوبی برای استقلال لایه‌های مختلف کنترلی ایجاد می‌کند و با فراهم نمودن امکان خودکارسازی، مدیریت بهره‌برداری را تسهیل می‌نماید. این روش جانمایی شبکه همچنین امکان انجام آزمایشی روش کنترلی منتخب را به همراه اجرای مرحله‌ای شبکه و بهره‌برداری تدریجی با اولویت واحد عمرانی مورد نظر را فراهم می‌کند. قبل از شروع طراحی شبکه با رویکرد سامانه خودکار ضروری است اصول و الزامات مورد نیاز در سامانه که تمام یا بخشی از موارد زیر است در نظر گرفته شود:

- هر سطح تا حد ممکن از لحاظ مالی خودگردان و از لحاظ هیدرولیکی مستقل باشد.
- هر سطح انتخابی از نظر فنی و عملیاتی قادر به تحویل آب قابل اطمینان و به موقع به سطح پایین‌تر است.

۹-۸-۴- ضریب انعطاف‌پذیری ظرفیت کانال‌های روباز

به منظور فراهم آوردن امکان عبور شدت جریان بزرگ‌تر از ظرفیت نرمال کانال‌های روباز[۱] در جهت انتقال و توزیع آب شبکه در شرایطی نظیر موارد زیر، ضریب انعطاف‌پذیری[۲] (f_c) برای افزایش ظرفیت کانال‌های روباز در نظر گرفته می‌شود:

- در شرایط برقراری تناوب نوبتی (گردشی) در آب اندازی کانال‌ها به لحاظ محدودیت مدت جریان آب در هر کانال به افزایش شدت‌جریان کانال نیاز است.
- به‌کارگرفتن هم‌زمان تعدادی از واحدهای مزارع تحت پوشش یک کانال برای کشت تک محصولی یا چند محصول پرمصرف الگوی کشت برحسب ضرورت در شرایط بهره‌برداری زراعی متمرکز (تعاونی تولید، کشت و صنعت و ...)، این مورد در شرایط بهره‌برداری خرده مالکی جز در موارد عدم تمکین برخی زارعین به الگوی کشت و نا کارآمد بودن نظام بهره‌برداری برای کنترل برقراری الگوی کشت مصوب، اتفاق نمی‌افتد.
- تغییر ساعات آبیاری در شبانه‌روز در دوره بهره‌برداری نسبت به ساعات آبیاری پیش‌بینی شده در طرح، به ویژه در شرایطی که آبگیری کانال‌های شبکه با پمپاژ صورت می‌گیرد.

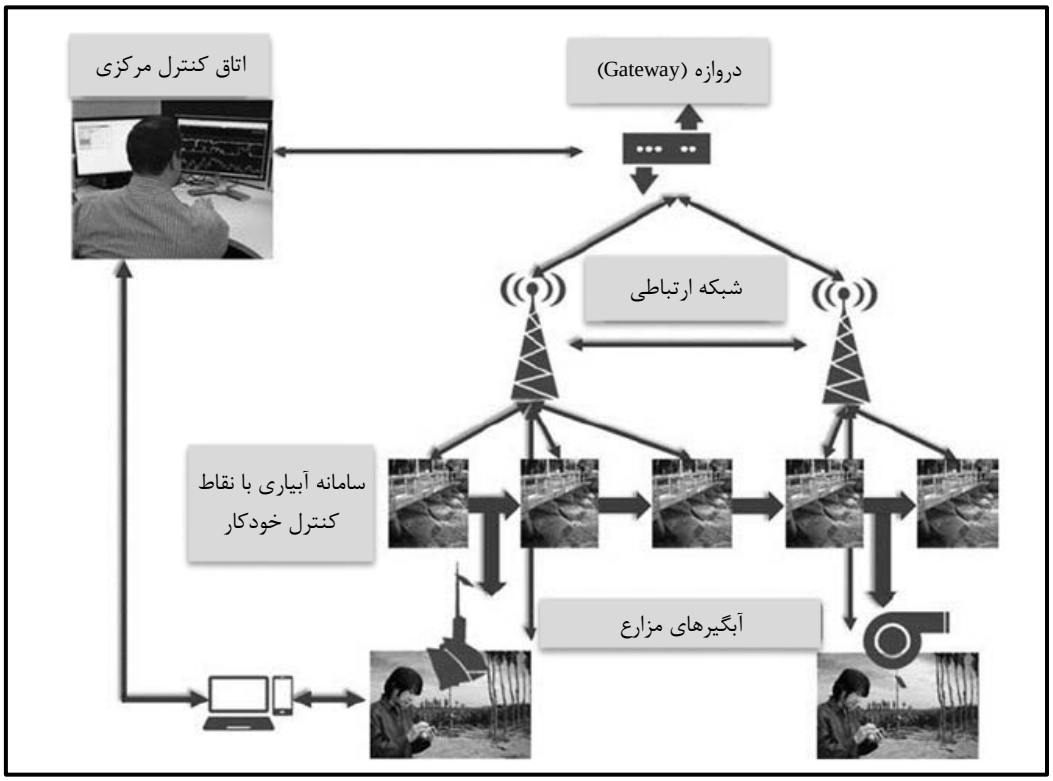
۱- منظور از ظرفیت نرمال کانال، آبدهی محاسبه شده برای طراحی کانال براساس سطح خالص تحت آبیاری کانال و هیدرومدول شبکه است.

2- Flexibility Coefficient

۹-۹- نحوه ساماندهی داده‌های پایه متناسب با سطح خودکارسازی شبکه

معمولا خودکارسازی یک سامانه کانال فرعی یا سراسر یک کانال، نیاز به مشخص کردن دو هدف عمده کنترل دارد: اهداف سایت و اهداف شبکه.

- اهداف مدیریت سایت به طور خاص با اهداف محلی ارتباط دارند، مانند نگهداری یک تنظیم جریان در طول سایت یا حفظ فوری سطح آب بالادست یا پایین‌دست در نقاط تعیین‌شده. الگوریتم برای برقراری ارتباط با حس‌گرها و محرک‌ها و الگوریتم کنترل به طور کلی در دریچه کنترل در RTU / PLC مستقر است. برای آن‌که نظارت و بهره‌برداری از راه دور را برای کارمند آبیاری ممکن سازد، فقط نرم‌افزار اسکادا و زیرساخت‌های ارتباطی مورد نیاز هستند.
- اهداف کنترل شبکه مستلزم این است که یک منطقه کنترلی با مناطق کنترلی همجوارش برای تحقق اهداف کنترل سامانه یا شبکه‌ای (و همچنین اهداف محلی) در ارتباط باشد. در کامل‌ترین شکل سامانه، آب‌بران، با شبکه ارتباطی با سامانه در تعامل هستند و سفارشات خود را از این طریق مشخص می‌کنند. برای اطمینان از بهره‌برداری از سامانه آبیاری در محدوده مطمئن/ایمن بهره‌برداری، اطلاعات مربوط به سفارش‌ها، در سامانه کنترل استفاده می‌شود و این سفارش‌ها به طور خودکار تنظیم می‌شوند. این قابلیت نیاز به تکمیل تقریبا تمامی زیرساخت‌ها و خدمات مرتبط با آن را دارد (شکل ۹-۸).



شکل ۹-۸- زیرساخت‌های خودکارسازی و ذی‌نفعان

بنابراین، نرم‌افزار کنترل مورد نیاز، به نوع اهداف کنترلی مورد نظر بستگی دارد. نرم‌افزار کنترل می‌تواند در چند دسته قرار بگیرد:

نرم‌افزار RTU/PLC برای اسکن حس‌گرها و راه‌اندازی عمل‌گرهای دریچه‌های کنترل از طریق الگوریتم کنترلی و برقراری ارتباط، در سخت‌افزار RTU/PLC نصب می‌شود. در زمان یک‌پارچه‌سازی هنگام سازگاری با اسکادا، نرم‌افزار باید با سرور مرکزی ارتباط برقرار کند. بسته به نوع اجرای کنترل و پیکربندی ارتباطات، وظایف کنترلی بیش‌تر مانند کنترل جریان، کنترل بالادست و پایین‌دست بلافاصله، کنترل از راه دور پایین‌دست یا ارتباط همتا به همتا، توسط نرم‌افزار داخل RTU/PLC قابل انجام است.

نرم‌افزار کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده‌ها (اسکادا) به اپراتور کانال این امکان را می‌دهد تا یک دریچه کنترل، مجموعه‌ای از دریچه‌ها یا کل شبکه آبیاری را از راه دور کنترل و بهره‌برداری کند.

نرم‌افزار سفارش آب و مدیریت تقاضا به آب‌بران امکان مشاهده و ثبت سفارش را می‌دهد و همچنین اطمینان می‌دهد که سفارشات از ظرفیت و محدودیت‌های بهره‌برداری مطمئن تجاوز نکند.

نرم‌افزار نمایش شبکه، اطلاعات توپولوژی و اتصالات شبکه را برای کنترل شبکه و برای نرم‌افزار «سفارش آب و مدیریت تقاضا» فراهم می‌کند. (توضیحات تشریحی در بند۵-۳ فصل ۵ به تفصیل آورده شده است).

۹-۱۰- مثال کلی از یک پروژه اجرایی :

۹-۱۰-۱- مشخصات ایستگاه و خط انتقال شامل موارد زیر است کنتر ل ایستگاه پمپاژ

تجهیزات کنترل ایستگاه پمپاژ مطابق دیاگرام P&ID[1] و مشخصات فنی خصوصی مندرج در اسناد پیمان است. با توجه به برخی تغییرات در این راهنما فقط فلسفه کنترل مرتبط ارائه می‌شود. لازم است قبل از اقدام به خرید و ساخت و پیاده‌سازی سامانه کنترل، نقشه سامانه کنترل بررسی و مورد تایید قرار گیرد.

۹-۱۰-۱-۱- تابلوهای محلی

در تلمبه‌خانه‌های این مثال، به ازای هر الکتروپمپ و شیربرقی مربوطه، یک تابلوی محلی قرار دارد. بر روی این تابلو، کلیدهایی برای روشن/خاموش کردن هر یک از الکتروپمپ‌ها و باز/بسته کردن هر یک از شیرهای برقی، وجود دارد. همچنین یک کلید قارچی با فنر قابل برگشت برای قطع اضطراری بر روی هر یک از تابلـوها قـرار می‌گیرد. به علاوه،

1- Piping and Instrumentation Diagram

تعدادی چراغ سیگنال بر روی تابلوی محلی قرار دارد که وضعیت‌های الکتروپمپ (روشن/خاموش/آماده) و شیربرقی مربوطه (باز/ بسته) و خطا را نشان می‌دهد. در ضمن برای هر کدام یک کلید انتخاب قفل‌دار[1] سه حالته برای وضعیت‌های محلی/خاموش/دور[2] بر روی تابلوی محلی قرار می‌گیرد. کلیه ترمینال‌های لازم برای اتصال کابل‌های کنترلی ورودی و خروجی به تابلوی کنترل محلی باید درنظر گرفته شوند از این تابلو بیش‌تر به منظور تعمیر، نگهداری و سرویس‌های دوره‌ای و مرحله‌ای استفاده می‌شود. به همین منظور کلیدی سلکتوری قفل‌دار تحت عنوان Test در آن تعبیه گردیده است تا درصورت انجام کارهای تعمیراتی با قرار دادن این کلید در حالت Test و قراردادن سامانه در حالت محلی، فرامین به محض صادر شدن اجرا می‌شوند، در غیر این‌صورت (انتخاب نشدن حالت Test) فرامین پس از فراهم آمدن شرایط اجرا می‌شوند. در حالت Test مدارهای کنترلی از مدار خارج خواهند شد.

۹-۱۰-۱-۲- تابلوی کنترل

در تلمبه‌خانه اینترلاک‌ها در PLC تحقق می‌یابد. در اتاق کنترل دو رایانه با کلیه لوازم جانبی و نرم‌افزارهای لازم جهت راه‌اندازی و برنامه‌نویسی PLC و همچنین پایش ایستگاه پمپاژ وجود دارد که در حقیقت قابلیت نمایش و ثبت ذخیره تمامی سیگنال‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری و چراغ سیگنال‌هایی که وضعیت الکتروپمپ‌ها (روشن/خاموش/آماده) و شیرهای برقی مربوطه (باز/بسته) و خطا را دارد. بنابراین کاربر از کیفیت کار کلیه قسمت‌ها و تجهیزات تلمبه‌خانه‌ها اطلاع حاصل می‌نماید. کلید قطع هشدار، نیز بر روی تابلوی کنترل قرار دارد. صدای هشدار توسط این کلید قطع می‌شود، یا با گذشت زمان مناسب و قابل تنظیم حذف می‌گردد ولی چراغ سیگنال مربوطه تا رفع کامل خطا باقی خواهد ماند. در صورت قرارداشتن هر یک از الکتروموتورها در حالت دور، فرمان‌های کنترلی از طریق PLC به‌صورت دستی یا خودکار صادر می‌گردد.

به منظور امکان راه‌اندازی ایستگاه پمپاژ در صورت خطا در عملکرد PLC لازم است که کلیه فرامین مربوط به راه‌اندازی و توقف هر پمپ به صورت دستی از طریق تابلوهای MCC[3] امکان‌پذیر باشد. باز و بستن شیر برقی در حالت دستی از طریق تابلوی UDP باید انجام شود.

1- Selector
2- Local/Off/Remote
3- Motor Control Center

۹-۱۰-۲- اصول بهره‌برداری

مبنای اصلی سامانه کنترل، فعالیت صحیح الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی است که برخی از این مبانی عبارتند از: باز و بسته شدن شیرهای رانش با وضعیت الکتروپمپ نظیر آن‌ها. هنگام روشن شدن الکتروپمپ، شیر رانش باید بسته باشد. پس از روشن شدن الکتروپمپ و رسیدن آن به دور نامی، شیر با زمان‌بندی خاصی باز می‌شود. همین‌طور برای خاموش شدن پمپ ابتدا شیر مذکور بسته و سپس الکتروپمپ خاموش می‌گردد. شرایط بحرانی از این قاعده مستثنی بوده و امکان خاموش شدن الکتروپمپ‌ها به طور هم‌زمان وجود دارد. باز و بسته شدن شیر باید در زنجیره قطع و وصل قرار گیرد، باز و بسته شدن دستی شیر در صورت امکان فقط در محل نصب شیر امکان‌پذیر گردد.

۹-۱۰-۳- اولویت‌بندی و سطوح کنترل

راه‌اندازی و کنترل الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی مربوطه از دو محل صورت می‌گیرد. این فرامین، همان‌گونه که در ادامه ذکر شده، علاوه بر تابلوهای محلی، از تابلوی کنترل PLC واقع در میز کنترل نیز قابل اعمال هستند.

اولویت راه‌اندازی از تراز (سطح) کنترل پایین به بالا است و توسط کلید انتخاب[1] قرارگرفته بر روی هر یک از تابلوهای محلی تعیین می‌گردد.

در صورتی که کلید انتخاب در وضعیت خاموش قرار داشته باشد، الکتروپمپ و شیر برقی مربوطه از جایی فرمان نمی‌گیرند. چنانچه این کلید در وضعیت محلی[2] قرارگیرد، اعمال فرمان‌های راه‌اندازی، فقط از تابلوی محلی امکان‌پذیر است. با قرار دادن کلید انتخاب در وضعیت دور، الکتروپمپ و شیربرقی مربوطه فقط از طریق اتاق کنترل قابل راه‌اندازی و کنترل خواهد بود.

به طورکلی کنترل تجهیزات تلمبه‌خانه‌های طرح از محل‌های زیرصورت می‌گیرد.

- شیرهای برقی: از تابلوهای محلی و سامانه PLC و تابلوی UDP
- الکتروپمپ‌ها: از تابلوهای محلی و سامانه PLC و کلیدهای روی تابلوی MCC
- سایر تجهیزات: از محل نصب آن‌ها و سامانه مانیتورینگ واقع در اتاق کنترل (درصورتی که قابلیت ارسال سیگنال به اتاق کنترل را داشته باشد).

1- Selector
2- Local

۹-۱۰-۴- مکانیزم کنترل الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی

به طور کلی کنترل و راه‌اندازی سامانه به دو طریق دستی و اتوماتیک امکان‌پذیر است برای این منظور یک کلید انتخاب دو حالته (دستی/اتوماتیک) پیش‌بینی گردد تا امکان راه‌اندازی دستی (خارج از PLC) فراهم گردد.

با توجه به رزرو بودن یک دستگاه از الکتروپمپ‌ها (۱+۴)، سامانه کنترل باید به نحوی طراحی گردد که حداکثر ۴ دستگاه الکتروپمپ به طور هم‌زمان روشن باشد.

مبنای اصلی سامانه کنترل، فعالیت صحیح الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی است. باز و بسته شدن شیرهای برقی خروجی هر خط پمپاژ با وضعیت الکتروپمپ آن خط در ارتباط است.

برای پرکردن خط انتقال لازم است شیر خروجی خطوط پمپاژ بسته بوده و پس از راه‌اندازی یک دستگاه الکتروپمپ و با باز کردن تدریجی شیر رانش اقدام به پر کردن خط انتقال نمود.

برای جلوگیری از پدیده ضربه قوچ باید بعد از رسیدن پمپ به دور نامی، شیر برقی باز شود. زمان رسیدن پمپ به دور نامی و باز شدن شیر برقی توسط یک ترانسمیتر فشار که دارای دو کنتاکت است، مشخص می‌گردد که یکی برای فشار بالا (PSH) و دیگری برای فشار بحرانی بالا (PSHH) در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب با فعال شدن کنتاکت مربوط به فشار بالا شیر برقی که در خروجی هر الکتروپمپ وجود دارد شروع به بازشدن می‌کند؛ اگر فرایند بازشدن شیر برقی طول بکشد و موجب افزایش بیش از حد مجاز فشار در خروجی پمپ گردد باید فرمان خاموش شدن الکتروپمپ و شیربرقی و قطع مکانیزم راه‌اندازی صادر شود، که در این حالت کنتاکت مربوط به فشار بحرانی بالا فعال می‌گردد.

همچنین برای هر یک از شیرهای برقی کلیدهای حدی باز/بسته و کلیدهای حدی گشتاور تعبیه گردیده که به ترتیب جهت اعلام وضعیت شیر و اندازه‌گیری نیروی اعمالی به محور شیر در هنگام باز/بسته شدن استفاده می‌گردد، چنانچه این نیرو از حد تعریف شده فراتر رود، کلیدهای حدی گشتاور فعال شده و سیگنالی را به مدار فرمان ارسال می‌کنند. این سیگنال بلافاصله موجب توقف شیر برقی و خاموش شدن الکتروپمپ و فعال شدن سیگنال خطا و هشدار می‌گردد. برای شیرهای دستی نیز در مواردی که در نقشه‌ها مشخص گردید، میکروسوئیچ جهت اعلام وضعیت (باز/بسته) تعبیه می‌گردد.

برای اندازه‌گیری سطح آب در حوضچه وآگاهی از شرایط بحرانی مانند «حداقل بحرانی»، «حداقل مجاز»، «حداکثر مجاز» و «حداکثر بحرانی» روی حوضچه مکش ترانسمیتر سطح نصب می‌گردد که در آن کنتاکت‌هایی جهت تامین این سوئیچ‌ها وجود دارد.

در ورودی هر یک از پمپ‌ها یک کلید حدی فشار یک کنتاکته برای فشار پایین (PSL) درنظر گرفته شده است که در صورت کاهش فشار ورودی به پمپ فرمان قطع دهد و از خشک کار کردن پمپ جلوگیری کند.

۹-۱۰-۴-۱- منبع تغذیه سامانه کنترل

ولتاژ تغذیه تجهیزات ابزاردقیق و PLC، 220VAC/1Ph/50Hz است که باید برای تلمبه‌خانه تامین شود. همچنین با توجه به ماهیت طرح، برای سامانه کنترل، برق اضطراری (از نوع Online UPS) با ظرفیت ۶KVA بهره می‌برد.

فصل ۱۰

مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری

۱۰-۱- روش‌های پایش و ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع آبیاری خودکار

۱۰-۱-۱- ارزیابی عملکرد سامانه

مدرن‌سازی و خودکارسازی در عمل، ارتقا و تحول مدیریتی و تا حدودی سازه‌ای در شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. از این‌رو ارزیابی عملکرد آن مانند شبکه‌های دیگر طبق ضابطه شماره۷۵۳ سازمان برنامه و بودجه کشور تحت عنوان «راهنمای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری و زهکشی سطحی» و همچنین ضابطه شماره ۷۹۱، تحت عنوان «راهنمای ارزیابی عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت‌فشار و کم‌فشار»، انجام می‌شود. همچنان‌که در مقدمه این راهنما اشاره شده است «هدف اصلی ارزیابی عملکرد، دستیابی به سامانه‌ای کارآمد، موثر و مولد در آبیاری و زهکشی است تا با فراهم آوردن بازخورد و تعامل مناسب در تمام سطوح مدیریتی، به شناسایی و حل مشکلات و نارسایی‌ها کمک کند». بدین ترتیب، ارزیابی عملکرد، ابزاری مناسب برای مدیران و سیاست‌گذاران خواهد بود تا مطلوب بودن یا نبودن عملکرد را تشخیص داده و در صورت مطلوب نبودن آن، نسبت به شناسایی نارسایی‌ها و اقدامات اصلاحی که باید صورت گیرد، اقدام نمایند. هدف کلی ارزیابی عملکرد به طور معمول، رسیدن به نقطه‌ای است که در آن پایداری پروژه و محیط‌زیست اطراف آن حفظ شود و راه‌های بهبود عملکرد به نحوی مشخص شود که اهداف طرح تحقق یابد. نتایج ارزیابی‌های گذشته قطعا در چگونگی امر خودکارسازی موثر و مفید است. روش‌های کنترل، پایش و ارزیابی نظارت بر عملکرد سامانه‌های خودکار به طور خاص در این فصل ارائه می‌شود.

۱۰-۱-۲- پیش نیازهای طراحی جهت عملکرد مورد انتظار در بهره‌برداری

برای داشتن عملکرد دلخواه، اشراف به مشکلات این روش نوین ضروری است. در شروع هر فرایند خودکارسازی، کاربران و توسعه‌دهندگان خودکارسازی اغلب انتظارات بالایی دارند. درصورتی‌که تمامی جوانب امر در نظر گرفته نشود و به جدید بودن این تحول توجه کافی نشود، پس از اجرای امر خودکارسازی، ممکن است عملکرد سامانه بسیاری از این انتظارات را برآورده نکند. به‌ویژه این‌که بعضی اوقات کاربران تا زمان اجرای سیستم، پیامدهای تصمیمات گرفته شده در مورد استراتژی‌های کنترل را کاملا درک نمی‌کنند. در عین حال، طراحان نیز همیشه نمی‌توانند عملکرد طراحی سامانه کنترل خود را به درستی پیش‌بینی کنند و در شبکه‌های در دست بهره‌برداری اغلب به دلیل شرایط متفاوت زیرساخت‌های فیزیکی موجود و ماهیت جریان کانال روباز، سطح واقعی کنترل مورد انتظار، محدود است.

طراحان با تجربه کافی در زمینه اتوماسیون شبکه کانال‌ها در شرایط کار تیمی متشکل از تخصص‌های مورد نیاز و کارشناسان خلاق، شاید بتوانند سطح عملکرد ممکن برای یک طرح کنترل خاص را پیش‌بینی کنند اما متاسفانه تجربیات کمی از تعداد محدودی از کانال‌های خودکار در تعداد محدودی از شبکه‌ها قابل دسترس است. بنابراین تکیه صرف بر تجربه در شرایط فعلی کافی نیست و توصیه بر کار تیمی و منسجم است.

توصیه شده است برای اطمینان از عملکرد مورد انتظار استراتژی انتخاب شده، آزمایش‌های عملکرد پیش از اجرا، از طریق مدل شبیه‌سازی انجام شود. در شرایطی که اپراتورها درک قابل قبولی از محدودیت‌های خودکارسازی شبکه داشته باشند، تبادل نظر طراح در مورد مبانی و معیارهای عملکرد پیش‌بینی شده با این اپراتورها بسیار مفید است. اپراتورها می‌توانند به جای کنترل کامل یا علاوه بر اتوماسیون محدود کانال‌ها، اجرای سایر ویژگی‌های کنترلی مانند مخازن کوچک را در موقعیت‌های مناسب توصیه کنند. این امر باعث می‌شود تا کارکنان عملیاتی مزایا و محدودیت‌های خودکارسازی را بهتر درک نمایند. ارتباط پویا بین طراح سیستم کنترل و کارکنان عملیات بهره‌برداری برای جلوگیری از سوء تفاهم‌ها در اقدامات متحول‌سازی شبکه، ضروری هستند.

برای جلوگیری از مشکلات ارتباطی و ارزیابی عملکرد سیستم کنترل سامانه، این راهکار توصیه می‌شود که اپراتورها بتوانند نحوه عملکرد سیستم کنترل را با آزمایش‌های مشخص و عینی و توصیفی، فراگیرند تا در زمان راه‌اندازی پروژه و در مدت زمان کم‌تری در ارزیابی عملکرد سامانه به‌هنگام تحویل موقت مشارکت نمایند.

۱۰-۱-۳- راه‌اندازی سامانه

اندازه‌گیری عملکرد برای ارزیابی اثرگذاری و بهره‌وری سامانه آبیاری پس از اتمام پروژه، تحت پروتکل‌های تعریف شده، مراحل زیر را طی می‌کند:

۱- راه‌اندازی

تجهیزات راه‌اندازی و عملکرد از نظر مطابقت با اهداف و مشخصات فنی هر یک از تجهیزات بررسی شود.

۲- فعال‌سازی و تنظیم نهایی کنترل‌گرها و ...

بعد از راه‌اندازی کامل سامانه خودکارسازی و اسکادا، سامانه‌های کنترلی در تمامی شبکه فعال و کنترل شود.

بعد از ارزیابی تمامی کنترل‌گرها، تنظیمات نهایی انجام گیرد.

۳- ارزیابی و تایید عملکرد (بهره‌برداری)

عملکرد نهایی اندازه‌گیری و با اهداف کلی سامانه جهت تایید کارایی مقایسه شود.

۴- عملیات و نگهداری بعد از تایید

یکی از مهم‌ترین بخش‌های خودکارسازی، عملیات و نگهداری بعد از بهره‌برداری است.

این بخش در شبکه‌های معمول نیز به عنوان یک روال مشخص انجام می‌گیرد و در سامانه خودکار نیز شامل تجهیزات جدید، نرم‌افزارها و روند اجرایی متفاوت است، قابل انطباق است.(ضابطه ۷۵۳ سازمان برنامه و بودجه کشور).

۱۰-۱-۴- ملاحظات آزمودن عملکرد نقاط کنترلی در سامانه آبیاری خودکار

در یک تقسیم‌بندی کلی دو نوع موقعیت کنترلی از لحاظ پیچیدگی در عملکرد در سامانه خودکار وجود دارد. نقاطی که مستقل از دیگر اجزا سامانه کنترل را انجام می‌دهند و نقاطی که کنترل وابسته به موقعیت‌های دیگر دارند. ملاحظات آزمایش عملکرد برای این دو نوع کاملا متفاوت است.

۱- تجهیزاتی ساده یا مستقل هستند که اقدامات زیر را انجام می‌دهند (موقعیت کنترلی مستقل):
- کنترل خودکار جریان آب در ورودی شبکه
- کنترل سطح آب بالادست در مجاورت یک دریچه آبگیر مانند سرریز کانال
- کنترل ورودی یا خروجی از مخزن
- کنترل دور متغیر یک واحد پمپاژ

تجهیزات مستقل بیان‌گر این است که پارامتر کنترلی در آن تحت تاثیر سایر موقعیت‌های خودکار قرار نمی‌گیرد. تجهیزات ساده بیان‌گر آن است که تجهیزات کنترلی (به عنوان مثال دریچه) به محل اندازه‌گیری پارامترها (سطح آب یا میزان جریانی که باید کنترل شوند) بسیار نزدیک است مثلا حدود ۱۰۰ متر. در موقعیت‌های مستقل، تجهیزات کنترل خودکار را می‌توان در نقطه کنترلی در شبکه، نصب، تنظیم و آزمایش کرد.

۲- پیکربندی پیچیده: چندین دستگاه در ارتباط با هم که اقدامات منفرد فوق را در یک مجموعه به هم وابسته انجام می‌دهند و شامل موارد زیر است:
- کنترل بالادست یک سری دریچه‌های کنترل
- کنترل پایین‌دست سطح آب در انتهای پایین‌دست بازه کانال

تجهیزات خودکار، زمانی «پیچیده» محسوب می‌شوند که تحت تاثیر سایر تجهیزات خودکار قرار می‌گیرند یا اگر زمان رسیدن تغییرات جریان به محل اندازه‌گیری قابل توجه باشد، به‌خصوص در جایی که اطلاعات یک نقطه کنترلی (از طریق RTU/PLC) باید به نقاط کنترلی دیگر ارسال شود. برای تجهیزات پیچیده، آزمودن عملکرد با مدل شبیه‌سازی جریان ناپایدار توصیه شده است که به بهره‌بردار و آب‌بران امکان درک بهتری از قابلیت‌های سامانه خودکار معرفی‌شده می‌دهد. همچنین شبیه‌سازی جریان ناپایدار برای آموزش عوامل بهره‌برداری در درک عملکرد سامانه خودکار در شرایط مختلف، از جمله شرایط اضطراری می‌تواند استفاده شود.

هدف از تجهیزات خودکار، تغییر مقادیر پارامترهای کنترلی (عموما سطح آب یا آبدهی) به مقادیر هدف است. معمولا در نقطه کنترلی، کنترل‌گر یک قرائت از یک حس‌گر دریافت و مقدار پارامتر کنترلی را محاسبه می‌کند. به عنوان مثال در نقطه کنترلی، یک ترانسدیوسر مقدار فشار را قرائت و عمق آب را محاسبه می‌کند. کنترل‌گر خودکار اقدام کنترلی را تا زمانی که عمق آب محاسبه شده به عمق دلخواه برسد، انجام می‌دهد (مثلا تغییر در گشودگی دریچه). اما هر شرایطی که موجب اشتباه قرائت حس‌گر گردد باعث می‌شود که کنترل‌گر سطح آب را در مقدار اشتباهی تنظیم کند؛ این اشکال الگوریتم کنترل خودکار نیست. مشابه همین خطا در مورد اندازه‌گیری آبدهی هم به‌وجود می‌آید. اگر اندازه‌گیری آبدهی

دقیق نباشد، موجب تغییر مقدار آبدهی به مقدار اشتباه می‌گردد. خطاها در واسنجی تجهیزات اندازه‌گیری، نمی‌تواند توسط تجهیزات خودکار اصلاح گردد و مشخصات مجزایی برای واسنجی تجهیزات اندازه‌گیری مورد نیاز است. افزون بر این، نگهداری و واسنجی دوره‌ای باید درنظر گرفته شود.

بیش‌تر سازه‌های خودکار، یک دریچه یا شیر را تا زمانی که سطح آب یا آبدهی به مقدار دلخواه برسد، تنظیم می‌کنند. اکثر حس‌گرهای دریچه‌ها یا شیرها، دیجیتال هستند که یک وضوح حداقل دارند. به عنوان مثال، افزایش خروجی یک حس‌گر ممکن است منجر به ±۱۰ میلی‌متر تغییر در موقعیت فیزیکی دریچه شود. بدین ترتیب حس‌گر موقعیت دریچه، میزان گشودگی را بین ±۵ میلی‌متر شناسایی می‌کند و سامانه کنترل فقط قادر به کنترل دریچه بین ±۵ میلی‌متر خواهد بود و موجب خطای تصادفی در کنترل دریچه می‌گردد. اگر جریان عبوری از دریچه به موقعیت دریچه حساس باشد، برای سامانه کنترل، تنظیم دقیق مقدار جریان عبوری یا سطح آب درست، امکان‌پذیر نیست. این موضوع برای یک کنترل‌گر سطح آب، باعث ایجاد نوسانات در سطح آب می‌گردد زیرا نمی‌تواند موقعیت دریچه را دقیقا در جایی قرار دهدکه جریان ورودی و خروجی به یک بازه کانال را متعادل نماید. اگر نوسانات پدیدار گردد، تشخیص بین عدم کفایت الگوریم کنترل یا عدم تنظیم مناسب کنترل‌گر و وضوح ضعیف در اجزا سامانه فیزیکی، مهم است.

۱۰-۱-۵- شاخص‌های کارایی

برای محل‌هایی که سازه آبگیر دستی وجود دارد، سطح آب ثابت بر مقدار آبدهی ثابت، دلالت دارد. بدین ترتیب بسیاری از سامانه‌های کنترل خودکار کانال‌ها، برای نگه‌داشتن سطح آب ثابت، عمل می‌نمایند. در سایر موارد کنترل مقدار آبدهی، به طور مستقیم انجام می‌شود. بنابراین برای سامانه یا تجهیزات کنترل، دو هدف کارایی کنترل وجود دارد: کنترل سطح آب و کنترل آبدهی. ارزیابی کارایی این دو نوع کنترل ممکن است متفاوت باشد.

شاخص‌های مدیریتی عملکرد سامانه خودکار به قرار زیر است: (این شاخص‌ها به تفصیل در ضابطه ۷۵۳ سازمان برنامه و بودجه کشور ارائه شده است).

- تامین میزان جریان مورد نظر (درخواستی) برای کاربران در یک بازه زمانی مشخص
- کنترل دقیق و قابل اطمینان سطح آب
- میزان کاهش هزینه‌های کارکنان
- میزان کاهش تلفات آب از سرریزها
- صرفه‌جویی در مصرف آب
- انجام عملیاتی که به صورت دستی غیرممکن هستند .(مثلا کنترل پایین‌دست)

توصیه می‌شود شاخص‌های فوق نه تنها در فرایند مطالعات بلکه به هنگام تحویل موقت پروژه نیز مدنظر باشند.

۱۰-۱-۶- کنترل عملکرد هیدرولیکی سامانه خودکار

کنترل آبدهی در هر آبگیر کانال معمولا با یک سازه اندازه‌گیر جریان عبوری و یک دریچه قابل تنظیم، عملی می‌شود. بنابراین پیچیدگی کم‌تری از کنترل سطح آب دارد. اگرچه برای ارزیابی، اساسا موضوعات مشابه هستند. معیارهای کارایی کنترل سطح آب که برای هر بازه کانال باید مشخص شود، به ترتیب زیر است:

- حداکثر خطاهای سطح آب
- متوسط خطاهای سطح آب
- خطاهای حالت پایدار
- تغییرات در جابه‌جایی دریچه یا آبدهی
- سرعت بازگشت به شرایط مطلوب بعد از انحراف از محدوده هدف

برای کنترل سطح آب، تغییر در گشودگی دریچه، در معیارهای کارایی منظور می‌شود ولی دلیل اصلی برای محدود کردن حرکت دریچه، اطمینان از پایداری و اجتناب از نوسانات سطح آب (علاوه بر فرسایش اجزا) است. بنابراین ارزیابی کارایی کنترل سطح آب، نیازمند توجه به انحرافات سطح آب و تغییر در گشودگی دریچه است. با وجود شاخص‌های بسیار زیاد، قضاوت در مورد شایستگی یک الگوریتم کنترل، نسبت به دیگری می‌تواند دشوار باشد. مگر این‌که کنترل‌گر در همه شاخص‌ها برتری داشته باشد. اگرچه منطق‌های کنترلی مختلفی در مرحله شبیه‌سازی عملکرد خوبی را نشان می‌دهند، ولی به‌دلیل برنامه‌نویسی‌های میدانی، محدودیت‌های PLC و کنترل‌گرها و جزئیات انتخاب تجهیزات کنترلی/اندازه‌گیری، ممکن است در عمل کارایی لازم را نداشته باشند. به هرحال اگر منطق کنترل در شبیه‌سازی عملکرد مناسبی نداشته باشد، با برنامه‌نویسی میدانی و تجهیزات عالی نیز نمی‌توان منطق نامناسب را جبران کرد.

معمولا الگوریتم‌های کنترل کانال، هم برای تغییرات سطح آب و هم برای تغییرات آبدهی، برای حداقل کردن خطاهای محتمل تلاش می‌کند. برای ارزیابی دقت عمل سامانه کنترل آبدهی، موارد زیر با توجه به نوع سامانه باید به هنگام تحویل موقت کنترل و با آنچه در مبانی آمده است مقایسه شود:

- تغییر آبدهی و رسیدن به آبدهی جدید چه مدت طول می‌کشد؟
- آیا جریان آب دچار نوسان می‌شود؟
- آیا خطای حالت پایدار وجود دارد؟
- آیا تعداد تنظیمات دریچه برای رسیدن به آبدهی مورد نظر، بیش از حد انتظار است؟
- آیا شرایط کنترلی پایدار است؟
- به چه میزان اندازه‌گیری آبدهی، قابل اطمینان است؟
- اندازه‌گیری آبدهی چقدر دقیق است؟
- آیا کنترل سایر سازه‌ها باعث ایجاد اختلال جریان آبدهی ثابت می‌شود؟

معیارهای کارایی همانند معیارهای کارایی کنترل سطح آب، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد اما توجه داشته باشید که کنترل آبدهی با تبدیل سطح آب به میزان شدت‌جریان صورت می‌گیرند.

نتایج تجربیات در آمریکا نشان می‌دهد که کنترل پیش‌خور یا پیش‌بینی تغییرات آبدهی، برای کنترل موثر در کانال‌هایی که نوسانات برداشت غیرمعمول آب در پایین‌دست، تغییرات زیادی در سطح آب ایجاد کرده و می‌تواند موجب جریان محدود برای سایر کاربران گردد، ضروری است. تغییرات جریان در آبگیرهای پایین‌دست بر اساس تقاضا، در کانال‌های با ذخیره کم و زمان انتقال آب طولانی، امکان ندارد. پارامترهای کارایی می‌تواند به شرح زیر باشد:

- حداکثر قدر مطلق خطا

$$MAE = \frac{\max\left(\left|y_t - y_{target}\right|\right)}{y_{target}} \qquad (۱-۱۰)$$

که در آن y_t سطح آب در زمان t و y_{target}، سطح آب مورد نظر است.

- انتگرال قدر مطلق مقادیر خطا

$$IAE = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{\left|y_t - y_{target}\right|}{y_{target}}\, dt \qquad (۲-۱۰)$$

که در آن T، زمان آزمایش است.

این پارامترها برای هر بازه کانال به طور مستقل اندازه‌گیری می‌شود و بدون بعد است.

۱۰-۲- چگونگی بازنگری ساختار سازمانی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری

۱۰-۲-۱- کلیات

ساختار سازمانی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری برای پروژه‌های در دست طراحی شبکه‌ها، متفاوت از شبکه‌های در دست بهره‌برداری موجود و به شیوه سنتی خواهد بود. در پروژه‌های مطالعاتی (در دست طراحی) امکانات بیش‌تر و محدودیت‌های کم‌تری برای بهینه کردن سیستم و سازمان مدیریت بهره‌برداری وجود دارد. در طرح‌های مطالعاتی پس از تدوین نهایی طرح، به دلیل زمان‌بر بودن اجرای شبکه‌های آبیاری و لزوم بهره‌برداری از بخش‌های تکمیل شده در مراحل مختلف، نیاز به اولویت‌بندی است. این امر با توجه به جمیع جهات که در راس آن‌ها شرایط اجتماعی، کشاورزی، منابع مالی و امکان پیاده‌سازی یک واحد مستقل خودکارسازی است، صورت می‌گیرد.

اما در طرح‌های در دست بهره‌برداری، بررسی شرایط تحول درساختار سازمانی، کاملا بستگی به وضعیت موجود شبکه از لحاظ فیزیکی، مدیریتی و اجتماعی موجود آن دارد که نحوه شناسایی آن در فصل نهم به تفصیل توضیح داده شده است.

ساختار سازمانی در شبکه‌های خودکار، بستگی به ابعاد پروژه و اولویت‌بندی اجرایی خودکارسازی در آن دارد. اما آنچه مسلم است، سازمان اساسا وظیفه مدیریت یک سامانه با فن‌آوری نوین سخت‌افزاری و نرم‌افزاری را به عهده دارد. از

این‌رو نیروی انسانی، محیط کار، روابط و گردش اطلاعات و نحوه اقدام، از نظر ماهیت با شرایط سنتی حاکم در شبکه‌ها متفاوت است و ضرورت دارد استفاده حداکثری از امکانات و زیرساخت‌های موجود در اولویت باشد. در عین این‌که باید توجه شود در مواردی که احتمال اختلال در عملکرد سامانه جدید وجود دارد، این اصل در اولویت دوم قرار می‌گیرد.

۱۰-۲-۲- ساختار سازمانی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری

با توجه به توضیحات بالا برای پروژه‌های شبکه‌های در دست مطالعه، ساختار سازمانی و الزامات آن طبق ویژگی‌های طرح و آخرین استانداردهای معتبر و سیاست‌های بالادست تعیین و در محاسبات توجیه‌پذیری فنی–اقتصادی طرح ملحوظ می‌شود. اما نباید فراموش کرد که تاخیر در شروع عملیات اجرایی طرح یا طولانی شدن اجرا، می‌تواند فن‌آوری پیش‌بینی شده را به دلیل رشد سریع دستگاه‌های دیجیتالی و توسعه نرم‌افزارها، نیازمند بازنگری نماید. از این‌رو در چنین شرایطی سازمان و روابط درونی آن باید بازنگری شود.

اما در شبکه‌های در دست بهره‌برداری موجود، ساختاری وجود دارد که با توجه به شرایط خاص پروژه شکل گرفته و در بسیاری از موارد به دلیل دستی بودن عملیات، سازمان فاقد نیروهای با تخصص و در برخی موارد آموزش یافته و تشکیلاتی است. طبعا در صورتی که نیروها فاقد تحصیلات لازم بوده یا قدرت فراگیری آموزش‌های متناسب با تحول جدید را نداشته باشند، تجدید سازمان ساده نبوده و با چالش‌هایی همراه است. به همین دلیل است که مراجع معتبر به اجرای مرحله‌ای و گام به گام سامانه تاکید دارند. در چنین فرایندی امکان استخدام نیروهای محدود تحصیل کرده به همراه آموزش نیروهای با انگیزه، جوان و مستعد از کارکنان قبلی تسهیلاتی را در پیشبرد تحول فراهم خواهد ساخت.

بی‌گمان واحد بهره‌برداری و واحد نگهداری شبکه آبیاری سازمان، نیاز به دگرگونی اساسی خواهد داشت و لازم است تا حد امکان نیروهای فاقد آموزش یا غیر توانمند در قسمت‌هایی مستقل از سیستم نوین قرار داده شوند و واحد کنترلی با انضباط حداکثری مورد نیاز سامانه خودکار مطابق آنچه در این راهنما بدان اشاره شده، سازمان یافته و مدیریت شوند و نیروهای مستعد با برنامه‌های آموزشی فشرده ارتقا دانش و مهارت یابند.

به منظور دستیابی به ساختار سازمانی مناسب و با رعایت اصولی که در فصل ششم همین راهنما به آن‌ها اشاره شد، لازم است ابتدا جایگاه‌های فعالیت و مسوولیت که در ساختار سازمانی قبل از خودکارسازی موجود بوده ولی با خودکارسازی وظایف آن‌ها تعطیل یا تقلیل یافته است، تعیین، حذف یا اصلاح شود. سپس بررسی نمود که امکان ادغام جایگاه‌هایی از ساختار موجود که در وظایف آن‌ها تحولی ناشی از خودکارسازی صورت نگرفته اما به دلیل اجرای خودکارسازی در شبکه آبیاری و زهکشی برون‌داد نهایی آن‌ها به‌عنوان درون‌داد خودکارسازی، باید مورد استفاده قرار گیرد، نیز تعیین شود.

در طراحی ساختار سازمانی برای محدوده خودکارسازی، توجه به گستردگی سطح شبکه آبیاری و زهکشی ضروری است. برای تدوین و طراحی ساختار سازمانی مورد نیاز در محدوده سامانه‌های خودکارسازی شده، پیشنهاد می‌گردد دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری اصلاح شده پس از خودکارسازی، ملاک طراحی ساختار سازمانی قرار گیرد. معمولا

در تهیه و تدوین دستورالعمل، فرم‌های بهره‌برداری و نگهداری ساختار سازمانی نیز طراحی شده است. توجه به اصل طراحی ساختار سازمانی پهن و افقی در مدیریت‌های بهره‌برداری و نگهداری برای حداکثر کاهش هزینه‌های نیروی انسانی ضروری است.

در طراحی جایگاه‌های ساختار سازمانی لازم است به اصلی که هر «جایگاه» در ساختار سازمانی نشانه «وظیفه=فعالیت» است و نه «نیروی انسانی» مورد نیاز، توجه نمود. بنابراین، این ظرفیت همواره در ساختار سازمانی وجود دارد که با توجه به گستردگی شبکه آبیاری و زهکشی و زمان‌سنجی برای اجرای فعالیت‌ها، یک سلول توسط یک نفر نیروی انسانی و یک نفرکارشناس یا تکنسین (یا بیش‌تر) به اجرا درآید. می‌توان سلول‌ها را براساس فرایندهای اصلی، مدیریتی و پشتیانی نیز طراحی نمود.

به دلیل این‌که تعدادی از سازمان‌های بهره‌برداری و نگهداری علاوه بر مدیریت تامین، انتقال و توزیع آب، مسوولیت تولید محصولات کشاورزی و تامین مکانیزاسیون مورد نیاز محدوده را نیز به عهده دارند، از ظرفیت این گروه از سلول‌ها نیز می‌توان برای طراحی ساختار سازمانی مطلوب وکاهش نیروی انسانی بهره برد.

برای بازنگری ساختار سازمانی پس از خودکارسازی سامانه، تهیه سوابق از ساختارهای سازمانی سایر شبکه‌های آبیاری و زهکشی که در آن‌ها خودکارسازی به اجرا درآمده (شبکه‌های آبیاری و زهکشی داخلی یا شبکه‌های آبیاری و زهکشی خارجی) می‌تواند راهنمای موثری در این خصوص باشد. معمولا مسوولیت تهیه و پیشنهاد ساختار سازمانی با مسوول امور اداری و مالی و با مشارکت مسوولین فرایندهای اصلی، مدیریتی و پشتیبانی است. بدیهی است که تصمیم نهایی را مدیریت ارشد نهاد بهره‌برداری و نگهداری با درنظر داشتن ظرفیت‌های مالی نهاد بهره‌برداری و نگهداری و نحوه جابه‌جایی (تعدیل) نیروی انسانی موجود، پس از مشورت با همه مسوولین واحدها خواهد گرفت.

۱۰-۳- چگونگی بازنگری شرح وظایف و شرایط احراز فنی مورد نیاز

۱۰-۳-۱- تجربیات موجود

برای درک همه‌جانبه‌تر و عینی‌تر موضوع به جمع‌بندی ارائه شده از یک شبکه آبیاری نیمه خودکار موفقی به نام چاوچیلای که توانسته در مدت زمان کوتاهی با رسیدن به خودکفایی اهداف طرح را محقق نماید، اشاره می‌شود.

عناصر کلیدی ساختار فیزیکی شبکه چاوچیلای کالیفرنیا، نمونه‌ای از شبکه انعطاف‌پذیر و موفق در زمینه جلب رضایت بهره‌برداران و افزایش ضریب بهره‌وری آب و دریافت آب‌بها به روش تحویل حجمی به شرح زیر است:

- در بالادست کانال اصلی یک مخزن تنظیمی وجود دارد. تامین آب از سدی مخزنی در بالادست است. آب رها شده و انتقال یافته از طریق رودخانه در این مخزن تنظیم و تحویل شبکه می‌شود. این مخزن عدم تطابق سفارشات آب را به خوبی برای حدود ۲ روز تنظیم می‌کند.

- این ناحیه علاوه بر مخزن تنظیمی ابتدای شبکه، مخزن‌های تنظیم مجددی دارد که به صورت برنامه‌ریزی شده و راهبردی در موقعیت‌های مناسب شبکه کانال‌ها قرار گرفته‌اند. ورود و خروج به این مخزن‌ها به صورت اتوماتیک است تا شدت جریان مناسب یا کنترل سطح آب مطلوب صورت گیرد.
- بالادست هر کانال فرعی (لترال) اندازه‌گیری جریان خوبی وجود دارد.
- هر آبگیر اندازه‌گیری جریان دارد (یا با جریان‌سنج پروانه‌ای یا دریچه‌ی اندازه‌گیر کانال).
- نوسانات سطح آب در کانال‌ها توسط به‌کارگیری دریچه‌های یک‌طرفه ITRC (که با برنامه طراحی ITRC به صورت بومی تولید شده باشند) در سطح قابل اطمینان ثابتی نگه داشته می‌شود.
- دریچه‌هایی که شدت جریان را به کانال اصلی کنترل می‌کنند، اتوماتیک هستند بنابراین شدت جریان در حد مطلوبش باقی می‌ماند حتی اگر سطح آب مخزن تامین آب نسبت به زمان متغیر باشد.
- نقاط کلیدی در ابتدا و انتهای کانال‌ها به صورت پایدار پایش می‌شود.

امکانات و اختیارات عناصر کلیدی (اپراتورها) به قرار زیراست:

- تمامی اپراتورها وانت دارند.
- تمامی آبگیرها توسط وانت‌ها قابل دسترس هستند.
- تمامی اپراتورها دستگاه موبایل یا ارتباط رادیویی دارند.
- اپراتورها هر کدام مسوول یک ناحیه هستند و تشویق می‌شوند که در ناحیه‌ی خود برای ارائه سرویس بهتر به کشاورزان تصمیماتی بگیرند.
- اپراتورها همچنین در تماس پایدار با دیگر اپراتورها و سرآبیار[1] هستند به طوری‌که می‌توانند شدت جریان را بنا به نیاز در محدوده ناحیه تغییر دهند.

اساس سفارش آب و تنوع صورت‌حساب به صورت زیر است:

- سفارشات آب باید به‌صورت رسمی هر بعدازظهر توسط کشاورزان ثبت شود. کشاورزان به اداره زنگ بزنند و تغییر شدت جریان یا تحویل آب را درخواست دهند.
- درخواست‌ها به صورت مستقیم وارد یک برنامه کامپیوتری می‌شود که بعدا برای صورت‌حساب و مطابقت دادن، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- Watermaster

- سرآبیار در اداره اصلی، تغییرات کلی و زمان تغییرات در هر کانال و ناحیه‌ی آبیاری را با در نظر گرفتن فاصله مکانی آبگیرها و توسط نرم‌افزار دردسترس (مانند Excel) محاسبه می‌کند و سپس مشخص می‌کند که آیا سفارشات مطابق درخواست‌ها قابل تحویل هستند یا خیر.
- هر صبح اپراتورهای کانال در دفتر اصلی سرآبیار را می‌بیند و برنامه زمان‌بندی را دوره می‌کنند.
- کانال‌های اصلی تحت مسوولیت سرآبیار است. بنابراین مشکلی در مورد نواحی موضعی‌ای که در پایین دست آب کافی دریافت نمی‌کنند، وجود ندارد.
- حجم تحویلی واقعی توسط اپراتورهای در محل به صورت روزانه ثبت می‌شود. اطلاعات به صورت پیوسته در برنامه دفتر مرکزی به‌روز می‌شود تا حجم‌های تحویلی نسبت به تخصیص‌های سالانه مقایسه شود و صورت‌حساب‌های ماهانه تهیه شود.

موارد زیر حداقل‌های مورد نیاز برای دریافت آب‌بها در تحویل حجمی آب است:

۱- روند دریافت آب‌بها برای محاسبه شدت جریان و حجم آب تحویلی، به روشنی توسط آب‌بران و تامین‌کنندگان آب شناخته شده است. این کار باید شامل روش واحدی برای آب‌بران باشد که شدت جریان‌ها و حجم‌های تحویلی را کنترل و ملاحظه کنند.

۲- ساختار قیمت‌گذاری مورد توافق، به روشنی قابل فهم باشد که این ساختار شامل موارد زیر است:
- زمانی‌که آب‌بها پرداخت می‌شود
- عواقب عدم پرداخت آب‌بها
- چگونه قیمت محاسبه می‌شود
- چگونه آب‌بها درخواست شود
- مکانیزم پرداخت آب‌بها (به چه کسی پرداخت شود و چگونه پرداخت شود)
- آیا آب‌بر (آب‌بران) می‌تواند از پرداخت آبی که بدون اعلام نیاز به او تحویل داده شده است، امتناع ورزد.

۳- یک قرارداد کتبی بین تامین‌کننده و آب‌بر (آب‌بران) در مورد ماهیت سرویس تحویل آب شامل موارد زیر برقرار است:
- زمان مورد نیاز برای درخواست یک شدت جریان جدید، تغییر یک شدت جریان درخواستی یا قطع یک شدت جریان درخواست شده
- سایر جزئیات در ارتباط با انعطاف‌پذیری توسط متولیان آبیاری، در ارتباط با تناوب سرویس تحویل آب، میزان خدمات سرویس تحویل و دوره زمانی سرویس تحویل آب
- دقت سازه‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری شدت جریان
- درصد تغییرات قابل قبول بین شدت جریان واقعی از شدت جریان مورد توافق در هر زمان
- چه کسی می‌تواند (مجاز است) در سازه کنترلی، تغییراتی در شدت جریان‌ها ایجادکند (آب‌بر یا تامین‌کننده آب)

- چگونه شدت جریان به طور متناوب (با چه بازه زمانی) می‌تواند تغییر کند
- چگونه شدت جریان به طور متناوب (با چه بازه زمانی) مورد کنترل/بازرسی/تایید قرار بگیرد و این کار چگونه انجام شود
- مسوولیت نگهداری از سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری
- عواقب تامین‌کننده آب اگر سازه‌ها همان‌گونه که مشخص شده نگهداری و بهره‌برداری نشود یا اگر کیفیت سرویس تحویل آب پایین‌تر از آنچه توافق شده، باشد
- فرایندی که مشخص کند کِی و چگونه محدودیت‌های حجمی تعیین شود

۴- یک نیروی قهریه مداوم و شفاف و نیروی پلیسی برای پشتیبانی از اجرای قرارداد آب، نوشته شده و اجرا می‌شود.

۵- آب‌بها بایستی منطقی باشد و باید ارزش خدمات تحویل آبی را که برای آن پرداخت صورت گیرد را داشته باشد.

۱۰-۳-۲- چگونگی بازنگری شرح وظایف

شرح وظایف و گردش کار سازمانی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری برای پروژه‌های مطالعاتی شبکه‌ها در زمان طراحی و با توجه به مبانی و ضوابط طرح انجام می‌گیرد. این شرح وظایف به صورت کلی بوده و به دلیل زمان‌بر بودن اجرای شبکه‌های آبیاری و شروع بهره‌برداری منطقه‌ای از بخش‌های تکمیل شده در مراحل مختلف نمی‌تواند چندان دقیق باشد. از این‌رو شرح وظایف نیازمند بازنگری است.

اما بازنگری شرح وظایف نیروهای انسانی و تجهیزاتی در طرح‌های در دست بهره‌برداری بستگی به وضعیت موجود شبکه از لحاظ فیزیکی، مدیریتی و اجتماعی آن دارد. همان‌طور در توضیحات ساختاری نیز اشاره شد شرح وظایف افراد سازمان در شبکه‌های خودکار، بستگی به ابعاد پروژه و اولویت‌بندی اجرایی خودکارسازی در آن دارد. از آنجایی‌که سامانه با فن‌آوری نوین سخت‌افزاری و نرم‌افزاری نیازمند افراد با تخصص‌های تعریف شده است از این‌رو نیروی انسانی، روابط و گردش کار و نحوه اقدام با شرح وظایف تعریف شده و معمول شرایط سنتی حاکم در شبکه‌ها متفاوت خواهد بود و ضرورت دارد با عنایت به تجدید ساختار مدیریتی و تجهیزات به خدمت گرفته شده از قبیل نوع سخت‌افزارها و نرم‌افزارها، استراتژی استقرار سامانه و مرحله‌بندی آن تعریف شود. شرح وظایف افراد مسوول در خودکارسازی وابسته به ساختار سازمانی و همچنین وابسته به حد خودکارسازی، نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مورد استفاده در سیستم است. بنابراین با شناخت آن‌ها و شرایط حاکم در هر شبکه باید در مورد بازنگری شرح وظایف تصمیم گرفت.

۱۰-۳-۳- چگونگی بازنگری و شرایط احراز مهارت‌های فنی موردنیاز

یک سامانه کانال خودکار، نیازمند یادگیری تعدادی مهارت‌های کامپیوتری جدید توسط اپراتورها و سازگار شدن آن‌ها با روشی از بهره‌برداری است که شامل عکس‌العمل نسبت به مشکلات بهره‌برداری است تا اجرای روال‌های ساده.

این شبیه زمانی است که هواپیما بر روی هدایت خودکار تنظیم شده است و خلبان در شرایط به‌وجود آمدن مشکل نقش ایفا می‌نماید. خلبان باید با هوشیاری وسایل را پایش کند و برای موقعیت‌های پیش‌بینی نشده و زنگ خطرها، آن‌ها را اصلاح کند.

در آغاز ممکن است اپراتورها از تغییرات بترسند و از این‌که چه اتفاقی برای شغل آن‌ها می‌افتد، مطمئن نباشند. در خیلی از موارد، تغییرات تقریبا همیشه نتایج مثبتی داشته است. نه فقط اپراتورها دانش و مهارت‌هایشان را توسعه داده‌اند بلکه شغل آن‌ها بسیار متنوع و سازنده شده است. با این وجود، مدیران نواحی آبیاری، لازم است با دقت این انتقال را مدیریت کنند و آموزش بخش جدایی‌ناپذیر این روند است.

یک چالش عمومی برای اپراتورها، یادگیری خوانش و تفسیر داده‌ها و نمودارها بر روی صفحه نمایش کامپیوتر نسبت به تجربه دیداری قدم زدن در کنار یک کانال است. دومین و احتمالا چالش مهم‌تر، تغییر از یک حالت شهودی تفکر و حل مساله بر اساس تجربه و حساب سرانگشتی، به پذیرش واقعیتی که حس‌گرها به آن‌ها می‌گویند، است. قبل از ظهور PLCها، RTUها، و تله‌متری، اطلاعات اپراتورهای کانال‌ها در مورد اثر مداخلات آن‌ها بر روی قسمت‌های دیگر کانال‌ها کم بود. در ابتدای بهره‌برداری از یک سامانه خودکار، زمانی که اپراتورها حساب‌های سرانگشتی خود را به‌کار می‌بردند و سرویس خوبی هم می‌دادند، آن‌ها اغلب شگفت‌زده می‌شوند که چگونه مداخلات آن‌ها می‌توانست بهره‌برداری خودکار از سایر قسمت‌ها را مختل کند.

خودکارسازی کانال فقط بر بهره‌برداری اثر نمی‌گذارد. وسایل جدید نظیر رادیوها یا دریچه‌های خودکار، به روال‌های متفاوت بهره‌برداری و مهارت‌های مختلف نیاز دارد و مهارت‌های جدید، رضایت شغلی بیش‌تری ایجاد کرده و ممکن است ناحیه آبیاری را به محلی جذاب برای متقاضیان شغل نماید.

آموزش باید در مراحل مختلف یک پروژه انجام شود تا اطمینان حاصل شود که کارکنان ناحیه آبیاری از تغییرات، توسعه مهارت‌های جدید برای بهره‌برداری از سامانه خودکار، انجام اقدامات پیشگیرانه و عیب‌یابی مشکلات، نمی‌ترسند.

آموزش باید موارد زیر را پوشش دهد:

- بهره‌برداری و نگهداری از حس‌گرها و کنترل دریچه‌ها
- بهره‌برداری و نگهداری از سامانه ارتباطات
- بهره‌برداری از اسکادا
- بهره‌برداری از نرم‌افزار کنترل شامل شبکه کنترل، سفارش آب و مدیریت تقاضا

یک محیط مجازی از سامانه اسکادای واقعی می‌تواند برای رسیدن به اهداف آموزش، استفاده شود.

۱۰-۳-۳-۱- دفترچه‌های راهنما

علاوه بر آموزش، باید دفترچه‌های راهنما برای هر یک از اجزای تشکیل دهنده سامانه، در ناحیه آبیاری ارائه شود. در موارد نیاز به حل مشکلی خاص، تجدید ساختار کامل سامانه موجود، توسعه سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای موجود یا ترکیب

و به‌روزآوری سامانه موجود با سامانه جدید دفترچه‌ها همانند یک مرجع برای مهندسان و کارکنان ناحیه آبیاری خواهند بود.

پیمانکار خودکارسازی باید دفترچه‌های فنی برای هر مورد از نرم‌افزار اسکادا، نرم‌افزارهای PLC و RTU، نرم‌افزارهای سفارش آب و مدیریت تقاضا، نرم‌افزار نمایندگی شبکه، سخت‌افزار PLC و RTU، سخت‌افزار ارتباطات و معماری، دریچه‌های کنترل و ابزار، تامین نماید.

۱۰-۳-۳-۲- دفترچه راهنمای توضیح سامانه

دفترچه راهنمای سامانه باید شامل توضیح جامعی از سخت‌افزار و نرم‌افزار اسکادا و حداقلی از اطلاعات زیر باشد:

- بررسی اجمالی سامانه: مدارک بررسی اجمالی سامانه باید شامل یک نمودار بلوکی از کل سامانه باشد تا معماری سامانه درک عمومی از سخت‌افزار و نرم‌افزار، توابع کنترل، روابط و داده‌های عمومی جریان در ارتباط با کل سامانه را فراهم نماید.
- توضیحات سخت‌افزار سامانه: باید حداقل، جزئیات سخت‌افزار هر زیرسیستم را ارائه نماید. توضیحات باید شامل زیربنای سرور مرکزی، زیربنای PLC و RTU و زیربنای شبکه ارتباطات باشد.
- توضیحات نرم‌افزار سامانه: شامل توضیحات طراحی نرم‌افزار عمومی کل سامانه، نمودارهای بلوک عملکرد شامل تشریح جزئیات مبنای هر زیر سیستم و یک نمودار سطح بالا که نشان‌دهنده روابط عملکردی اجزا نرم‌افزار اصلی کنترل و اجزا مدیریت تقاضا و تخصیص آب باشد.

۱۰-۳-۳-۳- دفترچه‌های سخت‌افزار

مدارک سخت‌افزار باید شامل جزئیات کافی اطلاعات برای نصب، اجرا، توسعه و تجهیزات جدید همراه با فراهم کردن اطلاعات برای نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی سامانه خودکار باشد. مدارک سخت‌افزار باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

- تئوری بهره‌برداری
- دستورالعمل نصب
- روش نگهداری فقط شامل حل مشکل
- وسایل سنجش عملکرد
- نمودارهای شماتیک و روابط منطقی
- نمودارهای سیم‌کشی و کابل‌کشی

۱۰-۳-۳-۴- دفترچه‌های نرم‌افزار

دفترچه‌های نرم‌افزار باید شامل جزئیات کافی باشد تا اطلاعات نصب، بهره‌برداری، توسعه، تغییر، حل مشکل و اضافه نمودن برنامه‌ها و ماژول‌های جدید همچنین اطلاعات برای نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی نرم‌افزار سامانه اسکادا را، فراهم کند. مدارک نرم‌افزار باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

- مدارک طراحی زیرسیستم یک نرم‌افزار: خلاصه توضیحات هر زیر سیستمی که در مدارک توضیحی سامانه وجود دارد را گسترش می‌دهد و شامل روابط بین هر زیرسیستم و نرم‌افزارهای سایر زیرسیستم‌ها است. تمام توابع اجرا شده در هر نرم‌افزار باید شرح داده شود و به توابع اجرا شده در برنامه‌ها مرتبط گردند. مدارک طراحی زیرسیستم نرم‌افزار باید شامل اطلاعات زیر باشد:
  - نرم‌افزار PLC و RTU
  - نرم‌افزار ارتباطات
  - نرم‌افزار اسکادا
  - نرم‌افزار مدیریت تقاضا و سفارش آب
  - نرم‌افزار تجسم شبکه
- مدارک طراحی جزئیات نرم‌افزار برای هر نرم‌افزار سامانه: توضیحات باید جزئیات کافی برای فعال کردن کدها و تست هر برنامه را داشته باشد و شامل:
  - مطالعه دقیق توابع و جزئیات توسعه یافته برای تکمیل آن‌ها
  - تشریح جزئیات ساختار پایگاه داده و قالب کلیه داده‌های استفاده شده در پایگاه داده. یک توضیح برای هر پایگاه داده استفاده شده در سامانه باید فراهم شده باشد و مدارک باید شامل همه توضیحات برای کلیه ساختارهای داده‌ها که به داده‌های ورودی برنامه‌ها ارجاع داده شده است یا داده‌های خروجی از سامانه از پایگاه داده‌های به شکل لحظه‌ای
  - توصیه ارتباطات ایجاد شده توسط نرم‌افزار

۱۰-۳-۳-۵- دفترچه بهره‌بردار

این مدرک باید شامل توضیح جامعی از کاربرد کلیه نرم‌افزارهای استفاده شده باشد. این مدرک باید به عنوان یک راهنما برای بهره‌بردار تهیه و شامل دستورالعمل عملیاتی بهره‌برداری برای کنترل دریچه‌ها، اسکادا، تجسم شبکه و نرم‌افزار مدیریت تقاضا و سفارش آب باشد. همچنین باید شامل کلیه مراحل لازم برای یک بهره‌بردار که بتواند به طور مستقل از سامانه بهره‌برداری نماید، باشد. تصاویر وسایل باید در جایی که می‌تواند بهره‌بردار را راهنمایی کند، گنجانده شود.

۱۰-۳-۳-۶- دفترچه عیب‌یابی و رفع اشکال

این مدرک، راهکار و توضیح رفع مشکل را برای عیب‌هایی که در عملکرد هر یک از تجهیزات می‌تواند ایجاد گردد، ارائه می‌نماید.

۱۰-۴- چگونگی بازنگری سازمان نگهداری و ملزومات مورد نیاز در سامانه

در شرایط تحول اساسی مدیریت سامانه آبیاری و زهکشی از روش سنتی به روش مکانیزه و خودکار، تغییرات در همه عرصه‌ها باید متناسب با ابعاد تحول باشد. یکی از موارد اساسی تغییرات در مشخصات فنی، شرایط محیطی و ویژگی‌های ساختاری مرکز کنترل، امکانات استقرار، ابزار و ادوات در حال بهره‌برداری و نیازمند نگهداری در انبار، وسایط نقلیه، وسایل ارتباطی و گردش کار است. مهم‌ترین مواردی که در بازنگری سازمان نگهداری ضرورت دارد مورد توجه قرار گیرد، به قرار زیر است.

۱۰-۴-۱- اتاق کنترل

برخلاف سامانه سنتی موجود، در شرایط اتوماسیون لازم است فضای کاملا مستقل و مناسبی به اتاق کنترل اختصاص یابد. این اتاق به عنوان مرکز و قلب عملیاتی سامانه کنترل مکانیزه شبکه آبیاری به شمار می‌رود که مهم‌ترین نقش را جهت ارتقای بازده کاری کارکنان در مدیریت بهره‌برداری ایفا می‌کند که نیازمند حفاظت ویژه است. از آنجایی که اتاق کنترل محل کار کاربرها با دستگاه‌های مداربسته یا سرورهای کامپیوتری است، می‌باید از نظر فضای زیستی، طراحی مناسبی داشته باشد. چرا که کاربرها زمان زیادی را در اتاق کنترل و دیده‌بانی می‌گذرانند و از این‌رو باید آرامش آن‌ها در نظر گرفته شود، بدین ترتیب طراحی هر چه بهتر و صحیح‌تر اتاق کنترل و دیده‌بانی ضروری می‌نماید. نوع طراحی اتاق‌های کنترل و نحوه چیدمان نمایش‌گرها بر عملکرد کاربرها در دستیابی موفق به اطلاعات به موقع و بدون خطا تاثیر خواهد داشت.

تاسیسات آب‌رسانی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی دارای پراکندگی بسیاری به نسبت سایر فرایندهای صنعتی در توزیع بوده و اتاق کنترل باید متناسب با گستردگی تاسیسات و حساسیت آن‌ها به صورت مختلف محلی و مرکزی پیاده‌سازی و اجرا شوند.

اتاق کنترل باید طوری طراحی شود که احتمال ایجاد خطر برای ساکنین اتاق، در حد قابل قبول بوده و جهت اهداف نگهداری و کنترل حتی در شرایط بحران مناسب باشد، زیرا در شرایط اضطراری و نامناسب و وقایعی همچون انفجارات، واکنش‌های گرمازا، آزاد شدن گازهای سمی و آتش‌سوزی‌ها می‌توانند روی اتاق کنترل اثرگذار باشند. برای جلوگیری از تاثیرات این عوامل بر روی اتاق کنترل، باید تمهیدات لازم در هنگام طراحی اتاق کنترل مطابق استانداردها در نظرگرفته شود.

اتاق کنترل باید به اندازه کافی بزرگ باشد. به نحوی که بتوان اسباب و وسایل و تجهیزات را بدون مشکل در آن جانمایی کرده و فضای کافی برای فعالیت افراد وجود داشته باشد. اگر اتاق کنترل خیلی کوچک یا شکل ناموزونی از نظر

ظاهری داشته یا دارای ستون‌ها یا سقف شیب‌دار باشد، طراحی آن با محدودیت روبرو خواهد شد. همچنین می‌تواند بر نحوه قرارگیری مانیتورها تاثیر گذارد که این امر علاوه بر این که توانایی اپراتور را در دنبال کردن وقایع پیوسته محدوده می‌کند، وی را در معرض خطرات ایمنی و آسیب به سلامت قرار می‌دهد.

به‌علاوه باید فضای کافی برای نگهداری از تجهیزاتی که باید در مواقع ضروری بدون ایجاد وقفه در روند طبیعی کار اتاق کنترل مورد استفاده قرار گیرند، وجود داشته باشد. اگر احتمال می‌رود که سامانه پایش در آینده گسترش یابد، باید فضای کافی برای ایستگاه‌های کاری اضافی و تجهیزات با رعایت شرایط مناسب زیستی وجود داشته باشد.

ملاحظات فاکتورهای انسانی استاندارد باید در طراحی و عملکرد اتاق کنترل در شرایط نرمال و غیرنرمال یکسان، برای کاهش تکرار خطاهای انسانی در نظر گرفته شود. نکته با اهمیت این است که اتاق کنترل و کاربرهای آن به عنوان یک سیستم واحد بوده و جدا از یکدیگر نیستند. برای مثال اتاق کنترلی که برای کارکرد ۳ کاربر طراحی شده است، اگر به وسیله ۴ کاربر راهبری شود، می‌تواند دچار مشکل گردد و برعکس.

۱۰-۴-۲- توسعه‌پذیری و مدیریت‌پذیری

در شرایطی که پروژه خودکارسازی در شرایط مطالعاتی یا بهره‌برداری از شبکه باشد، ضرورت دارد سیاست‌های درازمدت مدیریت مشخص شود و با توجه به اولویت‌بندی اجرا و زمان‌بندی کلان آن نسبت به طراحی زیرساخت‌ها اقدام گردد. در مورد اتاق کنترل با توجه به این‌که امکان افزایش کاربرها و سرویس دهنده‌های شبکه طبق برنامه زمان‌بندی وجود دارد، از این‌رو محیط طراحی شده باید از قابلیت توسعه‌پذیری طبق برنامه مدون برخوردار باشد. شبکه‌های آبیاری در واحدهای تعریف شده مزرعه، واحد زراعی، واحد عمرانی و منطقه‌ای آرایش یافته‌اند. معمولا اجرای شبکه مرحله‌ای است و تحول خودکارسازی در شبکه‌های در دست بهره‌برداری، مرحله‌ای خواهد بود. قطعا تمامی واحدهای زراعی پوشش زیر آبگیر درجه ۲، مستقل از یکدیگر هستند. اما خطوط اصلی در شبکه اصلی باید قابلیت توسعه‌پذیری برای تمامی واحدهای زراعی که در آینده خودکار شده و به سامانه می‌پیوندد را، داشته باشد.

در طراحی و پیاده‌سازی یک زیرساخت مناسب به صورت سازمان‌یافته، مدیریت‌پذیری به عنوان یک پارامتر کلیدی مطرح می‌گردد. هر کدام از قطعات و اجزای شبکه با یک برچسب منحصر به فرد شناسایی و مشخص می‌شوند. از این‌رو مدیریت نصب کابل و تجهیزات از طریق این روش‌ها بسیار دقیق و منظم خواهد بود.

۱۰-۴-۳- تامین انرژی

انرژی در سامانه خودکار شرط حیاتی سیستم است و به هیچ عنوان نباید سامانه بدون انرژی محرکه و کار با نرم‌افزارها به صورت مطمئن و مستمر باشد. برای اتاق کنترل، ایستگاه‌های پمپاژ و سامانه کنترل در کانال‌های اصلی، از برق شبکه سراسری استفاده می‌شود و در صورت امکان و عملکرد با اطمینان بالاتر، ترکیب سلول خورشیدی نیز با شبکه برق قابل استفاده است و در شرایط خودکارسازی کامل در یک شبکه گسترده و وسیع شاید لازم باشد از ژنراتورهای

مناسب به عنوان ضریب اطمینان بهره‌گیری شود. شرایط ترکیبی به این خاطر است که مدیریت از طریق اتاق کنترل و تامین آب وکانال‌های اصلی حساسیت بالاتری دارند و اطمینان از عملکرد دریچه‌های اصلی، ضمانت‌های عملکرد بهینه شبکه را افزایش می‌دهد. در مورد تامین انرژی و مشخصات آن در فصل ۳ به تفصیل توضیح داده شده است. در مورد اتاق کنترل میزان روشنایی باید برای تمامی وظایف موجود (در اتاق) کافی و مناسب باشد. روشنایی باید به‌گونه‌ای باشد که هیچ‌گونه بازتابی بر روی تجهیزات نمایش‌گر به وجود نیاورد. میزان روشنایی مورد نیاز در اتاق کنترل بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ لوکس پیشنهاد شده است.

۱۰-۴-۴- تمهیدات لازم برای تحقق امنیت فیزیکی

محافظت عمومی؛ علاوه بر آنچه در شبکه‌ها معمول است، تمهیدات ویژه خودکارسازی نیز مورد نظر قرار می‌گیرد. در شبکه‌های خودکار، اماکن خاص مجهز به ابزار و ادوات دقیق و برقی و الکترونیکی هستند از جمله اتاق کنترل و ایستگاه‌های کنترلی. به دلیل آن‌که ساختمان کنترل دارای تعداد اتاق با وظایف کارکردی ویژه و حساسیت امنیتی خاص است، لازم است از وجود تجهیزات ایمنی در آن‌ها اطمینان حاصل گردد (همان‌گونه که این‌گونه تجهیزات در فضای آزاد عملیاتی نیز لازم هستند).

تجهیزات خنک‌کننده، ژنراتورها یا تجهیزات مخابراتی و کنترلی خارج از فضای مسقف و گسترده که در سطح شبکه واقع شده‌اند، امنیت کامل این تجهیزات باید تامین شود. همچنین، استفاده‌کننده از مرکز کنترل باید از دسترسی کامل ۲۴ ساعته در هفت روز هفته از این امکانات برخوردار باشد.

موقعیت مکانی ساختمان مرکزی کنترل باید به دقت انتخاب شود. مثلا از سیلاب با دوره برگشت سیلاب ۱۰۰ ساله در امان باشد و پایداری آن در مقابل لغزش‌ها تضمین شده و بری از خطر لغزش و تخریب باشد. از این‌رو ساختمان‌های قدیمی موجود در محوطه که استانداردهای لازم برای چنین مرکزی را ندارند نباید به این امر تخصیص یابد.

از حصارهای امنیتی به همراه نقاط دسترسی امن و تحت کنترل باید استفاده نمود. محیط و پیرامون سایت باید توسط سامانه‌های شناسایی و توسط سامانه‌های تلویزیونی مداربسته‌ی مادون قرمز یا قابل رؤیت (CCTV) پایش شوند.

نگهداری و مستندات؛ مستندسازی در شرایط سامانه خودکار اهمیت فوق‌العاده بیش‌تری نسبت به شرایط موجود دارد و نادیده گرفتن آن گاهی باعث خسارات جبران ناپذیری می‌شود. از جمله این موارد مستندات سخت‌افزارها و نرم‌افزارها در شبکه است.. لازم است مستندات دقیق و کافی از طرح اجرا شده قابل دسترسی باشد تا در صورت بروز مشکلات احتمالی در سیستم، امکان بازیابی و راه‌اندازی مجدد سیستم وجود داشته باشد. علاوه بر این در طول دوره عملکرد یک سیستم کنترلی، ممکن است تغییراتی جزیی در برخی قسمت‌ها ایجاد شود. لازم است تغییرات به خوبی مستند شده و پشتیبان‌گیری کامل از سیستم قبل و بعد از تغییرات انجام شود و این مستندات و نسخه‌های پشتیبان به صورتی منظم نگهداری شوند.

ایجاد محدودیت؛ دسترسی به تجهیزات را باید تا حد ممکن محدود نمود و تنها افراد خاص بر اساس نیاز، اجازه دسترسی داشته باشند. محدودیت دسترسی شامل دو قسمت محدودیت دسترسی فیزیکی و محدودیت دسترسی از راه دور است. در این مورد در فصل پدافند غیر عامل شرایط اقدامات لازم به تفصیل ارائه شده است.

امنیت در برابر دسترسی غیرمجاز؛ منظور از امن‌سازی فیزیکی در این قسمت، کنترل دسترسی کارکنان به تجهیزات و جلوگیری از دسترسی غیر مجاز است. برای امن‌سازی در این قسمت ابتدا باید سیاستی جهت تعریف حق دسترسی ایجاد کرد. در این سیاست تعیین می‌شود که هر شخصی چه موقعی حق دسترسی به کدام تجهیزات را دارد و چه شخصی، اشخاصی یا واحدی مسوول پیاده‌سازی این سیاست‌ها هستند. در سیاست‌های تدوین شده باید روش‌های کنترل دستی، احراز هویت و همچنین ثبت گزارشات نیز دیده شود. در ادامه روش‌های پیشنهادی برای اتاق کنترل و ایستگاه‌های مجهز به ابزار دقیق ارائه می‌شوند:

- استفاده از دوربین‌های مداربسته: این دوربین‌ها برای ثبت عملکرد افراد، زمان ورود و خروج آن‌ها به محوطه‌های حفاظت شده و رفتار آن‌ها در محیط مناسب هستند.
- استفاده از حس‌گرهای اثر انگشت: این روش برای احراز موقعیت اتوماتیک و امن افراد مناسب است.
- استفاده از دفاتر ثبت عملکرد در اتاق کنترل: حداقل پیشنهاد می‌شود در ورودی اتاق‌های کنترل (محل قرار گرفتن کابین‌ها) دفاتری برای ثبت ورود و خروج افراد شامل؛ نام، سمت در سازمان، زمان ورود، زمان خروج، شروع فعالیت و امضا، وجود داشته باشد. روش‌های امن‌تر شامل استفاده از شناسه‌های امنیتی دیجیتال در کنار رمز عبور با قابلیت ثبت رخداد برای ورود و خروج به اتاق‌های حساس است.
- استفاده از دفاتر ثبت عملکرد جهت مستندسازی و اطمینان از سرویس دستگاه‌ها، صرفا در اختیار مسوول مربوطه خواهد بود.

روش‌های شبیه به آنچه بیان شد جهت کنترل دسترسی افراد به منابع فراوان هستند و در هر سازمانی با توجه به زیرساخت، بودجه و سیاست‌ها از برخی از آن‌ها استفاده می‌شود. آنچه مهم است این است که سیاستی صحیح و روشن جهت انجام کنترل دسترسی تدوین شده باشد.

پیوست ۱

تجارب و سوابق سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری

پ.۱-۱- تجارب و سوابق در شبکه‌های آبیاری جهان

آشنایی با تجارب بین‌المللی و ملی خودکارسازی، راهنمای خوبی جهت درک بهتر مراحل کار و مسایل و مشکلات عملی است. در مسیر انطباق با فناوری‌های خودکار در سرتاسر جهان، بخش آبیاری در بهره‌گیری از این فناوری‌ها نسبت به صنایع دیگر بسیار کند حرکت کرده است. استرالیا در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری از پیشروترین کشورها است که حرکت در این مسیر در واکنش به یک خشک‌سالی گسترده به نام «خشک‌سالی هزاره[1]» انجام گرفت، که طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ در جنوب شرقی منطقه «قطب غذا[2]» استرالیا خسارت شدیدی را وارد آورد. کشورهایی مختلفی مانند آمریکا، چین، هند، نیوزیلند، کشورهای اروپایی، کانادا، مکزیک و شیلی نیز درحال مدرن‌سازی سامانه‌های تحویل آب آبیاری خود هستند که در ادامه به نمونه‌هایی از آن‌ها پرداخته شده‌است. کشورهای کانادا و هلند نیز به خودکارسازی به‌خصوص در شبکه‌های زهکشی، اقدام نموده‌اند.

پ.۱-۱-۱- تاریخچه تحول دانش خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری

برای خودکارسازی کارآمد کانال‌های آبیاری، مرور تحول دانش خودکارسازی کانال‌های آبیاری تا به امروز، هم لازم و هم مفید است. نگاهی به این تحولات در ایالات متحده آمریکا، تصویر روشنی را از رویکردهای مدیران مسوول در امر آبیاری نشان می‌دهد. در سال ۱۹۶۸ ASCE[3] کتابی با عنوان «خودکارسازی سامانه‌های آبیاری و زهکشی» منتشر کرد. در طی سال‌های ۱۹۶۴ تا ۱۹۷۶ مقالات مختلفی از بزرگ‌ترین پروژه آب و نیرو، برای انتقال آب از کالیفرنیای شمالی برای شرب و آبیاری در کالیفرنیای جنوبی کم-آب، با نام «پروژه آب ایالتی[4]» در همین زمینه منتشر شد. در سال ۱۹۷۳ کتاب «خودکارسازی سامانه‌های آبی– گزارش آخرین پیشرفت‌ها[5]» (USBR 1973) منتشر شد که در آن مفاهیمی مهم مانند «بهره‌برداری بهینه تنها از طریق کنترل درست کل سامانه امکان‌پذیر است» معرفی شد که تا به امروز مورد تایید بوده و به‌کار می‌رود. در کنفرانس سال ۱۹۸۷، ASCE با دعوت از مهندسان فرانسوی، موضوع استفاده از تنظیم‌کننده‌های دینامیکی در سامانه کانال دُ پراونس[6]، تجهیزات خودکار NEYRTEC و روش BIVAL برای کنترل پایین‌دست را مورد بررسی قراردادند که جهشی در فنون خودکارسازی بود. همچنین امکان کنترل دفعات، آبدهی و

1- Millennium Drought
2- Food Bowl
3- American Society of Civil Engineers
4- State Water Project
5- Water System Automation-a State of the Art Report
6- Canal de Provence

مدت‌زمان توسط آب‌بران به عنوان مفهوم انعطاف‌پذیری، توسط دکتر جان مریام[1] مطرح شد. با این ایده که تنها از طریق افزایش انعطاف‌پذیری، آب‌بران می‌توانند بهره‌وری را افزایش دهند و برگشت اقتصادی ایجاد کنند. بانک جهانی نیز در سال ۱۹۸۸، مسوولین آب در نقاط مختلف دنیا را با مفاهیم مدرن‌سازی و بهبود عملکرد کانال‌ها آشنا کرد. در ادامه USBR در سال ۱۹۹۱ کتاب دستورالعمل «خودکارسازی سامانه‌های کانال» را در سه جلد منتشر کرد. جلد اول، برای مصرف‌کنندگان و مجریان آب، جلد دوم برای برنامه‌ریزی و طراحی مهندسی و جلد سوم برای محققین و توسعه‌دهندگان. با علم به این‌که پیشرفت خودکارسازی کانال‌ها، نیاز به مدل‌سازی جریان‌های غیرماندگار در کانال دارد، ASCE در سال ۱۹۹۳ روش‌های استاندارد را برای مدل‌سازی کانال‌ها ارائه کرد و در ادامه کمیته EWRI[2] یک مقاله بررسی جامع را برای الگوریتم‌های کنترل کانال ارائه کرد (Malaterre et. al., 1998). درحالی‌که موارد ارائه شده، تمامی موارد مربوط به تحقیق و توسعه را در این زمینه بیان نمی‌کند، اما خلاصه‌ای از تلاش‌های انجام شده برای ارتقا و بهبود تحویل آب و تحولات فناورانه را نشان می‌دهد.

پ.۱-۱-۲- طرح گلبرن- موری استرالیا

ناحیه آبیاری[3] گلبرن موری (GMID)[4] از شش ناحیه اصلی آبیاری تشکیل‌شده است که در ویکتوریای شمالی قرار دارند. این ناحیه آبیاری، بزرگ‌ترین ناحیه آبیاری در استرالیا است. با توجه به قدمت و وضعیت امکانات آبیاری تا پیش از مدرن‌سازی، برآورد شده است که تا ۹۰۰ میلیارد لیتر آب در سال در ناحیه آبیاری گلبرن موری از طریق نشت، تبخیر و سایر مشکلات بهره‌برداری تلف شده است. در سال ۲۰۰۲ به منظور بررسی صرفه اقتصادی مدرن‌سازی آبیاری، یک برنامه تحقیقاتی و مطالعات آزمایشی آغاز شد که در نهایت منجر به شکل‌گیری پروژه شپارتون و گلبرن مرکزی ۱-۴ و پروژه نوسازی آبیاری ویکتوریا شمالی (NVIRP[5]) شد.

در سال ۲۰۰۴، ایالت ویکتوریا یک برنامه بلندمدت را برای مدیریت منابع آب، با عنوان «آب برای ما آینده برای ما[6]» پایه‌ریزی کرد. برای تحقق نتایجی پایدار و هدفمند در این طرح، گام کلیدی، مدرن‌سازی مناطق آبیاری در شمال و جنوب ویکتوریا بود. مدرن‌سازی شبکه آبیاری در این ناحیه شامل سه اقدام اصلی به شرح زیر است:

1- Dr. John Merriam
2- Environmental & Water Resources Institute
۳- ناحیه آبیاری، یک محدوده مشخص جغرافیایی است که توسط یک موسسه دولتی یا خصوصی (زیرمجموعه دولت) اداره می‌شود که ذخیره‌سازی، انتقال و توزیع آب آبیاری و خدمات زهکشی اراضی کشاورزی را انجام می‌دهد و تحت قوانین ایالتی یا کشوری اجازه فروش یا دریافت مالیات را برای توزیع آب آبیاری در همان ناحیه آبیاری دارد.
4- Goulburn Murray Irrigation District
5- Northern Victoria Irrigation Renewal Project
6- Our Water Our Future

۱- **خودکارسازی کانال:** شامل جایگزینی ساختار کنترل دستی در کانال‌هایی با دریچه‌های به‌روز شده است که با دقت، جریان‌ها را اندازه‌گیری می‌کند، داده‌های اندازه‌گیری لحظه‌ای را فراهم کرده و در اغلب موارد خودکار عمل می‌کنند.

۲- **کانال‌ها و خطوط تحت‌فشار:** از آنجا که بخش عمده‌ای از شبکه آبیاری برای انتقال آب به کانال‌های خاکی روباز متکی بوده است که منجر به هدررفت آب تا ۳۰ درصد از حجم کل می‌شد، کاهش هرزرفت آب در برنامه قرار گرفت و با پوشش‌دهی و بازسازی کانال‌ها و در بخش‌هایی با استفاده از خطوط لوله، تلفات آب به حداقل رسانده شد.

۳- **ارتقای دقت اندازه‌گیری:** چرخ دیتریج[1] دقت کمی دارند و با استانداردهای جدید اندازه‌گیری ارائه شده توسط دولت استرالیا که حداکثر خطای ۵ درصد را مجاز دانسته، مطابقت نداشتند، برای همین با تجهیزات اندازه‌گیری دقیق جایگزین شدند.

پ.۱-۱-۲-۱- مراحل فعالیت‌های انجام‌گرفته

در ادامه شرح مختصری از طرح‌های مدرن‌سازی را در ویکتوریای استرالیا ارائه شده که شکل (پ.۱-۱) ترتیب زمانی آن‌ها را نشان می‌دهد.

- طرح آزمایشی سامانه کانال خاکی گلبرن مرکزی ۲ (CG2)

• سازمان G-MW فعالیت‌های مربوط به خودکارسازی کانال‌ها را در سال ۲۰۰۲ آغاز کرد. در این پروژه آزمایشی، ۲۷ تنظیم‌کننده و ۱۴۲ اندازه‌گیر روی کانال شماره ۲ گلبرن مرکزی نصب شد که شامل پایش از راه دور این سازه‌ها بود.

- طرح کانال‌های خاکی گلبرن مرکزی ۱، ۳ و ۴ (CG134) و کانال استوارت موری (SMC)

• از اواسط سال ۲۰۰۴ تا اواسط سال ۲۰۰۵، ۲۵۵ دریچه خودکار در سرتاسر کانال‌های خاکی گلبرن مرکزی ۱، ۳ و ۴، و ۱۶ دریچه دیگر نیز در کانال استوارت موری نصب شد.

- طرح اندازه‌گیری راهبردی (SMP)

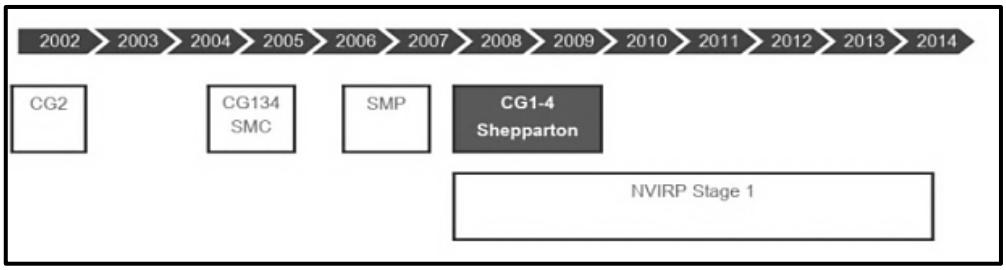
1- Dethridge wheel

دیتریج یک چرخ متشکل از یک استوانه با هشت پره v شکل روی آن است که حول یک محور در عرض کانال قرار می‌گیرد. چرخ دیتریج در اثر جریان آب به گردش درآمده و جریان آب انتقال داده شده به کانال مزرعه را اندازه می‌گیرد و روشی برای دریافت آب‌بها از کشاورزان فراهم می‌کند (شکل پ.۱-۴). این وسیله در سال ۱۹۱۰ توسط فردی استرالیایی با همین نام اختراع شد.

- این پروژه به طور هدفمند روی آبگیرهای مهم خودکار، تنظیم‌کننده‌های داخلی و هرزرفت در انتهای کانال تمرکز داشت و در طول سال ۲۰۰۶ -۲۰۰۷، تعداد ۳۷۴ دریچه در ۳۰۵ نقطه شبکه نصب شد.

طرح گلبرن مرکزی ۱-۴، طرح شپارتون و طرح NVIRP در اوایل سال ۲۰۰۸ (بعد از طرح‌های آزمایشی مذکور) شروع شدند. این دو طرح به طور مجزا تعریف شده و شامل فعالیت‌های گسترده‌تر مدرن‌سازی بر اساس طرح‌های آزمایشی پیشین می‌شوند. طرح گلبرن مرکزی ۱-۴ به‌صورت خلاصه شامل فعالیت‌های زیر است:

- خودکارسازی کانال‌های خاکی ۱ تا ۴
- ترمیم و جلوگیری از نفوذ و نشت در موقعیت‌های از قبل مشخص‌شده
- تعویض تجهیزات اندازه‌گیری یا اصلاح تمامی آبگیرهای مزارع



شکل پ.۱-۱- جدول زمانی طرح‌های مدرن‌سازی آبیاری در گلبرن- موری

پ.۱-۱-۲-۲- ناحیه آبیاری شپارتون

ناحیه آبیاری شپارتون یکی از شش منطقه آبیاری ثقلی است که توسط ناحیه آبی گلبرن- موری اداره می‌شود. این ناحیه با بیش از ۷۰۰ کیلومتر کانال و ۴۰ کیلومتر خط لوله (تحت‌فشار)، به ۲۵۰۰ بهره‌بردار، خدمات آبی ارائه می‌کند. مشابه با بسیاری از نواحی آبیاری دیگر، تلفات انتقال آب در شپارتون نیز حدود ۳۰ درصد بود. علاوه بر این، خدمات آبیاری فراهم شده بسیار ضعیف بوده که منجر به عدم بهره‌وری مصرف آب درون مزارع می‌شد. راه‌حل‌های به‌کار رفته شامل موارد زیر می‌شود:

۱- تنظیم جریان آب در کانال با کنترل خودکار شبکه
۲- ثبت تقاضای آب، برنامه‌ریزی تحویل، نظارت و آب مصرفی توسط نرم‌افزارهای مدیریت آب
۳- تعویض تنظیم‌کننده‌های عرضی دستی با سازه‌های تنظیمی نوین (فلوم-دریچه‌های[1]) هوشمند خودکار (شکل پ.۱-۳).
۴- تعویض آبگیرهای دستی مزارع با فلوم-دریچه‌ها و دریچه‌های کشویی خودکار

1- FlumeGates® (Rubicon)

به طور خلاصه طرح مدرن‌سازی شپارتون شامل این عملیات می‌شود:

- خودکارسازی حدود ۹۶۰ تنظیم‌کننده کانال خاکی
- تعویض یا اصلاح حدود ۱۸۰۰ نقطه خدمات آب‌رسانی
- اصلاح حدود ۳۹ کیلومتر کانال خاکی
- تعویض دو کانال خاکی (آب‌راه) به طول ۲۷ کیلومتر با خط لوله ثقلی

پ.۱-۱-۲-۳- طرح نوسازی آبیاری ویکتوریای شمالی

پروژه نوسازی آبیاری ویکتوریا شمالی (NVIRP) در ادامه طرح‌های اولیه شرح داده شده در بالا، شکل‌گرفت و شامل دو مرحله است. مرحله اول طرح، روی فعالیت‌های اولیه مدرن‌سازی در پنج منطقه از شش منطقه زراعی GMID صورت می‌گرفت، چرا که ناحیه شپارتون و گلبرن مرکزی پیش‌تر کار شده بودند. مرحله اول تقریبا ۸۵ درصد از ناحیه GMID و حدود ۶۰۰۰ کیلومتر از آبراهه‌های طبیعی و کانال‌های خاکی را در بر می‌گیرد. طبق برنامه، فعالیت‌های مرحله دوم پس از اتمام کارهای مرحله اول و تصویب توجیه‌پذیری و تامین بودجه مربوطه آغاز شد.

به طور خلاصه این طرح شامل:

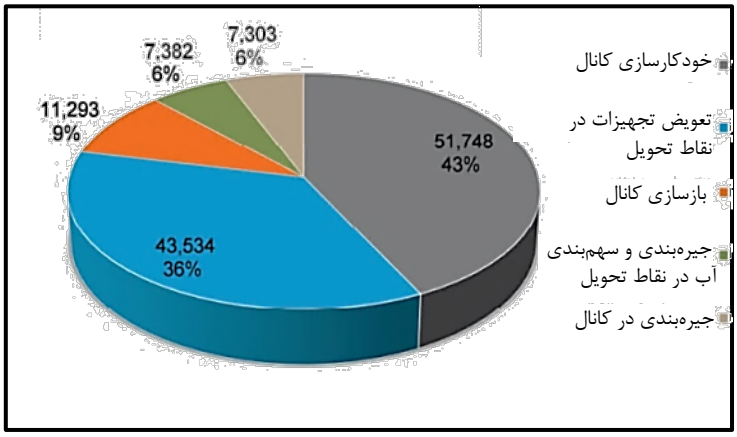
- تحویل میانگین ۲۲۵ میلیون مترمکعب در سال تا ژوئیه ۲۰۱۸ به طور عادلانه بین کشاورزان، محیط‌زیست و دیگر ذی‌نفعان این پروژه
- ایجاد یک سامانه کارآمد و پایدار توزیع آب
- اتصال تقریبی ۳۰ درصد از آب‌برانی که در آن‌زمان از کانال‌های کوچک‌تر استفاده می‌کرده‌اند به کانال اصلی از طریق یک اتصال مدرن
- ارتقای تجهیزات اندازه‌گیری (شامل تجهیزات اندازه‌گیری لحظه‌ای) تا ۵۰ درصد از نقاط تحویل آب به آب‌بران، تا ژوئیه ۲۰۱۸

مرحله دوم شامل موارد زیر می‌شود:

- اندازه‌گیری: نصب و راه‌اندازی ۵۹۰۰ مورد تجهیزات اندازه‌گیری مطابق با استاندارد آبیاری که بسیاری از آن‌ها به‌صورت خودکار بوده و از راه دور پایش می‌شوند.
- ارتباطات: توسعه امکانات ارتباطی جدید برای ۳۴۰۰ بهره‌بردار که درحال حاضر توسط کانال‌های کوچک‌تر (تقریبا ۲۵۹۵ کیلومتر) تامین آب می‌شوند و در مرحله اول دیده نشده‌اند. این عمل مشوقی را برای بازسازی یا فراهم‌کردن زیرساخت‌های جدید درون مزارع برای کشاورزانی که متمایل به ترک کشت در مزارعشان هستند، فراهم می‌کند.
- مدرن‌سازی پایدار: تکمیل مدرن‌سازی مناطق باقی‌مانده از طرح جامع

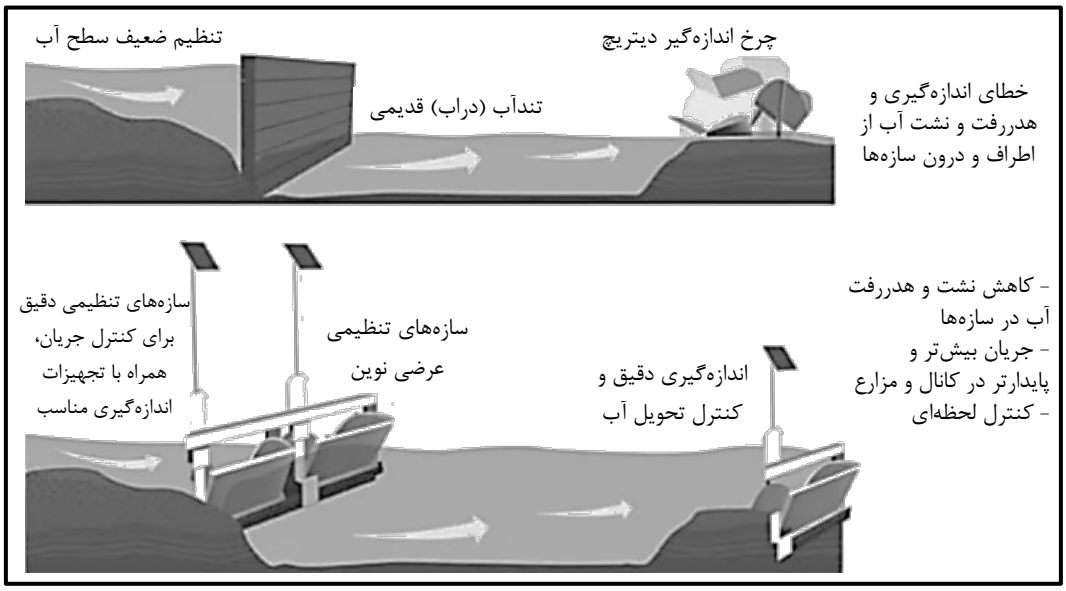
- پوشش کانال‌های خاکی: پوشش ۷۰ کیلومتر از بازه‌های درون کانال با بیش‌ترین هرزرفت آب که خارج از مناطق تحت پوشش مرحله اول قرار داشته‌اند.
- طرح بهبود خدمات: اجرای طرح‌هایی برای بهبود استاندارد خدمت‌رسانی در ناحیه GMID به ویژه در گلوگاه کلیدی در منطقه آبیاری Torrumbarry.
- طرح‌های بهبود محیط‌زیست: اجرای پروژه‌هایی برای افزایش امکانات کلیدی در حفظ محیط‌زیست در GMID از جمله ساخت مسیر عبور آبزیان در رودخانه Box Creek.

در این طرح‌ها، سالانه ارزیابی‌هایی از عملکرد این تحولات انجام می‌شود که نتیجه یک ارزیابی حفاظت از آب در طرح NVIRP در شکل (پ.۱-۲)، مشاهده می‌شود. طبق این نتایج بیش‌ترین تاثیر درحفظ آب را در درجه اول، خودکارسازی و در درجه دوم، بهبود تجهیزات در نقاط تحویل خدمات آب، به ترتیب ۴۳٪ و ۳۶٪ دارند. نمونه‌ای از پوشش کانال و استفاده از تنظیم‌کننده‌های عرضی نوین در شکل (پ.۱-۳) و نمایی از کلیات نحوه مدرن‌سازی در طرح‌های GMID مذکور، در شکل (پ.۱-۴) نشان‌داده شده‌است. این شکل نشان می‌دهد که با استفاده از سازه‌های ارتقا یافته و تجهیزات اندازه‌گیری دقیق، نشت و هدررفت آب کاهش یافته و با کنترل لحظه‌ای، امکان استفاده از جریان بیش‌تر و پایدارتر در کانال‌های انتقال آب فراهم شده است.



شکل پ.۱-۲- اثر عوامل مختلف در حفظ آب در ارزیابی عملکرد فاز ۴ سال ۲۰۱۲/۲۰۱۱ NVIRP

شکل پ.۱-۳- نمونه‌ای از پوشش‌دهی کانال خاکی و نصب سازه‌های تنظیمی عرضی (فلوم-دریچه) در طرح NVIRP، استرالیا



شکل پ.۱-۴- نمایی از کلیت تغییرات در طرح نوسازی آبیاری ویکتوریای شمالی

پ.۱-۱-۳- مدرن‌سازی ناحیه آبیاری رودخانه واکر، آمریکا

ناحیه آبیاری رودخانه واکر[1] (WRID) در نوادا در کشور آمریکا واقع‌شده و حدود ۹۵ هزار هکتار، که ۳۲ هزار هکتار از آن آبیاری می‌شود را دربر گرفته است. این ناحیه از یک سامانه کانال‌ها در اطراف سه شاخه رودخانه واکر بهره‌برداری می‌کند. در بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ میلادی، شدیدترین خشک‌سالی (از ۱۹۱۹ میلادی) در این ناحیه اتفاق افتاد که موجب خشک‌شدن شاخه اصلی رودخانه واکر شد. در سال ۲۰۱۵ از فرصت خشک بودن مجرای رودخانه برای لایروبی بستر رودخانه بهره‌گرفتند و این کار انجام‌گرفت.

از سال ۲۰۰۹ میلادی، مدرن‌سازی این سامانه از طریق ارتقا دقت در اندازه‌گیری آب انشعابی از رودخانه و بهبود قابلیت کنترل لحظه‌ای آب برای مدیریت آن شروع شد. به منظور آبگیری از رودخانه یک مجموعه از تجهیزات و سازه‌ها تهیه شد. این مجموعه می‌تواند شامل ترکیبی از یک فلوم شیب‌دار[2] (سرریز لبه پهن اصلاح‌شده[3] یا فلوم رپلاگول[4]) برای اندازه‌گیری، دریچه‌های کشویی موتوردار، واحد پایانه راه دور (RTU) برای کنترل خودکار دریچه‌ها و ارتباط با مرکز اسکادا، دریچه‌های یک‌طرفه[5] ITRC، اصلاح سرریزهای موجود، انرژی خورشیدی منفصل از شبکه برای تمامی نقاط شبکه آبیاری و قابلیت‌های کنترل رسوب باشد. در طرح اولیه، بیست محل برای مدرن‌سازی انتخاب شد و در ادامه بیست

1- Walker River Irrigation District
2- Ramp Flume
3- Modified Broad-Crested Weir
4- Replogle Flume
5- Flap Gate

موقعیت دیگر نیز اضافه شد. شکل‌های مختلفی از این مجموعه‌ها در ۱۲ نقطه درون شبکه با موفقیت بهره‌برداری شده و تجهیزات در دیگر نقاط نصب شده یا درحال بررسی است. طی ۸ سال (تا سال ۲۰۱۸) این مجموعه‌ها برای تطابق با فناوری‌های جدید، چه در محل‌های بهره‌برداری شده و چه در نقاط پیشنهادی به‌روز شده‌اند.

پیش از مدرن‌سازی، مطابق شکل (پ.۱-۵) شبکه بهره‌برداری دارای دریچه‌های کشویی چوبی با سامانه مکانیکی دستی باز و بسته کردن، بود. این کانال شامل تعدادی سازه سرریز در بالادست پارشال فلوم بود که باعث ثابت نگه‌داشتن مقدار آبدهی از طریق تنظیم دستی این سرریزها می‌شدند. بند انحرافی از طریق مصالح سنگی همان منطقه و مواد بستر رودخانه ساخته شده است و سرریزهای اطمینان برگشتی به رودخانه، تقریبا در تمامی موارد کانال‌های انحرافی استقرار داشتند که خود می‌توانست موجب ثابت ماندن تراز سطح آب شود. کانال اصلی نیز دارای تیرک‌های آب‌بند[1] (تخته‌های تنظیم تاج) بود که تراز سطح آب را در آبگیرها کنترل می‌کردند.

شکل پ.۱-۵- نمایی از شبکه کانال انحرافی از رودخانه واکر (پیش از مدرن‌سازی)

کانال فاکس مایکی[2] که از شاخه شرقی رودخانه واکر جدا می‌شود، یک مثال از این طرح است که در شکل (پ.۱-۶) می‌توان آن را مشاهده نمود. در جایگاه ۱، یک سرریز انحرافی به طول ۱۲ متر قرار دارد. ظرفیت طراحی‌شده برای سازه آبگیر اصلی[3] کانال برابر با ۴CMS و با ظرفیت میانگین ۲/۱CMS است. مدرن‌سازی انجام گرفته شامل موارد زیر می‌شود:

1- Flashboard
2- Fox Mickey Canal
3- Headworks

۱- افزودن یک حوضچه رسوب‌گیر با ابعاد ۵۵×۱۱ متر و سازه رسوب‌گیر ۱۵ متری (جایگاه a۲). این حوضچه بعد از استفاده به مدت یک‌سال در سال ۲۰۱۶ پر شد و برای جلوگیری از تاثیر بر بالادست آن لای‌روبی شد.

۲- نصب دریچه یک‌طرفه ITRC روی سرریز آزاد موجود در جایگاه ۳. این سرریز برای تخلیه دایم تا ظرفیت ۰/۷CMS طراحی شده‌است. (سرریز قدیمی دارای یک تیرک آب‌بند تنظیم تراز به طول ۱/۲ متر و دریچه کشویی ۱/۲ متری بود)

۳- ساخت یک سازه رسوب‌گیر ۱۲ متری بلافاصله در پایین‌دست جایگاه ۳ که مقدار رسوب در کانال را کاهش می‌دهد.

۴- تعویض دریچه‌های کشویی (چوبی) در جایگاه ۴ با دو دریچه کنترل آبدهی خودکار کشویی جدید

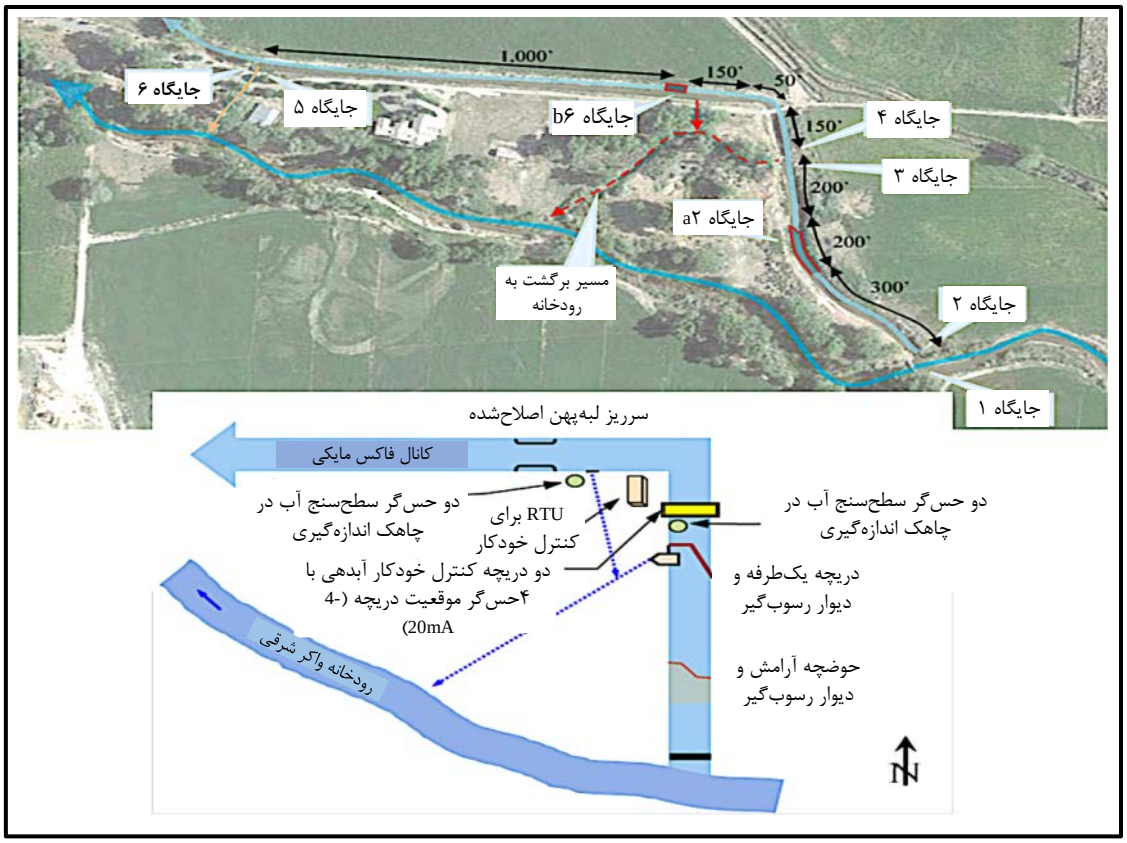
۵- حذف پارشال فلوم از جایگاه ۶ و نصب سرریز لبه پهن اصلاح شده (فلوم ریلاگول) با جریان‌سنج خودکار متصل به دریچه‌های کشویی خودکار به‌منظور کنترل آبدهی در جایگاه b۶، ۳۰۰ متر در بالادست پارشال فلوم قبلی

۶- نصب دریچه‌های تغذیه شده با انرژی خورشیدی و اجرای کنترل خودکار و سامانه اسکادا (12/24 VDC)

۷- انتقال داده‌های آبدهی و تراز سطح آب به مرکز کنترل اسکادا هر ۱ دقیقه

۸- نمایش آبدهی، تراز سطح آب و پارامترهای کنترلی دیگر، به علاوه ذخیره داده‌ها

۹- تعیین آبدهی هدف و تغییر آن در صورت لزوم از مرکز اسکادا توسط نرم‌افزار (ClearSCADA HMI)



شکل پ.۱-۶- نمای کانال انحرافی فاکس- مایکی و تغییرات پیشنهادی

پ.۱-۱-۴- پروژه RD108 در کشور آمریکا

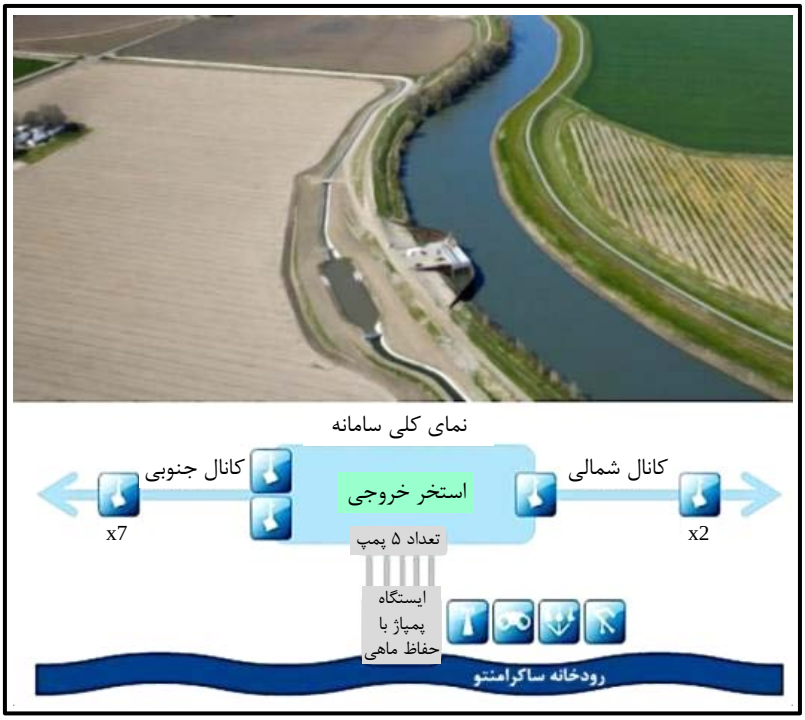
ناحیه آبادانی ۱۰۸ (RD108)[1]، یکی از بزرگ‌ترین تامین‌کنندگان آب کشاورزی از رودخانه ساکرامنتوی کالیفرنیا است که آب را به حدود ۱۹۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی با کشت عمده برنج، تحویل می‌دهد. این رودخانه، بزرگ‌ترین رود در کالیفرنیا است و یک مسیر مهم برای مهاجرت ماهی سالمون شیناک[2] و سایر گونه‌های ماهی در معرض خطر، محسوب می‌شود. برای جلوگیری از ورود این ماهی‌ها به شبکه کانال آبیاری، دولت در RD108 دستور بهره‌برداری از سه مرکز بزرگ پمپاژ را در امتداد رودخانه صادر کرد. طراحان پروژه با جایگزینی این سه ایستگاه با یک ایستگاه دارای حفاظ، همراه با کانال‌های بهم‌پیوسته، به بهترین راه‌حل اقتصادی رسیدند. اگرچه در این حالت نوسانات زیاد سطح آب در کانال، رسیدن به آبدهی یکنواخت را در خطوط انتقال جانبی مشکل می‌کند که برای رفع آن به فعالیت دائم اپراتورها برای کنترل پمپ‌ها، حفظ سطح آب کانال و واکنش به تغییر در تقاضاهای آبیاری، نیاز است. کارکردن دائمی پمپ‌ها از طرفی می‌توانست یک راه‌حل باشد، اما این روش هزینه‌های انرژی غیرقابل قبول و هدررفت زیاد آب را تحمیل می‌کرد. بنابراین در این ناحیه از کنترل خودکار شبکه استفاده شد که به‌شکل خودکار، انتقال آب توسط پمپ‌ها از رودخانه به استخر خروجی[3] و کانال‌های اولیه (کانال شمالی و جنوبی) را مدیریت می‌کند. با استفاده از دو پمپ سرعت متغیر و سه پمپ سرعت ثابت (۶۰cfs یا ۱/۷cms)، آب از رودخانه به یک استخر ظرفیت محدود منحرف می‌شود. این مخزن دو کانال اصلی را تغذیه می‌کند که به نوبه خود هرکدام شش کانال جانبی را تغذیه می‌کند. شکل (پ.۱-۷) تصویر هوایی ایستگاه پمپاژ RD108 و استخر خروجی را همراه با یک نمای کلی از آن نشان می‌دهد.

از یک سامانه اسکادا (نرم‌افزار ®SCADAConnect) همراه با فلوم-دریچه‌ها در ورودی خطوط جانبی (لترال‌ها) برای تنظیم آبدهی این ورودی‌ها، مطابق با تقاضای پایین‌دست آن استفاده می‌شود. در کانال شمالی، یک ایستگاه پمپاژ دیگر که توسط یک سیستم SCADA ثالث کنترل می‌شود در سامانه کنترل ادغام شده که به طور خودکار تغییرات در جریان را جبران می‌کند.

وظیفه اصلی سامانه کنترل، اطمینان از رسیدن به مقدار آبدهی مطابق با تقاضا، از طریق تاسیسات آبگیری کانال جانبی با حفظ تراز سطح آب مورد نظر در کانال‌های اولیه است. هنگامی که سطح آب در کانال، درنتیجه استخراج آب

1- Reclamation District 108
2- Chinook Salmon
3- Afterbay

توسط آبگیرهای متصل به کانال‌های اولیه، شروع به کاهش می‌کند، نرم‌افزار به طور خودکار به فلوم-دریچه‌ها برای افزایش آبدهی در بازه‌های بالادست دستور می‌دهد و آبدهی پمپ‌ها را برای حفظ تراز سطح آب در طول کانال‌ها تغییرمی‌دهد. درحال‌حاضر تراز سطح آب در ۹۷درصد مواقع، در حدود ۳± اینچ از تراز تعیین‌شده، حفظ می‌شود. با پایداری در سطح آب و آبدهی قابل اعتماد، بهره‌برداران شبکه آبیاری می‌توانند خدمات بهتری را به مشتریان پایین‌دست ارائه دهند و درعین‌حال از ماهی‌ها و محیط‌زیست حفاظت‌کنند.



شکل پ.۱-۷- نمای ایستگاه پمپاژ، حفاظ آبزیان و استخر خروجی RD108 در کالیفرنیا، آمریکا

پ.۱-۱-۵- ناحیه آبیاری کالیفرنیای مرکزی، آمریکا

ناحیه آبیاری کالیفرنیا مرکزی (CCID[1]) در حدود ۲۲۵ کیلومتری جنوب ساکرامنتو، در دره سن هواکین[2] از دره مرکزی[3] کالیفرنیا قرار دارد و حدود ۴۸۶ کیلومترمربع، شامل بیش از ۱۶۰۰ مزرعه است. کانال دلتا مندوتا (DMC[4]) در دهه ۱۹۴۰میلادی ساخته شد. آب رودخانه ساکرامنتو از طریق کانال DMC با حرکت به سمت جنوب به استخر مندوتا[5]

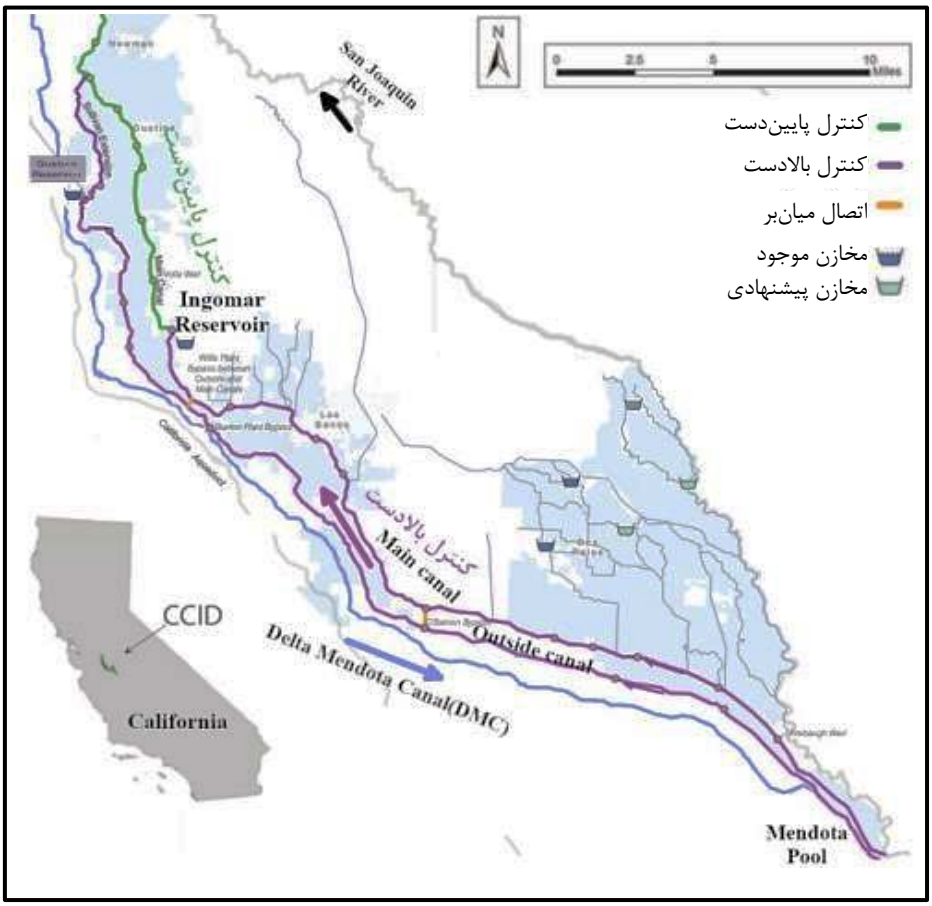
1- Central California Irrigation District
2- San Joaquin Valley
3- Central Valley
4- Delta Mendota Canal
5- Mendota Pool

منحرف می‌شود. استخر مندوتا به عنوان آب‌برگردان اصلی دو کانال اولیه (کانال اصلی[1] و کانال بیرونی[2]) که به سمت شمال جریان دارند، عمل می‌کند. دو کانال اولیه، تقریبا مسطح، پر پیچ‌وتاب و بدون پوشش‌اند که در حدود ۱۰۰ سال گذشته به همین شکل باقی مانده‌اند.

کانال اصلی با طول حدود ۱۱۲ کیلومتر و ظرفیت ۴۵CMS دارای دو روش مختلف کنترلی است. بخش بالایی و بخش پایینی کانال اصلی با یک مخزن (مخزن اینگومار[3]) با یکدیگر مرتبط هستند.کنترل پایین‌دست در بخش پایینی مخزن و روش کنترل بالادست در بالای این مخزن اعمال می‌شود. به عبارتی این مخزن به‌شکل یک تنظیم‌کننده برای خطاها/تغییرات آبدهی نیز عمل‌می‌کند. این پروژه مدرن‌سازی، شامل جایگزینی ۱۳ تیرک آب‌بند با دریچه‌های لَنگمِن[4]، ارتقا دریچه‌های قطاعی و دریچه‌های کشویی موجود، ایجاد مسیر ارتباط جدید بین کانال اصلی و کانال بیرونی و اصلاح آب‌برگردان‌های نهرهای محلی و لترال‌های اصلی تحویل آب و خودکارسازی آن‌ها و نصب RTUها برای کنترل بالادست در کانال بالایی است. در بخش پایینی کانال اصلی، هشت سازه تنظیم موجود برای عملکرد خودکار، ارتقا یافته‌اند و هرکدام دارای یک الگوریتم کنترلی اختصاصی هستند که به طور مستقل عمل می‌کنند. به این ترتیب، کنترل پایین‌دست در پایین مخزن اینگومار، موجب بهره‌برداری برحسب تقاضا (برحسب تمایل) شده است. مخزن اینگومار نیز برای این مدرن‌سازی ساخته شده است. کانال بیرونی حدود ۱۰۰ کیلومتر است و ظرفیتی حدود ۱۴CMS دارد. همچنین چندین اتصال مستقیم از DMC به کانال بیرونی در مرز غربی منطقه تحویل آب وجود دارد که به‌عنوان میان‌بر برای تامین ظرفیت اضافی و انعطاف‌پذیری در بهره‌برداری عمل می‌کنند. زهکش سطحی از CCID از سمت شمال‌شرقی وارد نواحی آبیاری مجاور و رودخانه سن هواکین می‌شود.

در شکل (پ.۱-۸)، موقعیت ناحیه آبیاری کالیفرنیای مرکزی (CCID)، نمای کلی کانال اصلی و کانال بیرونی همراه با مخازن و میان‌برها (اتصالات میانی) نشان‌داده شده است. بخش سبز رنگ، کانال اصلی با کنترل پایین‌دست و بخش بنفش، کانال اصلی و کانال بیرونی که با کنترل بالادست بهره‌برداری می‌شوند را مشخص می‌کند.

1- Main Canal
2- Outside Canal
3- Ingomar
4- Langmenn® gates



شکل پ.۱-۸- نمایی از ناحیه آبیاری کالیفرنیای مرکزی و دره سن هواکین

پ.۱-۱-۶- ناحیه آبیاری رودخانه فِن، چین

ناحیه آبیاری رودخانه فِن[1] در استان شانژی[2] چین شامل دو مخزن و سه سرریز انحرافی است که آب را از این رودخانه به پنج کانال اصلی برای آبیاری و مصارف صنعتی انتقال می‌دهد. ناحیه آبیاری رودخانه فِن در حوزه رودخانه زرد چین، توسط اداره آبیاری رودخانه فِن مدیریت می‌شود. آب آبیاری از طریق ۴۲۰ کیلومتر کانال‌های خاکی اصلی و بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر از نهرها و آب‌راه‌های کوچک مزارع، که آن‌ها نیز توسط مقامات اداره می‌شوند، برای کشاورزان تامین می‌شود. زیرساخت‌های این منطقه،که بیش‌تر متعلق به ۱۹۵۰ میلادی است، عمدتا شامل دریچه‌های کنترل دستی، کم‌وبیش بدون قابلیت اندازه‌گیری هستند. بازدهی توزیع در این شبکه حدود ۴۵ درصد برآورد شده بود، بدین معنی که بیش‌تر آب، قبل از رسیدن به مزارع به‌هدر می‌رفت.

1- Fen River Irrigation District
2- Shanxi Province

وظیفه اصلی خودکارسازی در این طرح، تعویض زیرساخت‌های کنترلی قدیمی با دریچه‌های هوشمند خودکار مجهز به جریان‌سنج بود، تا با کنترل خودکار و ایجاد هماهنگی بین دریچه‌ها، امکان ارتقا تحویل آب، حذف هدررفت آب و امکان مدیریت از راه دور و جمع‌آوری داده‌ها فراهم شود. شکل (پ.۱-۹) جایگزین شدن دریچه‌های کشویی قدیمی را با یک دریچه-فلوم به عنوان یک تنظیم‌کننده عرضی خودکار در کانال رودخانه فِن نشان می‌دهد. در اواخر سال ۲۰۱۶ میلادی، نصب سامانه کنترلی شبکه در ۵۶ کیلومتر از کانال شرقی اصلی و ۱۷ کیلومتر در یک کانال ثانویه تکمیل شد.

نتایج گزارش مرکز توسعه آبیاری و زهکشی چین[1] (CIDDC) نشان می‌دهد که استفاده از سامانه کنترل شبکه:

۱- موجب فراهم‌شدن منعطف آب به طور مطمئن و عادلانه می‌شود.

۲- بازدهی را تا ۲۰٪ افزایش می‌دهد.

۳- با ۲۵٪ از هزینه‌های پوشش‌دهی کانال‌های خاکی (آب‌راه) قابل اجرا است و امکان شناسایی آسان‌تر مناطق با بیش‌ترین هدررفت را برای پوشش هدفمند ایجاد می‌کند.

۴- سرعت اجرا آن نسبت به روش‌های سنتی پوشش‌دهی و تعویض دریچه بسیار سریع‌تر است.

شکل پ.۱-۹- تعویض دریچه‌های قدیمی با دریچه‌های خودکار در رودخانه فِن، چین

1- China Irrigation and Drainage Development Centre

پ.۱-۱-۷- خلاصه دیگر تجربیات در جهان

در موارد ذکر شده از تجربیات جهانی، سعی بر این بوده تا کلیات مدرن‌سازی و خودکارسازی شبکه‌های آبیاری که در آن‌ها روش‌های مختلفی، مانند پوشش‌دهی کانال خاکی، تعویض تنظیم‌کننده‌های سنتی و دریچه‌های دستی، ایجاد محافظ آبزیان، کنترل بالادست و پایین‌دست، استفاده از مخزن تنظیمی استفاده شده، عنوان شود. در ادامه خلاصه‌ای از برخی تجارب خودکارسازی در کشورهای مختلف جهان در جدول (پ.۱-۱) فهرست شده‌است.

در هند اگرچه طرح‌های خودکارسازی و مدرن‌سازی در دهه ۷۰ میلادی آغاز شدند و پروژه ماجالگون در همان دوران به اتمام‌رسید، اما پروژه سردار سارووار که در همین دهه آغاز شد، تا سال ۲۰۱۸ میلادی کامل نشد. مشکلات در این پروژه شامل وسعت و بزرگی طرح و عدم اجرای جز به جز آن و کمبود بودجه برای اجرا و همچنین مخالفت کشاورزان برای ساخت کانال‌های انتقال از داخل زمین‌های زراعی آن‌ها است. همچنین با گذشت زمان و پیشرفت‌های صورت گرفته از نظر فناورانه و تکنیک‌ها و الگوریتم‌های کنترلی، پیشنهاد شده است که در بازنگری پروژه روش کنترلی اولیه تغییرکند. در حقیقت شاید بتوان تفاوت عدم موفقیت این طرح را در مقایسه با طرح گلبرن موری در استرالیا، کامل‌تر شدن دانش مدرن‌سازی و دانش و فناوری خودکارسازی و مشخص شدن اهمیت اجرای جز به جز این‌گونه پروژه‌ها دانست.

جدول پ.۱-۱- خلاصه‌ای از برخی از طرح‌های خودکارسازی در کشورهای مختلف جهان

ناحیه/ کانال آبیاری	کشور	مشخصات	توضیحات خودکارسازی	سال (میلادی)
ناحیه آبیاری سورائیا[1]	پرتغال	- امتداد محدوده دره آبرفتی و کم‌عرض رودخانه سورائیا نزدیک به لیسبون - بهره‌برداری با حداکثر ظرفیت برای انعطاف در تحویل آب (پیش از خودکارسازی) و هرزرفت آب - منبع آب: دو سد بزرگ مخزنی در بالادست - کانال انتقال ۱۱۲/۹km، کانال توزیع ۹۸/۵km، ظرفیت آبدهی ۱۷m^3/s - تجهیزات کنترل: ۳۰۳ دریچه آمیل، ۸۵دریچه آویس، ۵۶۷ دریچه مدول نیرپیک، ۲۰۲۶ آبگیر مزرعه	- ارتباط مرکز اسکادا و نقاط کنترل و پایش با RTU - ۱۳ نقطه پایش و کنترل و ۱۰ نقطه پایش - نقاط پایش و کنترل در ورودی کانال انتقال و توزیع و خروجی کانال به زهکش‌ها برای پایش هرزرفت آب - ارتباط از طریق شبکه تلفن کابلی و تلفن همراه (GSM) - تامین انرژی در نقاط توسط شبکه برق یا پانل خورشیدی - پایش با حس‌گرهای تشخیص موقعیت دریچه و سطح‌سنج - سامانه ثبت و اعلان هشدار به مرکز اسکادا و تلفن همراه اپراتور - تعویض/تلفیق مدول‌های نیرپیک با دریچه‌های کشویی خودکار	شبیه‌سازی اولیه در ۱۹۹۳- شروع ۱۹۹۹ - اتمام۲۰۰۸

1- Sorraia

ادامه جدول پ.۱-۱- خلاصه‌ای از برخی از طرح‌های خودکارسازی در کشورهای مختلف جهان

ناحیه/ کانال آبیاری	کشور	مشخصات	توضیحات خودکارسازی	سال (میلادی)
طرح آزمایشی کانال گیگناک[1]	فرانسه	– طول کانال اصلی ۵۰km، کانال آبرسان ۸km، دو رشته کانال منشعب به طول ۲۷ و ۱۵ کیلومتر از رودخانه Herault – ظرفیت ۳/۵m^3/s	– کانال مجهز به حس‌گرها، محرک‌ها و سامانه اسکادا است. – شبیه‌سازی کنترل با نرم‌افزار SIC-SCADA® – بررسی وضعیت کل سامانه و ارسال دستور لازم توسط اپراتور – ارتباط مرکز اسکادا با نقاط کنترل از طریق فرکانس رادیویی	۲۰۰۰- ۲۰۰۶
کانال دُ پراونس	فرانسه	– تحت پوشش:۸۰هزار هکتار، ۱۱۰ شهر و روستا – طول کانال اصلی ۱۰۵km و طول خط تحت‌فشار ۱۴۰km – ظرفیت آبدهی: ۴۰ m^3/s	– کانال توسط تشکل خصوصی-دولتی[2] اداره و کنترل می‌شود. – سازه‌های تنظیمی/اندازه‌گیری اصلی به سامانه اسکادا متصل‌اند. – کنترل خودکار کانال توسط مدل Dynamic Requlation – روش بهره‌برداری: تقاضاگرا	از ۱۹۷۰ کنترل با Dynamic Requlation
آریزونا مرکزی[3]	آمریکا	– طول کانال اصلی ۹۶km – ساخته‌شده در دهه ۱۹۸۰ میلادی با تجهیزات خودکار (دریچه‌های موتوردار)	– به‌روزرسانی اسکادا (نرم‌افزار SacMan®) – تجهیز ۱۰۸ نقطه کنترلی برای پایش با اسکادا – هزینه تجهیزات برای هر نقطه نزدیک به ۱۵۰هزار دلار – تنظیم هر دریچه در گام‌های۳mm توسط اسکادا – استفاده از مخابرات طیف گسترده رادیویی	۲۰۰۲
پروژه انتقال آب سردار سارووار[4]	هند	– کانال اصلی (کانال نارمادا) ۴۵۸km با ظرفیت ۱۱۳۴m^3/s – دورترین نقطه آبرسانی ۷۰۰km	– روش کنترلی پیشنهادی اولیه Control Volume Concept (CVC) – سامانه اسکادا، یک واحد کنترل مرکزی و ۱۵ واحد کنترل فرعی – مشکلات: • مخالفت کشاورزان با ساخت شبکه انتقال آب جدید از داخل اراضی • بودجه ناکافی به دلیل وسعت پروژه	شروع دهه ۷۰میلادی- (تا سال ۲۰۱۸ ناتمام)
ماجالگون[5]	هند	– منطقه تحت پوشش ۲۴۰هزار هکتار – منطقه قابل آبیاری ۱۱۹هزار هکتار – کانال اصلی ۱۰۰km- ظرفیت ۸۳m^3/s – ۵۰کانال درجه۲، ظرفیت ۰.۲ تا ۹m^3/s	– سرمایه‌گذاری مرحله ۱ توسط بانک جهانی و مرحله ۲ توسط بانک جهانی و فرانسه – استفاده از دریچه‌های شناور، سرریزهای طویل، توزیع baffle و آبگیرهای خودکار – ارتباط با مرکز اسکادا (نزدیک سد ماجالگون) با امواج رادیویی	دهه ۷۰میلادی

1- Gignac
2- Société du Canal de Provence
3- Central Arizona Irrigation and Drainage District (CAIDD)
4- Sardar Sarovar
5- Majalgaon

پ.۱-۲- سوابق سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری کشور

در کشور ما، تا ابتدای سال ۱۳۹۹، شبکه آبیاری که از سامانه کنترل خودکار در کانال‌های اصلی و فرعی بهره ببرد وجود نداشت و تنها یک طرح آزمایشی در کانال W2 درجه ۱، منشعب از کانال اصلی غربی دز، W1، روی هشت سازه قطاعی در کانالW2-CH1-W2-D1 طی سال‌های ۹۳ تا ۹۶ توسط متخصصان دانشکده مهندسی برق دانشگاه شریف اجرا شده است. در این پروژه، سخت‌افزار کنترلی برای این سازه‌ها ساخته شده و نرم‌افزار اسکادای نظارت و پایش نیز برنامه‌نویسی شده است. اما، باتوجه به اهمیت طراحی و ارزیابی الگوریتم‌های کنترل کاربردی در شبکه‌های آبیاری کشور، در تعدادی از شبکه‌های ثقلی کشور نظیر کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز، کانال‌های اصلی شبکه آبیاری عقیلی، شبکه آبیاری رودشت، شبکه آبیاری قزوین و ... مطالعات طراحی یا ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار انجام شده است. خودکارسازی شبکه‌های آبیاری در کشور به استفاده از دریچه‌های هیدرومکانیکی محدود شده است که اهداف مورد نظر خودکارسازی در این راهنما را برآورده نمی‌کنند.

پ.۱-۲-۱- خودکارسازی در زمینه شبکه‌های آبیاری اصلی و فرعی ثقلی

خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری ثقلی با توجه به شرایط هیدرولیکی و وضعیت فیزیکی شبکه‌ها که دارای گستره و تنوع وسیعی هستند، دارای پیچیدگی خاصی است. چنانچه ذکر شد، درحال‌حاضر در کشور شبکه‌ای که به طور کامل از سامانه کنترل خودکار بهره‌برداری نماید، وجود ندارد. در پروژه‌های تحقیقاتی نیز، بیش‌تر الگوریتم‌های کنترل برای اجرای توزیع آب که در روند مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری اهمیت به‌سزایی دارد، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. علاوه بر روش کنترل، دست یافتن به راهبرد بهره‌برداری مطلوب به نوع سازه‌های تنظیم، ظرفیت عبوری و ارتفاع دیواره‌ها و در حالت کلی وضعیت فیزیکی شبکه آبیاری نیز بستگی دارد که برخی مطالعات ارزیابی شبکه‌ها نیز در این خصوص صورت گرفته است.

پ.۱-۲-۲- خودکارسازی در زمینه شبکه‌های آبیاری اصلی (خطوط انتقال) و فرعی تحت‌فشار

خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار به دو بخش خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری اصلی و خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری فرعی (خودکارسازی در سطح مزرعه) طبقه‌بندی می‌گردد:

پ.۱-۲-۲-۱- خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری اصلی (خطوط انتقال) تحت‌فشار

در حالت کلی شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار، باتوجه به ماهیت آن‌ها نسبت به شبکه‌های آبیاری ثقلی، قابلیت بهتری در خصوص امکان بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار دارند. تعداد معدودی از شبکه‌های اصلی آبیاری تحت‌فشار که برای تامین آب مورد نیاز بخش کشاورزی در کشور ساخته و اجرا شده‌اند به سامانه‌های خودکار مجهز شده‌اند. منظور از سامانه‌های خودکار در اینجا سامانه‌ای است که از طریق آن بتوان وضعیت فشار و آبدهی را در نقاط مختلف شبکه پایش

و در صورت نیاز بتوان به صدور فرامین از طریق تابلوهای فرمان مربوطه اقدام نمود. در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار، از سطوح پایین سامانه‌های خودکار (اغلب خودکار موضعی) برای موارد کاربرد متعدد استفاده می‌گردد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد.

در شبکه‌های آبیاری که پمپاژ به مخازن صورت می‌گیرد یا خطوط انتقالی که با توجه به ارتفاع پمپاژ آن، اصطلاحا به صورت پله‌ای طراحی و اجرا می‌گردند، برای جلوگیری از سرریز مخازن یا امکان کار پمپ در بین تراز خاصی از مخزن، از سامانه‌های خودکار استفاده می‌شود که این عمل توسط شیرهای فلوتر یا حس‌گرهایی با قابلیت اندازه‌گیری تراز آب، صورت می‌گیرد. شیرهای فلوتر که معمولا در لوله ورودی به مخزن نصب می‌شوند، سطح مایع را در مخازن به صورت خودکار کنترل می‌کنند. این شیرها با استفاده از یک شناور نصب‌شده در مخزن، باز و بسته می‌شود. اگر سطح آب از تراز حداکثر بالاتر رود، جریان ورودی به مخزن را قطع و چنانچه سطح آب به پایین‌تر از تراز حداقل افت نماید، جریان ورودی به مخزن برقرار می‌شود.

در ادامه نمونه‌ای از خط انتقال آب تحت‌فشار آبیاری که در طراحی آن، سامانه کنترل خودکار در نظر گرفته شده توضیح داده شده است.

- انتقال آب و سامانه کنترل و ابزار دقیق طرح تامین آب اراضی گوریه و غلامعلی

در طرح تامین و انتقال آب اراضی گوریه و غلامعلی در استان خوزستان، به‌کارگیری سامانه کنترل و ابزار دقیق، توسط مشاور مربوطه این طرح انجام گرفت. طرح انتقال آب مذکور دارای یک ایستگاه پمپاژ اصلی و همچنین تاسیسات آبگیری در ساحل راست رودخانه شطیط در نزدیکی شهرستان شوشتر است. ظرفیت ایستگاه پمپاژ اصلی ۳ متر مکعب در هر ثانیه است که از طریق خط لوله انتقال به حوضچه ابتدای سامانه منتقل می‌شود. از حوضچه مذکور خطوط لوله، آب را به حوضچه‌های مکش منتقل و توسط ایستگاه‌های مزارع (شش ایستگاه)، کل نیاز آبی اراضی تحت پوشش طرح تامین خواهد شد.

سامانه کنترل طراحی‌شده برای ایستگاه‌های پمپاژ این طرح، به صورت مرکزی بوده و با استفاده از تجهیزات الکترونیکی قابل برنامه‌ریزی و تجهیزات ارتباط رادیویی (استفاده از رادیو مودم) ارتباط برقرار می‌شود. ارسال و دریافت فرامین کنترل بر اساس فرکانس خاصی است که از طریق رادیو مودم صورت می‌گیرد. بدین ترتیب هر یک از ایستگاه‌ها اعم از مرکز کنترل یا زیربخش‌هایی که امکان کنترل در آن‌ها فراهم است، دارای کنترل‌کننده قابل برنامه‌ریزی هستند. فرآیند کنترل در مرکز کنترل طراحی‌شده، به دو بخش تقسیم می‌گردد:

۱- کنترلی ترتیبی[1] تجهیزات به صورت محلی یا موضعی

1- Sequence Control

۲- ارسال فرامین کنترل از مرکز کنترل بر اساس جمع‌آوری و تبادل اطلاعات از تجهیزات

مرکزکنترل طرح تامین آب، در ایستگاه پمپاژ ششم قرار دارد که اطلاعات نقاط مختلف در این نقطه جمع‌شده و امکان ارسال فرامین کنترل از آن وجود دارد. ایستگاه‌های پمپاژ طرح نیز دارای اتاق کنترل هستند. با کاربرد تجهیزات و واسطهای انسان-ماشین، امکان نمایش موقعیت‌ها و وضعیت تجهیزات مختلف اعم از پمپ‌ها و شیرها و حس‌گرها و برنامه‌ریزی برای کنترل فراهم می‌گردد. همچنین از طریق آن‌ها اطلاعات کل سامانه ثبت و گزارشات مختلف تهیه و ارائه می‌شود. تجهیزات مرکز کنترل عبارتند از: میز و تابلو کنترل که شامل تمام اجزا مدار فرمان، اعم از رله، کنتاکت، تایمر، PLC و اینترلاک‌های سخت‌افزاری است.

تجهیزات ابزار دقیق به‌کار رفته در این طرح شامل موارد زیر است:

- جریان‌سنج مغناطیسی[1]

• برای پایش آبدهی خطوط لوله در این طرح از جریان‌سنج مغناطیسی استفاده می‌گردد. مقادیر اندازه‌گیری‌شده شدت جریان به صورت لحظه‌ای و مجموع آبدهی عبوری بوده و قابلیت نمایش آن در محل اندازه‌گیری و نیز در مرکز کنترل، وجود دارد.

- سطح‌سنج آلتراسونیک[2]

• از حس‌گر سطح‌سنج آلتراسونیک در تمام حوضچه‌ها و مخازن طرح تامین آب (به تعداد ۸ دستگاه) استفاده می‌گردد. اندازه‌گیری تراز سطح آب به منظور محافظت پمپ‌ها و جلوگیری از افت بیش از حد سطح آب در حوضچه مکش و مکش هوا به داخل آن‌ها، صورت می‌گیرد. در صورت افت سطح آب از حداقل مجاز که توسط حس‌گر اندازه گرفته می‌شود، فرمان توقف الکتروموتور پمپ‌ها از طرف کنترل‌گر به صورت خودکار صادر شده و علائم هشدار فعال می‌گردد.

پ.۱-۲-۲-۲- خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری فرعی تحت‌فشار (خودکارسازی در سطح مزرعه)

در کشور چه از نظر بهره‌برداری و چه از لحاظ مطالعاتی (کارگاه‌های فنی، مقالات و پروژه‌ها)، خودکارسازی تحت‌فشار در سطح مزرعه، حجم بیش‌تری را نسبت به شبکه‌های انتقال داشته است. خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری می‌تواند در سطوح مختلف، از کنترل‌گرهای محلی (موضعی) گرفته تا سامانه کنترل خودکار مرکزی اعم از جمع‌آوری اطلاعات، پردازش آن‌ها و ارسال فرامین کنترل، انجام‌گیرد. در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، این کنترل‌گرها شامل فرآیندهایی همچون بازکردن و بستن شیرآلات (اکثرا شیرهای سولونوئیدی)، تزریق کود، شستشوی فیلترها، کنترل خودکار کارکرد

1- Magnetic Flow Meter
2- Ultrasonic Level Meter

پمپ‌ها و در موارد معدودی اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات مربوط به شدت جریان و فشار آب در نقاط محدودی از سامانه آبیاری هستند. به‌کارگیری سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار کشور در اغلب موارد به‌صورت بهره‌گیری از سامانه‌های کنترل خودکار موضعی بوده است.

درحال‌حاضر، حدود ۱/۷ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی و باغات کشور (حدود ۲۰ درصد از ۸/۵ میلیون هکتار) به سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در داخل مزارع مجهز هستند. خودکارسازی در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار داخل مزارع، با توجه به فعالیت چند شرکت وارد کننده و مجری در کشور، در چند سال اخیر وارد فاز جدیدی شده، هرچند که با توجه به پتانسیل قابل ملاحظه این سامانه‌ها برای خودکارسازی، از حدود چند دهه پیش، سامانه‌های خودکار آبیاری تحت‌فشار در کشور اجرا و بهره‌برداری شده است که در جدول (پ.۱-۲) به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود. در این جدول نمونه‌هایی از خودکارسازی آبیاری انتقال و توزیع فضای سبز نیز به دلیل مشابهت در استفاده از شیرهای برقی متصل به سامانه کنترل ذکر شده است.

در این زمینه کتاب «نگرشی بر روش‌های خودکارکردن سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار»، شماره ۱۲۱، منتشر شده توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران به مواردی از جمله: خودکارکردن در روش‌های آبیاری بارانی، خودکارکردن در روش‌های آبیاری قطره‌ای و میکرو، شستشوی معکوس خودکار در فیلترهای شنی و توری آبیاری قطره‌ای و کوددهی در آبیاری خودکار در روش‌های قطره‌ای پرداخته است.

جدول پ.۱-۲- خلاصه‌ای از طرح‌های شبکه‌های فرعی تحت‌فشار بهره‌مند از سامانه‌های خودکار در کشور

نام طرح	توضیحات	سال
سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای در دشت ناز ساری	– وسعت ۳۱۰۰ هکتار، تحت کشت ۲۷۰۰ هکتار – آبیاری ۲۵۰۰ هکتار از اراضی تحت کشت با ۲۱ دستگاه خطی و ۱۰ دستگاه بارانی عقربه‌ای – سامانه اولیه ترایماتیک با تنظیم‌کننده مکانیکی	شروع ۱۳۵۷ اجرا دهه ۱۳۴۰
سامانه آبیاری بارانی خطی و عقربه‌ای در استان گلستان	– مجهز به سامانه مدیریت و کنترل از راه دور – مجهز به سامانه آبیاری بارانی خطی و عقربه‌ای – امکان عیب‌یابی توسط شرکت تولیدکننده (تولیدکننده خارجی)	۱۳۸۹
سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در باغات پسته	– وسعت طرح ۳۰۰۰ هکتار در استان‌های کرمان، سمنان و یزد – جایگزین روش غرقابی – شستشوی تمام خودکار فیلترها بر اساس اختلاف فشار ورودی و خروجی – آبیاری توسط شیرهای مجهز به عمل‌گر، طبق برنامه‌ریزی اپراتور در سامانه کنترل و به شکل خودکار است – کنترل‌گرها مجهز به سامانه آبیاری دو کابلی[1]	شروع ۱۳۸۷

۱- ارتباط دو کابلی یا Two wire system برای کاهش پیچیدگی‌ها، کاهش سیم‌کشی در سامانه‌های کنترل و امکان گسترش سامانه است. دو سیم، هر دو از کنترل‌گر خارج شده و سپس به یک رمزگشا (Decoder) نصب‌شده در اولین شیر وصل می‌شود. سپس همان دو سیم به رمزگشا بعدی و به همین ترتیب

ادامه جدول پ.۱-۲- خلاصه‌ای از طرح‌های شبکه‌های فرعی تحت‌فشار بهره‌مند از سامانه‌های خودکار در کشور

نام طرح	توضیحات	سال
سامانه‌های خودکار آبیاری در اراضی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی در کرج	– بررسی وضعیت هیدرولیکی سامانه‌های آبیاری (سطح‌سنج تراز چاه‌ها و مخازن، جریان‌سنج اندازه‌گیری آبدهی خطوط لوله، فشارسنج پایش فشار سامانه آبیاری، شیرهای برقی برای تنظیم و قطع و وصل جریان، رطوبت‌سنج تعیین رطوبت خاک) – پایش پارامترهای هواشناسی(پکیج هواشناسی) – تجهیزات کنترل (RTU، RIC[1]، تجهیزات کنترل سرعت پمپ، مودم‌ها، نرم‌افزار جامع کنترلی شامل نمایش تمامی موارد ذکرشده و امکان ثبت و گزارش‌گیری)	شروع۱۳۸۵
سامانه کنترل خودکار یکپارچه در طرح شبکه آبیاری تحت‌فشار سورِمقداد امیدیه	– وسعت ۴۰۰ هکتار در جنوب شرقی شهرستان امیدیه استان خوزستان – سامانه آبیاری اراضی قطره‌ای و بارانی با ظرفیت ۴۰۰Lit.s-1 – ۲۵۰ هکتار آبیاری بارانی، ۷۰ هکتار آبیاری قطره‌ای صیفی‌جات، ۴۰ هکتار آبیاری قطره‌ای باغات زیتون و۴۰ هکتار آبیاری با آبفشان برای باغات نخل – فیلتراسیون و تصفیه خودکار با کنترل اختلاف فشار ورودی و خروجی – آبیاری خودکار بر اساس الگوی کشت توسط شیرآلات برقی قابل کنترل از راه دور – کنترل یک‌پارچه فرایند پمپاژ و انتقال آب به مزراع توسط PLC از طریق کنترل بازخوردی از جریان‌سنج‌های خطوط لوله	پایان مطالعات مرحله دوم
خودکارسازی شبکه‌های انتقال و توزیع فضای سبز شهری	– شیرهای برقی (شیرهای سولونوئیدی) با اتصال با سیم به کنترل‌گر زمان‌دار – سامانه آبیاری خودکار فاز یک و دو فضای سبز میدان آزادی تهران – سامانه آبیاری خودکار زمین چمن استادیوم ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر – سامانه آبیاری خودکار فضای سبز نمایشگاه تخصصی شهرداری تهران – سامانه آبیاری خودکار فضای سبز شرکت سایپا – سامانه آبیاری خودکار فضای سبز مرکز همایش های بین‌المللی کیش	

در سراسر طرح پخش می‌شود. هر رمزگشا به عنوان منبع انرژی برای شیرها نیز به‌کار می‌رود؛ به این ترتیب می‌توان در هرکجا ترکیبی از شیر و رمزگشا را اضافه کرد.

1- Remote Irrigation Controller

پ.۱-۲-۳- خودکارسازی در زمینه خطوط آب‌رسانی و توزیع آب شهری (اجرایی و بهره‌برداری)

تجربیات مربوط به خطوط آب‌رسانی و توزیع آب شهری از این جهت در آب کشاورزی مورد اهمیت است چرا که می‌توان از آن در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار استفاده نمود، با این تفاوت که تقاضای آب شرب بر اساس مدت، زمان و مقدار برداشت کاربران انعطاف‌پذیری دارد، ولی در اکثر شبکه‌های آبیاری، انعطاف‌پذیری بسیار کم‌تری وجود دارد.

اجرای طرح تله‌متری و تله‌کنترل مخازن استان تهران از سال ۱۳۸۱ آغاز شده است. در این طرح، سطح آب مخازن از طریق حس‌گرهای آلتراسونیک خوانده می‌شود و سپس از طریق سامانه اسکادا[1] به مرکز (شرکت آب و فاضلاب استان تهران) منتقل می‌شود. علاوه‌بر تله‌متری، بخش تله‌کنترل برای کنترل ایستگاه‌ها در نظر گرفته‌شده، اما درحال‌حاضر تله‌کنترل به‌صورت کامل اجرا نشده است. مراکز تله‌متری و تله‌کنترل (اسکادا) در بخش آب و فاضلاب با عنوان «مرکز پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب» نام‌گذاری شده است. این بخش در منطقه دو شهر تهران با نام «مرکز پایش و کنترل تاسیسات (اسکادا)» در سال ۱۳۹۷ بهره‌برداری شده است. در آبفای منطقه یک و در محل پست امداد صاحبقرانیه، این مرکز راه‌اندازی شده است که در مجموع و در افق نهایی این طرح، ۳۵ فلومتر، ۳۰ مرکز کنترل کیفی آب و ۳۰۰ فشارشکن به سامانه اسکادا متصل خواهند شد و به صورت لحظه‌ای کار رصد آن‌ها در این مرکز انجام خواهد شد. برای مثال در این نقاط، امکان روشن و خاموش کردن پمپ از مرکز کنترل وجود دارد. به این صورت که اپراتور از مرکز کنترل وضعیت مخزن را پایش‌کرده و در صورت نیاز ایستگاه پمپاژ را از مدار خارج یا وارد مدار می‌کند. برای باقی نقاط که مجهز به این سامانه نیستند، این فرآیند با توجه به منطقه، از طریق تلفن و با همکاری اپراتور محلی مستقر در ایستگاه‌ها صورت می‌گیرد.

طبق بررسی‌های صورت گرفته، علت عدم اجرای بخش تله‌کنترل، لزوم تغییرات اساسی در تجهیزات و تابلو برق‌های ایستگاه‌های پمپاژ است. لازم به ذکر است در نقاطی که فرآیند تصفیه در آب شرب صورت گرفته و عمل کلرزنی انجام می‌شود، امکان پایش میزان کلر وارد شده به آب و بررسی وضعیت دستگاه کلرزن از مرکز کنترل وجود دارد. نرم‌افزار مورد استفاده در این سامانه تله‌متری CitectSCADA® است که با تجهیزات اجرا شده هماهنگی داشته و امکان دریافت و نمایش این اطلاعات از طریق آن وجود دارد.

1- Supervisory Control and Data Acquisition- SCADA

پ.۱-۲-۳-۱- تجربیات شرکت آب و فاضلاب کشور

۹۷ شهرستان کشور در قسمت آب شرب، مجهز به سامانه تله‌متری هستند و در شهرستان‌های زنجان، خراسان رضوی و جنوبی، قزوین، قم و تهران و ۱۷ مرکز شهرهای پرجمعیت مجهز به سامانه‌های پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب شده‌است. به‌علت تعدد نقاط مصرف در شبکه‌های آب شرب، سامانه تله‌متری و تله‌کنترل در نقاط مهم و گلوگاه‌های حساس که امکان کنترل فشار در آن‌ها وجود دارد و به راه‌اندازها مجهز هستند، اجرا شده‌اند. در این نقاط انتقال دو طرفه داده‌ها صورت می‌پذیرد (از محل به مرکز کنترل و برعکس).

برای استفاده از سامانه‌های خودکار، توجه اساسی به سه بخش سخت‌افزار، نرم‌افزار و بستر مخابراتی به عنوان سه ضلع یک مثلث ضروری است. طبق بررسی صورت گرفته، در بخش نرم‌افزار و همچنین بستر مخابراتی، شرکت آب و فاضلاب دچار کمبودهایی بوده که در چند سال اخیر مجبور به تهیه استانداردهای خاصی شده است.

در اکثر سامانه‌های خودکار آب شرب، بستر مخابراتی پشتیبان در نظر گرفته شده است تا در مواقع ضروری که یکی از سامانه‌ها غیر فعال شد، بتوان از سامانه پشتیبان استفاده نمود. البته در نظرگرفتن بستر پشتیبان به درجه اهمیت تاسیسات و تجهیزات بستگی دارد. اگر درجه اهمیت تاسیسات و تجهیزات زیاد باشد، وجود بستر پشتیبان ضروری است. بدین‌ترتیب می‌توان برای نقاط و تاسیسات مهم بستر پشتیبان در نظر گرفت و برای سایر نقاط کم‌اهمیت از آن صرف‌نظر نمود.

در پروژه‌های آب شرب در خصوص ایجاد بستر مخابراتی هماهنگی با سازمان ارتباطات رادیویی بسیار با اهمیت بوده و تعامل سازنده باعث سرعت عمل شده و عدم رعایت این فرآیند، شرکت آب و فاضلاب را از لحاظ هزینه زمانی و مالی دچار مشکلات فراوانی می نماید. با توجه به تعداد نقاط بسیار زیادی که تحت کنترل قرار دارند، تله‌متری و تله‌کنترل تاسیسات و دستگاه‌ها به‌صورت محلی صورت می‌پذیرد، سپس در مرکز هر استان داده‌های کنترل محلی شهرستان‌های مربوطه جمع‌آوری می‌شود. سامانه‌های تله‌متری متعددی با کارفرمایی و مدیریت شرکت آب و فاضلاب در خصوص تامین آب شرب شهرهای بزرگ و کوچک کشور انجام گرفته است که به صورت نمونه تعدادی از آن‌ها ارائه می‌گردد.

- برخی از طرح‌های اجرا شده

- **سامانه تله‌متری آب شرب آبیک**

طرح آب‌رسانی شهر آبیک شامل ۱۰ حلقه چاه، ۵ باب مخزن، ۴ ایستگاه پمپاژ، ۳ فشارشکن و ۵ نقطه حساس کنترل در شبکه می‌باشد. سامانه تله‌متری طراحی و اجرا شده برای تامین آب شرب آبیک، در مجموع دارای ۳۴۹ ورودی دیجیتال، ۱۴۷ خروجی دیجیتال و ۱۸۱ ورودی آنالوگ است.

- **سامانه تله‌متری آب شرب گرگان**

طرح آب‌رسانی شهر گرگان دارای ۴۸ حلقه چاه، ۱۹ باب مخزن، ۴ ایستگاه پمپاژ و ۲ تصفیه‌خانه است. برای تامین آب شرب گرگان، سامانه تله‌متری طراحی و اجرا شده، دارای ۵۲۱ ورودی دیجیتال، ۲۱۴ خروجی دیجیتال، ۲۴۸ ورودی آنالوگ و ۱۱ خروجی آنالوگ است.

- **سامانه تله‌متری آب شرب آشتیان**

طرح آب‌رسانی شهر آشتیان شامل ۵ حلقه چاه، ۵ باب مخزن و ۳ ایستگاه پمپاژ می‌باشد. سامانه تله‌متری طراحی و اجرا شده برای تامین آب شرب شهر آشتیان، در مجموع دارای ۱۲۴ ورودی دیجیتال، ۱۴۹ خروجی دیجیتال، ۵۶ ورودی آنالوگ و ۱۷ خروجی آنالوگ است.

- **مرکز پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب سیستان و بلوچستان**

این مرکز در شهر زاهدان با هزینه ۲۵ میلیارد ریال به بهره‌برداری رسیده و در این مرکز کنترل و پایش ۸ باب ایستگاه پمپاژ آب، ۳۶ حلقه چاه، ۱۴ باب مخزن و یک تصفیه‌خانه امکان‌پذیر است.

- **مرکز پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب خراسان رضوی**

این مرکز دارای سرور و چهار دستگاه نمایش‌گر صنعتی است که با هزینه دو میلیارد و ۲۰۰ میلیون ریال راه‌اندازی شده است. اعلام به هنگام سطح مخازن ذخیره آب، تعداد منابع در حال بهره‌داری، چاه‌های خاموش، بروز مشکل فنی و اعلام میزان کلر، فشار خطوط انتقال و مخازن و میزان انرژی مصرفی هر چاه از ویژگی‌های مرکز پایش و راهبری تاسیسات آب شرکت آبفای خراسان رضوی است. بیش از ۵۶ درصد شهرها و ۶۵ درصد تاسیسات آب این شرکت تحت کنترل مرکز پایش و راهبری آبفای خراسان رضوی قرار دارد.

- **مرکز پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب قم**

این مرکز در شهر قم به عنوان اولین سامانه اسکادای آب و فاضلاب راه‌اندازی شده است و با استفاده از ادوات اندازه‌گیری و سامانه‌ها بی‌سیم و هوشمند در تمام شهرهای استان، تمام شبکه‌ها و تاسیسات آب، چاه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌صورت مرکزی و لحظه‌ای مدیریت کیفی و کمی می‌شود.

- **مرکز پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب تهران**

این مرکز قابلیت پایش و کنترل تجهیزات ابزاردقیق شامل فشارشکن‌ها، ایستگاه‌های کنترل کیفیت و جریان‌سنج‌های مبادی ورودی و خروجی، سطح‌سنج‌ها و جریان‌سنج‌ها را در سطح شبکه‌های آب و فاضلاب فراهم می‌آورد. در استان

تهران، ۲۵۷۰ ایستگاه کاری برای مراکز پایش و راهبری تاسیسات آب و فاضلاب تعریف شده است که در قالب ۱۲ پروژه در حال اجرا است.

پ.۱-۲-۴- خودکارسازی در زمینه ایستگاه‌های پمپاژ آبگیری کشاورزی

در کشور، خودکارسازی در ایستگاه‌های پمپاژ در اغلب موارد به‌صورت نقطه‌ای (کنترل موضعی)، اعم از کنترل دور الکتروموتور[1]، روشن و خاموش کردن موتورپمپ‌ها براساس نیاز آبی، آبدهی ورودی و کنترل تراز مخزن مکش بوده است. این سامانه‌ها از سال‌ها پیش در بیش‌تر شرکت‌های مهندسی مشاور کشور طراحی و مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید توجه نمود که براساس منحنی‌های پمپاژ، استفاده از یک دستگاه کنترل دور برای هدف تنظیم آبدهی و فشار توصیه می‌شود. توصیه می‌شود در ایستگاه‌های پمپاژ با پمپ‌های موازی بر اساس منحنی پمپاژ و در صورت نیاز کل پمپ‌ها به کنترل دور مجهز شوند. استفاده از سطح‌سنج در ایستگاه‌های پمپاژ مانند دشت سلسی، برخی از ایستگاه‌های دشت مغان، ایستگاه پمپاژ صفرین و ...، برای جلوگیری از سرریز مخزن یا پایین افتادن آب از سطح مجاز فعالیت پمپ‌ها انجام شده است. در ادامه چند نمونه از سامانه‌های خودکار که در ایستگاه‌های پمپاژ بخش کشاورزی استفاده شده است، ارائه می‌شود.

جدول پ.۱-۳- نمونه‌ای از سامانه‌های خودکار در ایستگاه‌های پمپاژ بخش کشاورزی

نام طرح	توضیحات	سال
پروژه بیله‌سوار مغان	– وسعت اراضی ۳۳۰۰ هکتار در استان اردبیل، آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک – استفاده از روش کنترل دور (به‌جای کنترل فشار)- با دستگاه کنترل دور Vacon و با استفاده از روش تناسبی-انتگرالی- دیفرانسیلی (PID) برای کنترل ۵ پمپ به شکل موازی – استفاده از حس‌گر فشار بر روی کالکتور خروجی و انتقال داده‌ها به کنترل‌گر دور – یکی از پروژه‌های موفق در زمینه کاربرد خودکارسازی در ایستگاه‌های پمپاژ	بهره‌برداری ۱۳۸۴
ایستگاه‌های پمپاژ شبکه آبیاری آیدوغموش میانه	– مرحله‌ای بودن سامانه پمپاژ (مسافت زیاد بین ایستگاه اصلی و ایستگاه‌های دیگر) – پیشنهاد مشاور مربوطه استفاده از سطح‌سنج (level switch) و پایش از راه دور و کنترل خودکار – انتقال اطلاعات به مرکز کنترل، تحلیل و ارسال فرامین به ایستگاه‌های پمپاژ	آغاز عملیات اجرایی اردیبهشت ۱۳۹۶
طرح آبگیری از رودخانه ارس	– آبگیری دو مرحله‌ای: مرحله اول انتقال آب به حوضچه رسوب‌گیر توسط پمپ‌های مستغرق در رودخانه، مرحله دوم انتقال با پمپ‌های سانتریفوژ دو مکشه به مخزن تنظیمی بالادست – طراحی حوضچه رسوب‌گیر به صورت مخزن بین دو ایستگاه پمپاژ و استفاده از سطح‌سنج و جریان‌سنج برای کنترل خودکار و اندازه‌گیری آبدهی تحویلی	اتمام مطالعات

1- Frequency Control Driver- FCD یا Variable Frequency Drivd (VFD)

پ.۱-۲-۴-۱- مثال عینی از یک پروژه

در این قسمت ایستگاه پمپاژ آبگیری از رودخانه سیمره به عنوان یک مثال عینی از یک پروژه در دست بهره‌برداری تشریح می‌شود (شکل ۳-۳۵ و شکل پ.۱-۱۰). این ایستگاه پمپاژ شامل دو واحد مجزا برای آب‌رسانی به دو دشت با تعدادی روستا بوده که هر واحد شامل چندین دستگاه الکتروپمپ با ارتفاع پمپاژ حدود ۱۵۰ متر و آبدهی یکسان پمپ ه به صورت موازی است. آب پمپاژ شده توسط هر واحد ایستگاه پمپاژ با یک خط لوله فولادی به طول حدود ۲ کیلومتر به یک مخزن تعادلی منتقل شده و سپس از مخزن تعادلی با خطوط لوله آب‌رسانی به اراضی تحت پوشش طرح انجام می‌شود. با توجه به وجود مخزن تعادلی و ضرورت تنظیم آبدهی مصرفی از مخزن تعادلی با آبدهی پمپاژ، پیش‌بینی سیستم خودکار برای این امر ضروری است. همان‌طوری که بیان‌شد، ارتفاع پمپاژ تا اندازه‌ای زیاد بوده و شیوه‌های متداول تنظیم آبدهی شامل استفاده از شیر تنظیم آبدهی یا سرریز با توجه به هزینه زیاد پمپاژ منطقی و اقتصادی نیست.

شکل پ.۱-۱۰- ایستگاه پمپاژ و خط‌لوله انتقال به ارتفاع حداقل ۱۵۰متر از رودخانه سیمره

پ.۱-۲-۴-۲- کنتر ل محلی ایستگاه پمپاژ

کنترل محلی ایستگاه پمپاژ مطابق دیاگرام P & ID انجام می‌شود. این کنترل با قرائت تراز سطح آب حوضچه مکش، قرائت حس‌گر فشار لوله‌های مکش، قرائت حس‌گرهای فشار لوله‌های رانش، و قرائت سیگنال‌های کنترلی و حفاظتی موتورپمپ‌ها انجام می‌شود.

پ.۱-۲-۴-۳- تابلوی کنترل

در تلمبه‌خانه اینترلاک‌ها در PLC تحقق می‌یابد. در اتاق کنترل به ازای هر واحد ایستگاه پمپاژ یک رایانه صنعتی با کلیه لوازم جانبی و نرم‌افزارهای لازم، همراه با برنامه‌نویسی PLC نصب شده که به منظور راه‌اندازی موتورپمپ‌ها و همچنین پایش ایستگاه پمپاژ همراه با قابلیت نمایش و ثبت ذخیره تمامی سیگنال‌های دستگاه‌های اندازه‌گیری و چراغ

سیگنال‌هایی که وضعیت الکتروپمپ‌ها (روشن/خاموش/آماده) و شیرهای برقی مربوطه (باز/بسته) را نشان‌می‌دهند، عمل می‌کند. بنابراین کاربر از کیفیت کار کلیه قسمت‌ها و تجهیزات تلمبه‌خانه‌ها اطلاع حاصل می‌نماید. دکمه قطع هشدار (Reset)، نیز بر روی تابلوی کنترل قرار دارد. هشدار توسط دکمه Reset برطرف می‌شود، یا با گذشت زمان مناسب و قابل تنظیم حذف می‌گردد ولی چراغ سیگنال مربوطه تا رفع کامل خطا، روشن باقی خواهد ماند.

پ.۱-۲-۴-۴- اصول بهره‌برداری

مبنای اصلی سامانه کنترل، فعالیت صحیح الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی است که برخی از این مبانی عبارتند از، باز و بسته شدن شیرهای رانش با وضعیت الکتروپمپ نظیر آن‌ها. هنگام روشن شدن الکتروپمپ، شیر رانش باید بسته باشد. پس از روشن شدن الکتروپمپ و رسیدن آن به دور نامی، شیر با زمان‌بندی خاصی باز می‌شود. همین‌طور برای خاموش شدن پمپ ابتدا شیر مذکور بسته و سپس الکتروپمپ خاموش می‌گردد. شرایط بحرانی، از این قاعده مستثنی بوده و امکان خاموش شدن الکتروپمپ‌ها به طور هم‌زمان وجود دارد. باز و بسته شدن شیر باید در زنجیره استارت و استوپ قرار گیرد.

پ.۱-۲-۴-۵- مکانیزم کنترل الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی

به طور کلی کنترل و راه‌اندازی سامانه به دو طریق دستی و خودکار امکان‌پذیر است برای این منظور یک کلید انتخاب دو حالته (دستی/خودکار) پیش‌بینی گردیده تا امکان راه‌اندازی دستی (خارج از PLC) فراهم گردد.

با توجه به رزرو بودن یک دستگاه از الکتروپمپ‌ها، سامانه کنترل باید به نحوی طراحی گردد که همیشه یک دستگاه الکتروپمپ در زمان کارکرد مابقی پمپ ها خاموش باشد.

مبنای اصلی سامانه کنترل، فعالیت صحیح الکتروپمپ‌ها و شیرهای برقی است. باز و بسته شدن شیرهای برقی خروجی هر خط پمپاژ با وضعیت الکتروپمپ آن خط در ارتباط است.

برای پرکردن خط انتقال لازم است شیر خروجی خطوط پمپاژ بسته بوده و پس از راه‌اندازی یک دستگاه الکتروپمپ و با باز کردن تدریجی شیر رانش اقدام به پر کردن خط انتقال نمود.

برای جلوگیری از پدیده ضربه قوچ باید بعد از رسیدن پمپ به دور نامی، شیر برقی باز شود، زمان رسیدن پمپ به دور نامی و باز شدن شیر برقی توسط یک ترانسمیتر فشار که دارای دو کنتاکت است و یکی برای فشار بالا (PSH) و دیگری برای فشار بحرانی بالا (PSHH) در نظر گرفته شده، مشخص می‌گردد. بدین ترتیب با فعال شدن کنتاکت مربوط به فشار بالا، شیر برقی که در خروجی هر الکتروپمپ وجود دارد شروع به بازشدن می‌کند؛ اگر فرایند بازشدن شیر برقی طول کشیده و موجب افزایش بیش از حد مجاز فشار در خروجی پمپ گردد، فرمان خاموش شدن الکتروپمپ و شیربرقی و قطع مکانیزم راه‌اندازی صادر می‌شود، که در این حالت کنتاکت مربوط به فشار بحرانی بالا فعال می‌گردد.

همچنین برای هر یک از شیرهای برقی کلیدهای حدی باز/بسته و کلیدهای حدی گشتاور تعبیه گردیده که به ترتیب جهت اعلام وضعیت شیر و اندازه‌گیری نیروی اعمالی به محور شیر در هنگام باز/بسته شدن استفاده می‌گردد،

چنانچه این نیرو از حد تعریف شده فراتر رود، کلیدهای حدی گشتاور فعال شده و سیگنالی را به مدار فرمان ارسال می‌کنند. این سیگنال بلافاصله موجب توقف شیر برقی و خاموش شدن الکتروپمپ و فعال شدن سیگنال خطا و هشدار می‌گردد. برای شیرهای دستی لوله‌های مکش، میکروسوئیچ جهت اعلام وضعیت (باز/بسته) تعبیه گردیده تا جلوی راه‌اندازی موتورپمپ در حالت شیر بسته مکش گرفته شود.

برای اندازه‌گیری سطح آب در حوضچه مکش و آگاهی از شرایط بحرانی مانند «حداقل بحرانی»، «حداقل مجاز»، «حداکثر مجاز» و «حداکثر بحرانی» روی حوضچه مکش ترانسمیتر سطح نصب گردیده که در آن کنتاکت‌هایی جهت تامین این سوئیچ‌ها وجود دارد.

در ورودی هر یک از پمپ‌ها یک کلیدی حدی فشار یک کنتاکته برای فشار پایین (PSL) درنظر گرفته شده است که در صورت کاهش فشار ورودی به پمپ فرمان قطع دهد و از خشک کار کردن پمپ جلوگیری کند.

پ.۱-۲-۵- کنترل کلی ایستگاه پمپاژ براساس مصرف آب

علاوه بر کنترل محلی ایستگاه پمپاژ که در بالا تشریح شده به منظور کنترل خودکار ایستگاه پمپاژ با نیاز آبی پایین‌دست و جلوگیری از کمبود آب یا سرریز آب در مخزن تعادلی، سامانه خودکار کارکرد ایستگاه پمپاژ با سطح آب مخزن تعادلی پیش‌بینی شده است.

برای این منظور در مخزن تعادل یک سطح‌سنج آلتراسونیک نصب شده تا تراز سطح آب مخزن را قرائت نماید. تراز سطح آب قرائت شده وارد یک PLC شده و این PLC تراز را به یک دستگاه GSM MODEM منتقل نموده و از طریق GSM MODEM تراز سطح آب مخزن تعادلی به GSM MODEM ایستگاه پمپاژ منتقل می‌شود. GSM MODEM ایستگاه پمپاژ با یک دستگاه کارت دیجیتال خروجی تراز سطح آب را از GSM MODEM دریافت نموده و به سیستم PLC ایستگاه پمپاژ تحویل می‌دهد. سیستم PLC ایستگاه پمپاژ بر اساس تراز سطح آب و بر اساس فلسفه کنترل به شرح زیر اقدام به خاموش و روشن کردن موتور پمپ‌ها خواهد نمود.

۱- تراز سطح آب L: اقدام به راه‌اندازی یک دستگاه موتورپمپ اضافی
۲- تراز سطح آب LL: این تراز به معنی عدم امکان تامین میزان مصرف با ظرفیت ایستگاه پمپاژ است که با پیام اخطار به بهره‌بردار اعلام می‌شود که نیاز پایین‌دست باید کاهش یابد
۳- تراز سطح آب H: خاموش کردن یک دستگاه موتور پمپ
۴- تراز سطح آب HH: خاموش کردن یک دستگاه دیگر موتورپمپ‌ها و به ترتیب سایر موتورپمپ‌ها در صورت عدم کاهش سطح آب از HH

لازم به ذکر است که برق مورد نیاز سیستم قرائت و کنترل و ارسال سطح آب مخزن تعادل کم و از این‌رو برق مصرفی با یک سلول خورشیدی مجهز به باتری تامین می‌شود.

پ.۱-۳- وضعیت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تجربیات موجود

بیش‌تر شبکه‌های ساخته‌شده دارای مشکلات زیادی در بهره‌برداری هستند که موجب کاهش کارآمدی آن‌ها شده است. بخش وسیعی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور (حدود ۴۰ درصد مساحت کل شبکه‌های ساخته‌شده) با قدمت بیش از ۳۰ سال بوده که با توجه به عمر کمابیش طولانی که از زمان ساخت آن‌ها می‌گذرد دارای مشکلات و محدودیت‌های هستند. ماهیت مشکلات در شبکه‌های آبیاری مربوط به شرایط جغرافیایی و توپوگرافی، شرایط زمین‌شناسی و آب و هوایی، و مشکلات فرهنگی-اجتماعی و سیاسی است.

خودکارسازی در سطح شبکه‌های اصلی با توجه به اهمیت آن‌ها (از دیدگاه حجم و سطح زیر پوشش) و سایر مشخصات نظیر امکان تامین برق و حفاظت و نگهداری (با توجه به محدود بودن تعداد نقاط و گلوگاه‌های حساس) نسبت به شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی از وضعیت مناسب‌تری برخوردار است. توجه به این‌که امکان‌سنجی خودکارسازی در بستر شبکه‌های آبیاری موجود، نیاز به بررسی وضعیت سازه‌های هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری دارد، در ادامه به وضعیت شبکه‌های آبیاری از دیدگاه سازه‌های تنظیم و تحویل آب اشاره شده است. نمونه‌هایی از انواع سازه‌ها و تجهیزات کنترل سطح آب، تنظیم آبدهی و اندازه‌گیری جریان که به طور معمول در شبکه‌های آبیاری کشور مورد استفاده قرار گرفته است در جدول (پ.۱-۴) مشاهده می‌شود.

جدول پ.۱-۴- برخی از انواع سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور

تنظیم‌کننده سطح آب	تنظیم‌کننده آبدهی	سازه‌های اندازه‌گیری جریان
تیرک آب‌بند	دریچه‌کشویی	فلوم‌ها (فلوم گلو بلند، فلوم گلو بریده)
دریچه‌های کشویی	سازه‌های تقسیم به نسبت	سرریز لبه‌تیز
دریچه‌های قطاعی	سرریز لبه‌پهن متحرک	سرریز لبه‌پهن
سازه‌های خودکار هیدرولیکی (آمیل، آویس و ...)	روزنه لبه گرد	سرریز لبه‌پهن متحرک
سرریز	روزنه با بار ثابت (CHO)	روزنه لبه‌گرد
سرریز شکاف‌دار[1]	دریچه‌های مدول نیرپیک	روزنه با بار ثابت
-	-	دریچه‌های مدول نیرپیک
-	-	پارشال فلوم
-	-	سرریزهای هندسی (ذوزنقه‌ای، مثلثی، مستطیلی)

عموم شبکه‌های مدرن کشور مجهز به سازه‌های کنترل هستند؛ اما شبکه‌های انتقال محدودی مجهز به سازه‌های کنترل قابل تنظیم بوده که به‌صورت دستی (سازه‌های کشویی یا قطاعی) یا هیدرولیکی (آمیل و آویس) بهره‌برداری

1- Control Notch

می‌شوند. در تمامی شبکه‌های آبیاری روباز مجهز به سازه قابل تنظیم در کشور، به‌جز تعداد محدودی مانند کانال اصلی شبکه آبیاری قزوین، شبکه آبیاری و زهکشی دشت فیروزآباد و شبکه آبیاری میانکنگی در سیستان و بلوچستان که فرآیند تنظیم آن‌ها با استفاده از سازه‌های خودکار هیدرولیکی است، بقیه به‌صورت دستی یا دستی به کمک الکتروموتور بهره‌برداری می‌شوند. جدول (پ.۱-۵) وضعیت شبکه‌های مدرن آبیاری از لحاظ سازه‌های تنظیم سطح آب و کنترل جریان آبگیری وضعیت بهره‌برداری از این شبکه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول پ.۱-۵- وضعیت شبکه‌های آبیاری مدرن از لحاظ سازه‌های تنظیم

ردیف	مشخصات	تعداد شبکه	تعداد سازه	
			حداقل	حداکثر
۱	شبکه دارای دریچه‌های تنظیم کشویی	۶۲	۲	۱۴۸۰
۲	شبکه دارای دریچه‌های تنظیم قطاعی	۳۴	۱	۹۹
۳	شبکه دارای آمیل	۱۳	۱	۵۰
۴	شبکه دارای آویس	۹	۲	۹
۵	شبکه دارای دریچه‌های آبگیر کشویی ساده	۳۷	۱	۲۰
۶	شبکه دارای دریچه‌های آبگیر روزنه ثابت (CHO)	۶	۲	۲
۷	شبکه دارای دریچه‌های مدول (نیرپیک)	۲۵	۸۸	۱۴۹
۸	شبکه دارای پارشال فلوم	۱۳	۱۰	۱۰
۹	شبکه دارای سرریز	۵۷	۴۹	۷۳
۱۰	شبکه دارای ادوات الکترونیکی	۱	۱۲	۱۲

سطح آب و کنترل جریان آبگیری*

*کمیته ملی آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۱۶۱

پ.۱-۴- ابزار و ادوات سامانه‌های ابزاردقیق، کنترلی و مخابراتی تولید داخل

در ابتدا در مورد تجهیزات الکترونیکی و امکان ساخت آن‌ها در داخل کشور نکاتی ارائه می‌شود که قابل توجه هستند:

۱- ابزار و ادوات الکترونیکی و کنترلی برخلاف ابزار و ادوات مکانیکی، وابستگی زیادی به صنعتی که در آن استفاده می‌شوند، ندارند. به‌عبارتی، ابزار و ادوات الکترونیکی که در صنعت فولاد استفاده می‌شوند با ابزار و ادواتی که در صنعت سیمان یا صنعت برق یا طرح‌های آب‌رسانی استفاده می‌شوند، تفاوت چندانی ندارند. درحالی‌که ابزار و ادوات مکانیکی و سازه‌های به‌کاررفته در این صنایع، به حدی با هم متفاوت هستند که در عمل استفاده از ادوات یک صنعت در صنایع دیگر را غیرعملی می‌کند. ابزار الکترونیکی و کنترلی توسط سیگنال‌های الکتریکی با سامانه تحت‌کنترل خود ارتباط دارند، از این‌رو برای این ابزار، نحوه پردازش سیگنال‌های ورودی و تولید سیگنال‌های لازم خروجی، اهمیت دارد و نه فرایند تحت کنترل؛ ازاین‌رو، این ادوات به قدر کفایت، انعطاف‌پذیری لازم جهت انطباق با انواع سامانه‌ها را دارا هستند.

۲- در خصوص ابزاردقیق هم با محدودیت‌های مختصری، همین موضوع صحت دارد. به طور مثال، برای اندازه‌گیری سرعت و تراز سطح یک سیال با حس‌گر آلتراسونیک، این‌که سیال عبوری آب باشد یا روغن خوراکی یا نفت چندان تفاوتی ایجاد نمی‌کند.

۳- سامانه‌های الکترونیکی، متشکل از قطعات و مدول‌هایی هستند که درحال حاضر و زمان تدوین راهنما در داخل کشور تولید نمی‌شوند. درصورت تامین این‌گونه قطعات و حس‌گرها، شرکت‌های ایرانی فعال در زمینه الکترونیک، کنترل و مخابرات می‌توانند هر سامانه الکترونیکی را با کیفیت روز دنیا طراحی و پیاده‌سازی کنند.

در بخش‌های قبلی نمونه‌هایی از پروژه‌های اجرا شده در زمینه طرح‌های آبیاری و زهکشی بررسی شد. اگر پروژه‌های دیگر در زمینه‌های آب و فاضلاب، کنترل سیستم‌های برق منطقه‌ای، پروژه‌های مخابراتی و پروژه‌های سیستم‌های انتقال نفت و گاز را مدنظر قرار دهیم، مشاهده می‌شود که در تمام این پروژه‌ها، بهره‌گیری از سامانه‌های اسکادا و کنترل از راه دور، در سطح وسیعی اجرا شده است. براساس اطلاعاتی که در این پروژه‌ها وجود دارد، طراحی و ساخت تجهیزات به شرح زیر بوده است:

۱- طراحی و ساخت بردهای پردازنده اصلی؛ این بردها عملیات جمع‌آوری و پردازش اطلاعات را برعهده دارند. ساختار نرم‌افزاری آن‌ها به‌صورت هم‌زمان[1] عمل می‌کند و به‌صورت پیش‌فرض از پروتکل IEC 60870-5-101 برای ارتباط با بالادست در آن‌ها استفاده می‌شود. پروتکل‌های Modbus، DNP3.0، IEC 60870-5-104، Indactic 2033 و Hitachi HDLC نیز در پروژه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است و امکان افزودن پروتکل‌های دیگر نیز حسب نیاز پروژه‌های خاص وجود دارد.

۲- بردهای ورودی و خروجی که از طریق باس (گذرگاه[2]) یا به‌صورت مستقیم از طریق Backplane به برد پردازنده اصلی متصل می‌شوند و اطلاعات را در اختیار آن قرار داده، یا فرامین را از آن دریافت می‌کنند. برای انواع مختلف سیگنال‌های ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال، بردهای مناسب طراحی شده است که بسته به شرایط پروژه قابل انتخاب هستند.

۳- سامانه‌های پردازنده اصلی دارای قابلیت‌های مخابراتی و ارتباطی هستند، ولی درکنار این امکان، در جایی که نیاز به بردهای مبدل پروتکل نیز باشد، آن‌ها نیز طراحی شده‌اند که قابلیت جمع‌کردن و متمرکزکردن اطلاعات[3] و تبدیل پروتکل‌ها[4] را نیز دارند. به این ترتیب به‌راحتی می‌توان از این ترمینال‌ها به‌عنوان ایستگاه

1- Real-time Processing
2- Bus
3- Data Concentrator
4- Protocol Converter

متمرکزکننده اطلاعات چند نقطه در سامانه، یا واحد پایانه اصلی (MTU[1]) یا دروازه ارتباطی[2] در سامانه‌های خودکار استفاده نمود.

۴- طراحی و ساخت بردهای عمل‌گر[3]، جهت به حرکت درآوردن تجهیزاتی مثل پمپ و موتورها؛ این تجهیزات در پروژه‌های خودکارسازی مورد استفاده قرارگرفته‌اند و در پروژه‌های آبیاری نیز نیاز به چنین تجهیزاتی وجود دارد.

۵- از موارد مهم دیگر، طراحی و ساخت تجهیزات الکترونیک قدرت است. در این زمینه انواع متنوعی از تجهیزات طراحی و تولید شده است که برخی از این تجهیزات عبارتند از:

- انواع UPSهای صنعتی، جهت تداوم عملکرد سامانه درصورت بروز مشکل در سامانه برق‌رسانی
- انواع دستگاه‌های کنترل دور موتور AC، از توان‌های بسیار کم (یک دوم اسب) تا توان‌های بالا (حدود ۵۰۰KW)
- انواع منابع تغذیه در شکل‌های خطی و سویچینگ، جهت تغذیه سامانه‌های کنترل
- انواع شارژرهای صنعتی
- تجهیزات لازم جهت استفاده از سلول‌های خورشیدی جهت تامین انرژی؛ این تجهیزات با قابلیت MPPT[4] می‌توانند حداکثر توان لازم را از سلول‌های خورشیدی کسب‌کنند. همچنین قابلیت اتصال به شبکه را نیز دارند و بدین ترتیب، سامانه‌های کنترل این قابلیت را پیدا می‌کنند که از سلول‌های خورشیدی جهت تامین انرژی سامانه‌های تحت کنترل استفاده کنند.

پ.۱-۵- ارزیابی و جمع‌بندی تجربیات موجود

بیش‌تر شبکه‌های آبیاری بهره‌برداری شده در کشور، یا بر اساس طراحی آمریکایی (مدل‌های USBR) مانند شبکه آبیاری دز و درودزن یا بر اساس طراحی فرانسوی (مدل Cemagref) مانند شبکه آبیاری سفیدرود طراحی شده‌اند. سازه‌های به‌کار رفته در شبکه‌های آبیاری طبق مدل آمریکایی، بیش‌تر به شکل کشویی و قطاعی هستند و تعدادی از آن‌ها، به خصوص در مواردی که سازه‌ها بزرگ هستند، به الکتروموتور مجهز شده‌اند. از طرف دیگر، شبکه‌های آبیاری منطبق با مدل فرانسوی، دارای سازه‌های آب‌بند صلب غیرقابل تنظیم مانند سرریزهای نوک مرغابی و سرریزهای طویل و

1- Master Terminal Unit
2- Gateway
3- Actuator
4- Maximum Power Point Tracking

آمیل است که این نوع سازه‌ها نیز به‌صورت خودکار هیدرولیکی بهره‌برداری می‌شوند ولی قابلیت تنظیم در نقطه هدف جدید و کنترل از راه دور را ندارند.

همان‌طورکه پیش‌تر ذکر گردید، تعداد دیگری ازشبکه‌های آبیاری کشور، نظیر قزوین، دشت فیروزآباد و ... نیز دارای سازه‌های خودکار هیدرولیکی نظیر آمیل و آویس هستند که به صورت خودکار تنظیم می‌شوند. این سازه‌ها در اغلب موارد با توجه به شرایط خاص بهره‌برداری از آن‌ها که امکان دخالت انسان را ممکن می‌سازد، موجب بروز مشکلاتی در شبکه‌های آبیاری که از آن‌ها بهره می‌گیرند، شده است. این سازه‌ها دارای وزنه‌هایی برای تثبیت تراز آب و شرایط هیدرولیکی در پایین‌دست و بالادست خود بوده که نیاز به واسنجی منظم دارند ولی معمولا انجام نمی‌گیرد. همچنین با توجه به قابل دست‌کاری بودن آن‌ها، در اغلب موارد توسط زارعین جهت افزایش یا کاهش جریان خروجی از آن، دخل و تصرف صورت می‌گیرد.

بررسی وضعیت کلی شبکه‌های آبیاری مدرن از دیدگاه سازه‌های تنظیم و تحویل آب نشان می‌دهد، که بیش‌تر شبکه‌های کشور از دیدگاه سازه‌های هیدرولیکی قابل تنظیم، بسترهای لازم برای سامانه‌های تنظیم خودکار را دارا هستند. طبق بررسی‌ها تعدادی از شبکه‌ها دارای انرژی برق، به‌ویژه در کانال اصلی برای بازکردن و بستن سازه‌های آب‌بند قابل تنظیم هستند.

- در سطح شبکه‌های آبیاری روباز کشور، خودکارسازی در قالب مدل‌های ریاضی کنترل و به‌صورت نظری کارشده است. در این خصوص مدل‌های کنترلی متفاوتی ارائه شده است.
- مطالعات نشان می‌دهد تعدادی از شبکه‌های آبیاری (ثقلی) از تجهیزات خودکار هیدرولیکی (نظیر آمیل‌ها و آویس‌ها و سرریزهای ثابت) استفاده می‌نمایند که قابلیت پایش و کنترل توسط سامانه‌های کنترل مرکزی یا اسکادا را ندارند.
- در تعداد قابل توجهی از شبکه‌های آبیاری در حال بهره‌برداری به خصوص در کانال‌های اصلی از سازه‌های قابل تنظیم (دستی یا مجهز به الکتروموتور) نظیر سازه‌های قطاعی و سازه‌های کشویی استفاده شده است. در این شبکه‌ها، امکان تجهیز شبکه‌ها به ابزارها و سامانه‌های لازم (مدرن‌سازی) و در نتیجه بهره‌گیری از سامانه خودکار مبتنی بر PLC/RTU وجود دارد.
- طرح تجهیز نقاط هدف به ابزارهای اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های آبیاری کشور (در نقاط حساس و ورودی‌ها) در حال انجام بوده که در این طرح با توجه به بهره‌گیری از فناوری‌های مدرن اندازه‌گیری، انتقال اطلاعات و نمایش آن‌ها یکی از طرح‌های مهم در شبکه‌های آبیاری کشور در شرایط کنونی است.
- بررسی نوع تجهیزات الکترونیکی به‌کار گرفته شده در شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار و تجهیزات اندازه‌گیری در شبکه‌های آبیاری ثقلی نشان می‌دهد بیش‌تر این تجهیزات از کشورهای خارجی وارد شده و در شبکه‌ها نصب می‌گردد.

- بررسی روش‌های خودکار استفاده شده در سطح مزرعه نشان می‌دهد، علی‌رغم این‌که خودکارسازی شبکه‌های تحت‌فشار در سطح مزرعه از توسعه نسبتا بیش‌تری برخوردار بوده ولی با توجه به پتانسیل و وضعیت موجود در شبکه‌ها از لحاظ فرهنگی و اجتماعی از یک طرف و امکان تولید و پشتیبانی تجهیزات مرتبط با سامانه‌های خودکار در کشور از طرف دیگر، هنوز مسیر طولانی برای تحقق کامل این امر وجود دارد.
- طبق بررسی‌ها، بیش‌تر ایستگاه‌های پمپاژ در سطوح مختلف به صورت خودکار طراحی می‌شوند. رایج‌ترین سطح خودکارسازی در بخش ایستگاه پمپاژ استفاده از ترازسنج[1] است که جز سامانه‌های خودکار موضعی تلقی تلقی می‌گردد.
- خودکارسازی در کشور در هیچ شبکه آبیاری به‌طور کامل و مرکزی انجام نشده است و به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته در شبکه‌ها به‌صورت موردی و از سوی شرکت‌های دولتی بوده است.
- اگر چه کشور از لحاظ تولید و تجهیزات مرتبط با خودکارسازی (به‌خصوص تجهیزات اندازه‌گیری) در سطح نسبتا خوبی قرار دارد و در بعضی از شبکه‌ها این‌گونه تجهیزات به‌کار گرفته می‌شوند، اما هنوز شرکت‌هایی که به‌طور تخصصی در این زمینه فعالیت کنند، نادر هستند و شاید برای ساخت، تولید و تامین برخی فناوری‌ها نیاز به انتقال آن از خارج از کشور باشد. بنابراین تشویق بخش صنعتی به تولید تجهیزات لازم در این بخش ضروری به نظر می‌رسد.

تجربه اجرای پروژه‌های موجود و همچنین پروژه‌های شکست خورده نشان می‌دهد، اگرچه مشکلاتی مثل موارد ذکر شده می‌توانند پروژه‌ها را به شکست بکشانند، ولی مشاهده شده است که در موارد زیادی پروژه‌ها نه به علت مشکلات ذکرشده بلکه به دلایل دیگری به انجام نرسیده‌اند. برخی از عوامل این شکست‌ها عبارتند از:

- اکثر پروژه‌های کنترلی و الکترونیکی، تعریف مشخصی ندارند و برای این پروژه‌ها شرح خدمات مشخص و مستدلی وجود ندارد. در بیش‌تر این پروژه‌ها، برای تعریف پروژه از خود پیمانکاران کمک گرفته می‌شود و برآوردهای انجام‌شده از این طریق، گاهی فاصله دوری از واقعیت دارد. دراین‌حالت یا پیمانکاران بعد از عقد قرارداد قادر به اتمام پروژه نیستند، یا از نظر زمانی، تاخیر بسیار زیادی را به سیستم تحمیل می‌کنند یا پروژه را با تجهیزات بی‌کیفیت به اجرا در می‌آورند.
- عدم نظارت؛ پروژه‌های الکترونیکی و کنترلی به دلایل فوق و عدم مشخص‌شدن محدوده‌های کار و مشخصات آن، در مسیری غیر از آنچه پیش‌بینی شده، پیش می‌روند و نبود نظارت کافی و عدم اطلاع کامل ناظرین احتمالی از جزییات پروژه، در عمل راه را برای بروز انواع اختلالات در اجرای پروژه هموار می‌سازد.

1- Level Switch

- عدم ارزیابی دقیق پیمانکاران در پروژه‌ها؛ روش مشخصی برای ارزیابی توانایی پیمانکاران الکترونیکی و کنترلی وجود ندارد و در مناقصات پارامتر اصلی، قیمت پیشنهادی درنظر گرفته می‌شود. این نحوه انتخاب پیمانکار یکی از عوامل اصلی عقیم‌ماندن پروژه‌های الکترونیکی و کنترلی است.

برای به‌ثمر رسیدن پروژه خودکارسازی، باید این موارد و موانع به دقت شناسایی شده و راه‌حل‌هایی ارائه شود که پروژه‌ها بر اساس شرح خدمات مشخص، به افراد واجد شرایط واگذارشده و درطی اجرای پروژه، نظارت دقیقی از کیفیت اجرا و تطبیق روند اجرا با روند پیش‌بینی شده به‌عمل آید.

پیوست ۲

فرم ارزیابی

«راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی»

«بازبینه»

هدف اصلی راهنما: هدف این ضابطه ارائه روش شناخت و بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار مناسب شبکه‌های آبیاری کشور بوده و راهکارهای عملی و مبتنی بر تجارب ملی و بین‌المللی برای شبکه‌های مدرن و سنتی در حال بهره‌برداری و همچنین راهنمای عملی برای طراحان شبکه‌های آبیاری در دست مطالعه را ارائه می‌نماید. این ضابطه با هدف تامین اطلاعات کاربردی مرتبط با تجهیزات کنترلی خودکار و سامانه نظارتی در شبکه‌های آبیاری کشور برای کلیه ذی‌نفعان اعم ازمهندسان مشاور، مدیران اجرایی شبکه‌ها و شرکت‌های بهره‌برداری تدوین شده است.

۱- آیا با «طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب و آبفا» آشنایی دارید؟

بلی ☐ خیر ☐ تا حدودی ☐

۲- در صورت آشنایی، میزان استفاده شما از استانداردها و ضوابط منتشر شده این طرح درارتباط با سامانه آبیاری به چه مقدار است؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۳- میزان اثرگذاری استانداردها و ضوابط مرتبط با آبیاری و زهکشی را در بهبود و ارتقای امور مطالعاتی، اجرایی و بهره‌برداری صنعت آب و آبفا چگونه ارزیابی می‌کنید؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۴- آیا با «سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی» آشنایی دارید؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۵- در صورت آشنایی، نیاز سازمان یا فعالیت شما جهت استفاده از سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری و زهکشی چقدر است؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۶- مطالب این راهنما تا چه حد منطبق بر نیازهای خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی منطقه شما است؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۷- شفافیت و کاربردی بودن راهکارهای ارائه شده در این ضابطه را تا چه میزان عملی می‌دانید؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۸- میزان اثرگذاری ضوابط ارئه شده در «راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی» در بهبود و ارتقای امور مطالعاتی، اجرایی و بهره‌برداری را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

۸-۱- مطالعه و طراحی:

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۸-۲- بهره‌برداری:

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۹- میزان شفافیت ارائه شده در عوامل و اجزای تاثیرگذار در بهره‌برداری از سامانه خودکار چقدر است؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۱۰- میزان شفافیت در مبانی کنترلی و بهره‌برداری خودکار سامانه آبیاری چقدر است؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۱۱- آیا مطالب سامانه کنترل نظارتی و جمع‌آوری اطلاعات (اسکادا) مفید بوده است؟

زیاد ☐ متوسط ☐ کم ☐

۱۲- مهم‌ترین نقاط قوت این راهنما کدام است؟

.....

.....

.....

.....

۱۳- مهم‌ترین نقاط ضعف این راهنما چیست؟

.....

.....

.....

.....

۱۴- لطفا پیشنهادات و نقطه نظرات خود را در خصوص عناوین ضوابط مورد نیاز و نوع آن (راهنما، دستورالعمل، شرح خدمات) که مرتبط با موضوع راهنمای فوق باشد، بیان نمایید.

.....

.....

.....

.....

لطفا در صورت تمایل مشخصات خود را در این قسمت مرقوم فرمایید:

نام و نام خانوادگی: ..... میزان تحصیلات: ..... محل خدمت: .....

پست سازمانی: ..... پست الکترونیک: ..... شماره تماس: .....

با تشکر

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب و آبفا

منابع و مراجع

1- Task Committee on Recent Advancesm in Canal Automation of the Irrigation Delivery and Drainage Systems, Canal Automation for Irrigation Systems; Manuals and Reports on Engineering Practice No. 131. American Society of Civil Engineers, 2014.
2- B. Wahlin and D. Zimbelman, “Canal Automation for Irrigation Systems: ASCE Manual of Practice Number 131,” Irrig. Drain., vol. 67, no. 1, pp. 22–28, 2018.
3- C. P. Buyalski, D. G. Ehler, H. T. Falvey, D. C. Rogers, and E. A. Serfozo, Canal systems automation manual, Vol.1. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1991.
4- D. Ehler et al., Canal Systems Automation Manual, Vol.2, vol. 2. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1995.
5- M. T. Arefin, M. Banik, I. Rahim, T. Islam, and T. Biswas, “Automated irrigation control system: An advanced approach,” 2012 Int. Conf. Informatics, Electron. Vision, ICIEV 2012, pp. 516–520, 2012.
6- C. M. Burt, “Irrigation District Modernization,” Irrig. Today, vol. 2, no. 3, pp. 20–21, 2018.
7- C. M. Burt, “The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success?,” Irrig. Drain., vol. 62, no. 3, pp. 247–254, 2013.
8- C. M. Burt and S. S. Anderson, Eds., “SCADA and Related Technologies for Irrigation District Modernization,” in A USCID Water Management Conference, 2005, pp. 1–346.
9- C. M. Burt and X. Piao, “Advances in PLC-Based Canal Automation,” in USCID conference on Benchmarking Irrigation System Performance Using Water Measurement and Water Balances, 2002.
10- P. O. Malaterre, “Regulation of irrigation canals - Characterisation and classification,” Irrig. Drain. Syst., vol. 9, no. 4, pp. 297–327, 1995.
11- P. O. Malaterre, “Control of irrigation canals
Numerical Modelling of Hydrodynamics for Water Resources, 2007, pp. 271–292.
12- S. Choy, “Global experience of automation of irrigation systems,” in First India Irrigation Forum (IIF1), 2016.
13- Centeral Water Commision, Guidelines for Planning and Design of Piped Irrigation Network, no. 124. NEW DELHI: MINSITRY OF WATER RESOURCES, RIVER DEVELOPMENT & GANGA REJUVENATION, GOVERNMENT OF INDIA, 2017.
14- E. López-Gunn, B. Mayor, and A. Dumont, “Implications of the modernization of irrigation systems,” in Water, agriculture and the environment in Spain: Can we square the circle, L. De Stefano and M. R. Llamas, Eds. CRC Press, 2012, pp. 241–256.
15- S. M. H. Shahdany, Y. Hasani, Y. Majidi, and J. M. Maestre, “Modern Operation of Main Irrigation Canals Suffering from Water Scarcity Based on an Economic Perspective,” Irrig. Drain. Eng., vol. B4016001, pp. 1–11, 2016.
16- M. K. Salahou, “Review Article Control of an Irrigation Canal,” Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol., vol. 5, no. 15, pp. 3916–3924, 2013.
17- H. A. AbuMteer, “SCADA Irrigation System,” The Islamic University - Gaza, 2007.
18- M. Rijo, “SCADA of an upstream controlled irrigation canal system,” Mod. Irrig. water Deliv. Syst., pp. 123–126, 1999.
19- S. A. Boyer, Scada: Supervisory Control And Data Acquisition, 3rd ed. USA: International Society of Automation, 2004.

20- K. Feist and C. Burt, “SCADA System Maintenance: An Often Overlooked Necessity,” in 11th International Conference on Irrigation and Drainage, 2018.
21- S. Styles and C. Burt, “The ITRC Rapid Appraisal Process (RAP) for Irrigation Districts,” Water Dist. Manag. Gov., pp. 511–518, 2005.
22- C. Burt, Rapid Appraisal Process (RAP) and Benchmarking Explanation and Tools. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, 2001.
23- R. D. Khalsa, “Modernizing Canal Check Structures with BI-Fold Overshot Gates,” in The 27th Annual International Irrigation Show, 2006.
24- P. Ankum and D. Renault, Modernization of Irrigation Systems Canal Operation Techniques. FAO, 2008.
25- D. Renault, T. Facon, and R. Wahaj, Modernizing Irrigation Management-The MASSCOTE Approach. Rome: FAO, 2007.
26- L. H. Yap-Salinas, “Technological Modernization in Irrigated Agriculture Sustainability in Developing Countries,” in Water district management and governance, 2005, pp. 537–546.
27- H. Rahimi, “Modern Irrigation Networks of Iran Workshop Agenda, 2008.
28- “Modernizing Irrigation Services for Water, Food, and Nutrition Security (M&R),” in 3rd World Irrigation Forum, 2019, no. September.
29- S. Layous, S. W. Styles, and R. Bryan, “Case Study River Irrigation District,” in World Environmental and Water Resources Congress, 2018.
30- S. Styles, C. Burt, M. Lehmkuhl, and J. Sweigard, “Case Study: Modernization of the Patterson Irrigation District,” in USCID Workshop on Modernization of Irrigation Water Delivery Systems, 1999, p. 15.
31- “Irrigation modernisation in the Goulburn Murray Irrigation District,” 2007.
32- D. Gensler, R. Oad, and K. Kinzli, “Irrigation System Modernization: Case Study of the Middle Rio Grande Valley,” J. Irrig. Drain. Eng., no. April, pp. 169–176, 2009.
33- R. G. KULKARNI and J. L. DELTOUR, “Majalgaon Dynamic Regulation Pilot Project: A Uniform Approach to Canal Modernisation,” Soc. du Canal Provence, pp. 1–18, 1998.
34- Ö. F. Durdu, “Modernization of Irrigation Systems With Canal Automation in Turkey.,” adü ziraat fakültesi Derg., vol. 6, no. 2, pp. 69–79, 2009.
35- S. Ackaert and S. Walker, “Audit of Water Recovery: Northern Victoria Irrigation Renewal Project,” 2012.
36- S. Walker, “Audit of Water Savings Shepparton and Central Goulburn 1-4,” 2011.
37- J. Plantey and B. Molle, “Performance assessment in the management of ‘ Canal de Provence ’, France,” Irrig. Drain. Syst., vol. 17, pp. 263–284, 2003.
38- B. T. Wahlin and A. J. Clemmens, “Performance of Historic Downstream Canal Control Algorithms on ASCE Test Canal 1,” J. Irrig. Drain. Eng., vol. 128, no. 6, pp. 365–375, 2002.
39- P. J. van Overloop, A. J. Clemmens, R. J. Strand, R. M. J. Wagemaker, and E. Bautista, “Real-Time Implementation of Model Predictive Control on Maricopa-Stanfield Irrigation and Drainage District’s WM Canal,” J. Irrig. Drain. Eng., vol. 136, no. 11, pp. 747–756, 2010.
40- A. J. Clemmens, “SardarSarvor Canal Automation”, Gujarat, 2003.
41- S. W. Styles, R. C. Bryan, and S. Layous, “Case Study: Modernization of the Walker River Irrigation District,” in 10th International Conference on Irrigation and Drainage, 2017.

42- D. Desai and A. Sangomla, “Sardar Sarovar Project faces its toughest challenge,” Down to Earth, 2017. [Online]. Available: https://www.downtoearth.org.in/news/water/sardar-sarovar-s-ta-nker-trail-58912.
43- P. O. Malaterre and C. Chateau, “SCADA interface of the SIC software for easy real time application of advanced regulation algorithms,” in Second Conference on SCADA and Related Technologies for Irrigation System Modernization, 2007, p. 11.
44- N. Bedjaoui, X. Litrico, D. Koenig, and P.-O. Malaterre, “Static and Dynamic Data Reconciliation for an Irrigation Canal,” J. Irrig. Drain. Eng., vol. 134, pp. 778–787, 2008.
45- N. Heydari, “Water and irrigation management in the water-stressed Zayandeh-Rud and Karkheh River Basins, Islamic Republic of Iran,” in International Forum on water resources management and irrigation modernization, 2006, pp. 22–24.
46- A. Omrani, “Water Management in Iran,” Hogeschool-Universiteit Brussel, 2013.
47- D. Downie, “Water Savings Framework for Northern Victoria Irrigation Renewal Project,” 2009.
48- K. Feist, C. Burt, and R. Pierce, “Case Study: West Stanislaus Irrigation District Modernization,” in World Environmental and Water Resources Congress, 2017, no. May 1920.
49- W. Noble, “Commencing the Modernization Project on the Gila Gravity Main Canal,” in A USCID Water Management Conference, 2005, pp. 323–329.
50- S. Roy and R. Chowdhury, “A Case Study on Conversion of Canal Based Irrigation Network System to Pressurized Pipe Based Network System Integrated With Solar Plant,” in 3rd World Irrigation Forum, 2019, no. September, pp. 1–7.
51- T. Shah, S. Krishnan, P. Hemant, S. Verma, A. Chandra, and C. Sudhir, “A Case for Pipelining Water Distribution in the Narmada Irrigation System in Gujarat , India,” 2010.
52- W. E. I. Cui, X. Mu, W. Chen, T. A. Stephens, and B. P. Bledsoe, “Emergency Control Scheme for Upstream Pools of Long-Distance Canals,” Irrig. Drain., vol. 68, no. 2, pp. 218–226, 2018.
53- A. J. Clemmens, R. J. Strand, and E. Bautista, “Field Testing of SACMAN Automated Canal Control System,” in Water district management and governance, 2005, pp. 199–209.
54- S. Fernandez, C. Garces-Restrepo, and A. Vidal, “Improving the Water Service in Irrigation: a Series of Case Studies on Irrigation Modernization,” in 2nd International Conference on Irrigation and Drainage, 2003, pp. 71–86.
55- C. Burt, R. Stoddard, and R. Landon, “Canal Modernization in Central California Irrigation District-Case Study,” in SCADA and Related Technologies for Irrigation District Modernization, 2005, pp. 235–246.
56- D. C. Rogers and J. Goussard, “Canal Control Algorithms Currently In Use,” in International Conference on Water Resources Engineering, 1995.
57- Halcrow Group Ltd, “Research Project R6259 Irrigation Canal Control Final Report of Studies, Vol.1, The Manual.”
58- Halcrow Group Ltd, “Research Project R6259 Irrigation Canal Control Final Report of Studies, Vol.2, The Guideline.”
۵۹- ف. کریمی، م. منعم، و س. هاشمی شاهدانی، «دسته‌بندی شبکه‌های آبیاری کشور براساس مسایل سازه‌های تنظیم و تحویل و ارائه راه‌کارهای مشترک بهبود عملکرد آن‌ها»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۲، شماره ۵، ص ۱۳۰۳-۱۲۹۲، ۱۳۹۷.

۶۰- س. موسوی‌حسنی، م. منعم، و م. واعظ تهرانی، «بررسی تاثیر خودکارسازی شبکه‌ی آبیاری قزوین بر بهبود بهره‌برداری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ۱، ص ۸۰-۹۲، ۱۳۹۶.

۶۱- س. برخورداری، س. هاشمی شاهدانی، و ا. باقرزاده خلخالی، «ارزیابی بهبود راندمان انتقال و توزیع آب کشاورزی در کانال‌های اصلی آبیاری با بهره‌گیری از راهکارهای پوشش‌دار کردن و اتوماسیون»، در پنجمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۹۶.

۶۲- ف. عباسی، ف. سهراب، و ن. عباسی، «ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران»، تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷، شماره ۶۷، ص ۱۱۳-۱۲۸، ۱۳۹۵.

۶۳- م. حسینی‌جلفان و س. هاشمی شاهدانی، «ارزیابی عملکرد خودکارسازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری از دیدگاه آب-انرژی»، در پنجمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۹۶.

۶۴- ترجمه: م. منعم، تغییر رویکرد آبیاری از ساخت و ساز به نوسازی: عوامل موفقیت چیست؟، سی. ام. برت، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۲۰۱۱.

۶۵- ا. یوسف‌گمرکچی و ع. پرورش‌ریزی، «مروری بر روش‌های بهره‌برداری خودکار در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار»، نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱، ص ۹-۲۰، ۱۳۹۶.

۶۶- ا. یوسف‌گمرکچی و س. حقایقی‌مقدم، «نگرشی بر قابلیت سیستم تله متری و اسکادا در سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار»، تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۲۱، شماره ۸۱، ص ۱۳۹-۱۵۷، ۱۳۹۹.

۶۷- ترجمه:، ا. امیری تکلدانی، و ا. صمدی، نوسازی مدیریت آبیاری- نگرش ماسکاته، نشریه آبیاری و زهکشی فائو ۶۳. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۰۰۷.

۶۸- ترجمه: س‌ح. طباطبایی، پ. کاظمی‌مرشت، ع. سلامت، م. یوسفی، ا. ابدی، ی. برقی، ح. ابراهیمیان، س. نیک‌قلب، سامانه‌های آبیاری: طراحی، برنامه‌ریزی و ساخت، نویسنده: آ. لیلاک، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۹۴.

۶۹- معاونت طرح و توسعه، «وضعیت طرح‌های توسعه منابع آب و شبکه‌های آبیاری و زهکشی»، ۱۳۹۴.

۷۰- ک. شاهوردی و م. منعم، «توسعه مدل ریاضی الگوریتم یادگیری تقویتی برای خودکارسازی دریچه آب بند کشویی کانال‌های آبیاری»، در چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۳۹۲.

۷۱- ح. تشیعی و م. محمدی، راهنمای جامع بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب: راهکارهای استقرار سامانه اسکادا در تاسیسات آب و فاضلاب (جلد ۷). مکث نظر، ۱۳۹۵.

۷۲- ح. تشیعی و ع. مبینی‌بیدگلی، راهنمای جامع بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب: راهنمای نگهداری و تعمیرات تاسیسات آب و به‌سازی چاه‌های آب شرب (جلد ۲). مکث نظر، ۱۳۹۵.

۷۳- ز. حسین‌زاده، ز. موسوی، و م. منعم، «مدل دینامیک حاکم بر به کارگیری خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری»، در چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۳۹۲.

۷۴- م. منعم، س. هاشمی‌شاهدانی، و ه. اسلامبول چی‌زاده، «نقش مدیریت بهره‌برداری مخازن درون مسیری دربهبود بهره‌برداری شبکه آبیاری مغان»، پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، جلد ۳۱، شماره ۴، ص ۵۳۵-۵۴۵، ۱۳۹۶.

۷۵- پژوهشگاه نیرو، راهنمای طراحی سیستم‌های فتوولتاییک به منظور تامین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری (ضابطه شماره ۶۶۷). وزارت نیرو، معاونت نظارت راهبردی، ۱۳۹۳.

۷۶- گروه کار توسعه و مدیریت سامانه‌های آبیاری، «جمع‌بندی و تحلیل پرسش‌نامه‌های مسایل و مشکلات سازه‌های کنترل و توزیع آب سامانه‌های آبیاری»، شماره انتشار:۱۶۱، ۱۳۹۲.

۷۷- س. هاشمی‌شاهدانی، ع. فیروزفر، س. صادقی، و ا. ادیب مجد، «بررسی عملکرد سامانه کنترل خودکار غیرمتمرکز در بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری تحت نوسان‌های جریان ورودی»، تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷، شماره ۶۶، ص ۱۳۷-۱۵۲، ۱۳۹۵.

۷۸- م. سیدجواد و م. مشعل، «ارزیابی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های نیرپیک (مورد مطالعاتی شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت ورامین)»، مدیریت آب و آبیاری، جلد ۲، شماره ۷، ص ۲۲۹-۲۴۲، ۱۳۹۳.

۷۹- ه. قناتیان, ق. زارعی, و ع. گرجی، «اتوماسیون سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار»، در اولین کارگاه فنی خودکارسازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، ۱۳۸۶.

۸۰- م. ربیعی‌زاده، «خودکارسازی و سهولت در بهره‌برداری سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار»، در اولین کارگاه فنی خودکارسازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، ۱۳۸۶.

۸۱- ع. پرهیزگار، م. سلاخ‌پور، و ن. مستوفی‌زاده، «کاربرد سیستم کنترل اتوماتیک یکپارچه در طرح شبکه آبیاری تحت‌فشار (مطالعه موردی شبکه آبیاری تحت‌فشار سور مقداد در استان خوزستان)»، در اولین کارگاه فنی خودکارسازی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، ۱۳۸۶.

۸۲- ب. محمودی و ج. فرهودی، «تخمین بده عبوری از دریچه آویخته در کانال‌های مستطیلی تحت جریان آزاد و مستغرق بر پایه کاربرد معادلات انرژی و مومنتم»، تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۹، شماره ۷۰، ص ۱۴۳-۱۵۸، ۱۳۹۷.

خواننده گرامی

امور نظام فنی، اجرایی مشاوران و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Maryam Yousefi	Ph.D., irrigation and Drainage Engineering	Iran Water Resource Management Organization

Steering Committee: (Plan and Budget Organization):

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidedin Rezvani	Expert, Technical and Executive Affairs Department

Utilization of Automation Systems in Irrigation and Drainage Network Guideline [Code 871]

Executive Body: Parahoom Consulting Engineers Co.
Project Manager: Ahmad Jafari

Authors & Contributors Committee:

Ali Esfahlani	M.Sc., in Electronic Engineering	
Ahmad Jafari	B.Sc., in Irrigation and Reclamation Engineering	
Rahim Jafari	Ph.D., in Material Science and Engineering	
Sussan Rezai Gharabolagh	B.Sc., in Irrigation and Reclamation Engineering	
Hooshang Farahzad	M.Sc., in Agricultural Extension and Education	
Reza Kiani	M.Sc., in Civil Engineering	
Fatemeh Nayebloie	Ph.D., in Irrigation and	

Supervisory Committee:

Mojtaba Ahmadizadeh	Ph.D., Water Resources Engineering	
Hamid Reza Eslami	M.Sc., Agriculture Engineering-Water Resources	
Ensieh Mehrabi	M.Sc.,Irrigation Structures Engineering	Ministry of Energy
Mohammad Javad Monem	Ph.D., Water Resources Engineering	Tarbiat Modares University

Irrigation and Drainage Committee:

Jalal Abolhasani	M.Sc., Irrigation Structures Engineering	Ministry of Agriculture Jihad
Siyavash Amini	B.Sc., Irrigation and Reclamation Engineering	
Ahmad Jafari	B.Sc., in Irrigation and Reclamation Engineering	
Seyed Vahidedin Rezvani	M.Sc., Irrigation and Drainage Engineering	Plan and Budget Organization
Seyed Mojtaba Razavi Nabavi	Ph.D., Irrigation Structures Engineering	
Mohammad Kazem Siahi	M.Sc., irrigation and Drainage Engineering and M.Sc., Civil Engineering	
Ensieh Mehrabi	M.Sc., Irrigation Structures Engineering	Ministry of Energy
Ahmad Mohseni	Ph.D., Agricaltural Extension Engineering	
Mohammad Javad Monem	Ph.D., Water Resources Engineering	Tarbiat Modares University
Arash Nejati	Ph.D., Irrigation Structures Engineering	Ministry of Energy

Abstract:

Automation of irrigation networks and modification to smart systems have the potential to save water and improve flexibility so farmers can have better irrigation management and thus increase crop and productivity on the farm and increase the efficiency of water and soil resources in development projects.

Lack of available freshwater resources and competition over these recourses requires a shift from "crop yield per unit of land" to "crop yield per unit of water." The improper operation and uncontrolled distribution of water in conventional irrigation networks have caused water loss and decreased productivity in this sector. The structures and equipment implemented in the irrigation networks in our country are mainly manual or hydraulic gates, which have limited accuracy and performance. The use of automated and programmable infrastructure to control the irrigation conveyance and distribution network, largely prevents the inefficient use and waste of water resources.

The need for fundamental changes in the distribution management and the delivery of irrigation water on one hand, and the extent of automation methods and the multiplicity of conditions, the physical infrastructure of networks and the variety of methods of operation, on the other hand, expresses the importance of preparation of this automation guidelines. This guideline, examines the conditions and requirements of automation that could be implemented in the irrigation and drainage networks, (does not include automation of on-farm). It provides guidance on the modernization basics, concepts, and constraints on automation, infrastructure design, SCADA systems, network hydraulic properties, automation methods, system performance verification, and the implementation and operation of automated systems. This guide also presents some of the well-known and practical experiences in the automation of irrigation networks around the world.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Utilization of Automation Systems in Irrigation and Drainage Network Guideline

Code 871

Last Edition: 07-29-2023

Deputy of Production, Technical & Infrastructure

Department of Technical & Executive Affairs,Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Technical & Operation Systems Development and Hydro-power Dispatching

waterstandard.wrm.ir

2023

این ضابطه

با عنوان «**راهنمای بهره‌گیری از سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی**» در ارتباط با مفاهیم، محدودیت‌ها، تعیین زیرساخت‌ها، سامانه اسکادا، خصوصیات هیدرولیکی شبکه، روش‌های خودکارسازی، تایید عملکرد سامانه و اجرا و بهره‌برداری از سامانه‌های خودکار، مبانی و راه‌کارهای عملی را ارائه می‌کند. همچنین در این ضابطه برخی از تجربیات عملی شناخته شده و مرسوم در خودکارسازی شبکه‌های آبیاری ارائه شده است.

shaghool.ir