



دانشگاه شهید بهشتی
پروفسور فنی و مهندسی شهید ماسپور

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



انجمن آب و فاضلاب ایران
شرکت آب و فاضلاب کشور

شبکه‌های هوشمند آب و فاضلاب

الهام قائمی^۱، مسعود تابش^{۲*}

۱- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، پردیس

دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

۲- استاد، عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، دانشکده مهندسی

عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

mtabesh@ut.ac.ir

خلاصه

امروزه در حدود ۱/۱ میلیارد نفر در سرتاسر کره‌ی زمین به آب سالم دسترسی ندارند. مصرف آب از سال ۱۹۶۰ شش برابر افزایش یافته و دو سوم مردم جهان با بحران آب روبرو هستند. به منظور ارزیابی مناسب‌تر یکپارچگی سیستم‌های توزیع آب و همچنین برای جلوگیری از نقصان‌های احتمالی با پاسخگویی در زمان موثر و به حداقل رساندن تأثیرات اقتصادی این نقصان‌ها، شبکه‌های هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شبکه‌ها جزء مهمی از یک شبکه آب محسوب شده که قادرند با استفاده از اطلاعات در زمان واقعی بهینه‌سازی عملیات و عملکرد شبکه، حفظ آب و حل مشکلات امنیتی را انجام می‌دهد. سیستم‌های هوشمند با جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌هایی نظیر تقاضای آب و کیفیت آب، وضعیت آب و هوا و اقلیم منطقه، هزینه‌های انرژی و همین‌طور نیازهای عملیاتی در اتاق کنترل با استفاده از تجزیه و تحلیل پیشرفته، GIS، و مدلسازی شبکه و بهینه‌سازی در زمان واقعی امکانی را فراهم کرده تا اپراتورها بینش تصمیم‌گیری در زمان واقعی را به عملکرد شبکه آب پیوند دهند. در این مقاله به بررسی مزایا و معایب و لزوم بکارگیری شبکه‌های هوشمند، لایه‌ها و ابعاد مورد طراحی این شبکه‌ها پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: شبکه هوشمند، شبکه توزیع آب، شبکه جمع‌آوری فاضلاب.

۱. مقدمه

سالانه ۸/۵ میلیارد گالن آب در شبکه‌های توزیع آب در سرتاسر جهان به هدر می‌رود که این میزان در مناطقی که با کمبود آب روبرو هستند بیشتر به چشم می‌آید. سالانه بیش از ۲۰ درصد از آب آشامیدنی تصفیه شده و پمپاژ شده در داخل شبکه‌های توزیع قبل از رسیدن به دست مصرف کننده به هدر رفته که تخمین زده می‌شود در حدود ۱۰ میلیارد دلار باشد. کاهش ۵ درصدی از نشت و همچنین کاهش ۱۰ درصدی در میزان خرابی‌ها می‌تواند سالیانه در حدود ۴/۵ میلیارد دلار از هزینه‌ها را کم کند. استفاده از سیستم‌های مدیریتی جدید و پویا می‌تواند در حدود ۵/۲ میلیارد دلار در سال از هزینه‌ها را کاهش دهد [1].

نظارت و شناسایی مشکلات شبکه بصورت پیوسته و از راه دور، تعیین اولویت‌های مدیریتی شامل نگهداری و تعمیر تجهیزات به صورت پیوسته با در نظر گرفتن تمام جوانب توسط اطلاعات ارسالی، تعیین ضوابط و قوانین مربوطه به منظور حفظ کیفیت منابع آبی بصورت مطمئن و شفاف و همچنین آگاهی بخشی به مصرف کنندگان در ارتباط با الگوی صحیح مصرف با توجه به اطلاعاتی که در اختیار آنها قرار داده می‌شود، از جمله ویژگی‌های یک شبکه هوشمند آب می‌باشد.

شبکه هوشمند آب مجموعه‌ای کامل از محصولات، راه حل‌ها و سیستم‌هایی است که شبکه را قادر ساخته تا [2]:

- نظارت و تشخیص مشکلات از راه دور امکان پذیر باشد.
- اولویت بندی پیشگیرانه و مدیریت در نگهداری در آن وجود داشته باشد.
- کنترل از راه دور و بهینه سازی شبکه با استفاده از داده‌های آماری استخراج شده در آن ممکن باشد.
- مصرف کنندگان را به اطلاعات و ابزارهای لازم برای انتخاب آگاهانه درباره رفتارها و الگوهای استفاده از آب مجهز نماید.

شبکه‌های هوشمند تلفیقی از بکارگیری ابزارهای مختلفی بوده که استفاده از آنها منجر به ارزیابی مناسب تر یکپارچگی سیستم‌های توزیع آب، جلوگیری از نقصان‌های احتمالی با پاسخگویی در زمان موثر و همچنین به حداقل رساندن تاثیرات اقتصادی این نقصان‌ها می‌شود. بررسی شبکه‌های هوشمند در چارچوب سه بخش زیر دسته‌بندی می‌شود:

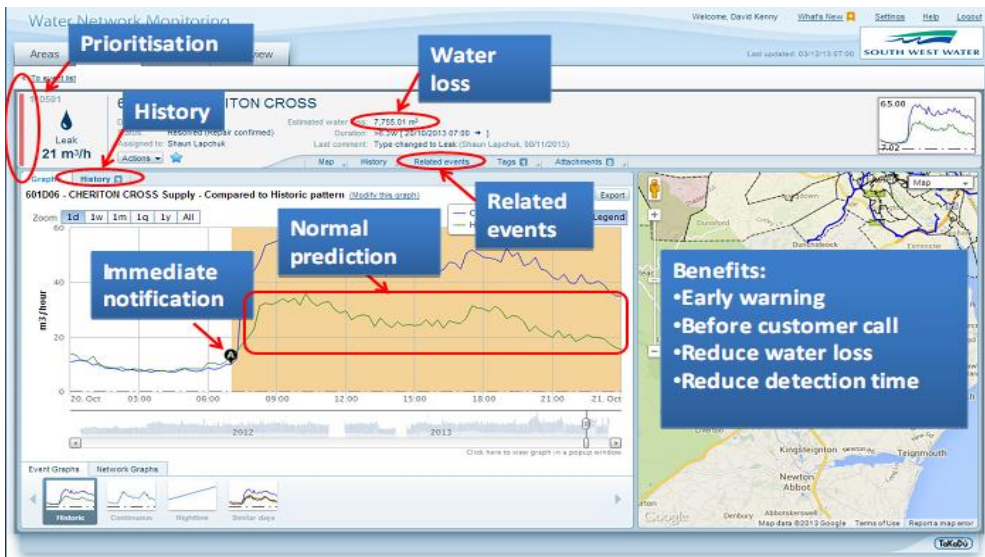
۱. مزایا و معایب شبکه‌های هوشمند
 ۲. لایه‌های مختلف و طراحی شبکه‌های هوشمند
 ۳. لزوم بکارگیری شبکه‌های هوشمند
- در این مقاله سعی بر آن است که سه بخش بالا بطور مقتضی مورد بررسی قرار گیرد.

۲. مزایا و معایب شبکه‌های هوشمند

اگرچه استفاده از شبکه‌های هوشمند نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه بالایی می‌باشد اما بازگشت سرمایه بصورت کاهش هزینه‌های تعمیرات اساسی خواهد بود. کاهش نشت، کاهش تلفات، کاهش خرابی‌ها، کنترل کیفیت و انعطاف پذیری بالا را می‌توان از ویژگی‌های مهم شبکه‌های هوشمند دانست. بسیاری از کشورها از جمله استرالیا، آمریکا، هند، سنگاپور، اسپانیا و ... این

نوع سیستم‌ها را به مرحله بهره‌برداری رسانده‌اند. شبکه‌های هوشمند آینده سیستم‌های توزیع آب و جمع‌آوری فاضلاب شهری خواهد بود.

با جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌هایی نظیر تقاضای آب و کیفیت آب، وضعیت آب و هوا و اقلیم منطقه، هزینه‌های انرژی و هم‌منظور نیازهای عملیاتی در اتاق کنترل با استفاده از تجزیه و تحلیل پیشرفته، GIS، و مدل‌سازی شبکه و بهینه‌سازی در زمان واقعی، سیستم‌های هوشمند امکانی را فراهم کرده تا اپراتورها بینش تصمیم‌گیری در زمان واقعی را به عملکرد شبکه آب پیوند دهند [3].



شکل ۱ - نمونه‌ای از محیط کار نرم‌افزاری سیستم‌های هوشمند

از جمله مزایای استفاده از شبکه‌های هوشمند عبارت است از [4]:

- کاهش تلفات آب
- کارایی تشخیص مناسب
- افزایش دسترسی به آب برای مصرف‌کنندگان
- پیشگیری از خسارت‌های ناخواسته
- داشتن بینش بهتر نسبت به شبکه
- بهینه‌سازی بهره‌برداری
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی
- افزایش رضایت مشتریان

- برنامه ریزی برای بهسازی لوله ها
- کاهش ریسک
- توازن در منابع تولید، مخازن ذخیره و شبکه توزیع
- پیاده سازی استراتژی های پدافند غیرعامل
- شبکه های هوشمند دارای قابلیت های متنوعی می باشند که از جمله مهمترین آنها عبارتند از [4]:
- کنترل و روشن و خاموش کردن الکتروپمپ توسط سیستم مرکزی از راه دور توسط افراد تعریف شده در سیستم
- کنترل سطح مخزن به صورت اتوماتیک جهت جلوگیری از سرریز یا خالی شدن مخزن
- اعلام خاموش شدن الکتروپمپ به همراه هشدار مربوطه
- اندازه گیری و ارسال مقدار دبی لحظه ای و میزان آب تولید شده توسط کنتور مغناطیسی
- اندازه گیری و ارسال میزان فشار خط پمپاژ و تعیین نقاط بحرانی خط انتقال و شبکه توزیع
- اندازه گیری و ارسال پارامترهای کیفی نظیر کلر باقیمانده، دما، اختلاف پتانسیل، کدورت، pH و EC
- و ...
- این سیستم ها دارای معایبی نیز بوده که مانع از اجرای سریع آنها شده است. این معایب عبارتند از [4]:
- هزینه بالای سرمایه گذاری
- محدودیت های کاربری و عدم انطباق با سیستم های قبلی
- عدم وجود حمایت های دولتی و خصوصی
- فقدان یک راه حل یکپارچه کاربر پسند
- آگاه نبودن مردم نسبت به سیستم های هوشمند و مقاومت در برابر استفاده از آنها
- جدول ۱ نتایج مقایسه شبکه های سنتی انتقال و توزیع آب و شبکه های هوشمند را نشان می دهد [5].

۳. لایه های مختلف و طراحی شبکه های هوشمند

- شبکه های هوشمند همانند بسیاری از سیستم ها نیازمند امکانات سخت افزاری و نرم افزاری می باشد که انتخاب هوشمندانه هر یک از امکانات مطروحه موجبات سهولت کار، دقت بالا، کاهش پروسه محاسبات و گزارشات و بالا بردن درجه اعتماد سیستم می گردد. یک شبکه هوشمند دارای لایه های مختلفی می باشد که این لایه ها عبارتند از [4]:
۱. لایه فیزیکی که در بر گیرنده اطلاعات کلی شبکه و GIS شبکه می باشد.
 ۲. ابزارهای کنترل و اندازه گیری که شامل دستگاه های اندازه گیری جریان، فشار، دما، کیفیت آب، شیرهای کنترلی اندازه گیری سطح مخازن می باشند.

۳. ابزارهای جمع آوری اطلاعات و ارتباطات که شامل انتقال دهنده‌ها، لاگرها و سیستم‌های AMI^۱ و AMR^۲ می‌باشند.

۴. ابزارهای نمایش و مدیریت داده‌ها که شامل بررسی جریان شبانه و بالانسینگ آب می‌باشد.

۵. بررسی داده‌ها و تجزیه و تحلیل آنها که دارای دو مرحله تعیین هشدار و خطای لحظه‌ای و اتخاذ تصمیم می‌باشد.

جدول ۱- مقایسه شبکه‌های سنتی انتقال و توزیع آب و شبکه‌های هوشمند

شبکه‌های هوشمند	شبکه‌های سنتی انتقال و توزیع آب	
کاهش اثرات ردپای کربن (حرکت به سمت محیط زیست سبز)، افزایش کارآمدی منابع و حذف منابع طبیعی هزینه انرژی کمتر افزایش طول عمر تجهیزات	مدیریت فشار کمتر از حد مطلوب است چرا که محدودیت‌هایی در اطلاعات ارسال شده وجود دارد.	بهینه‌سازی مصرف انرژی
سرویس‌رسانی به مشتریان با استفاده از سیستم‌های اطلاع‌رسانی لحظه‌ای بهبود می‌یابد. تعامل با مشتری می‌تواند به عنوان منبعی از اطلاعات باشد. تشویق مشتریان به استفاده از الگوی مصرف مناسب	تعامل با مشتری عمدتاً با شروع شکایت و ابراز نارضایتی همراه بوده که از طریق تلفن، سایت و ابزارهای ارتباطی می‌باشد.	تعامل مشتری
پایش پیوسته و لحظه‌ای به‌جای نمونه‌گیری نتایج و جواب‌های لحظه‌ای کیفیت آب تشخیص و پشتیبانی از طیف وسیعی از اتفاقات درون شبکه	نمونه‌گیری از کیفیت آب ۱ الی ۲ روز زمان مورد نیاز برای آنالیز مشکلات کیفیت آب عمدتاً همراه با بیماری در سطح شهر بیان می‌شود.	مدیریت کیفیت آب
مکان‌یابی سریع تر نشت و خرابی در داخل شبکه کاهش میزان خسارت به علت هدررفت آب افزایش میزان رضایت مشتریان کاهش میزان هدررفت آب جمع‌آوری اطلاعات و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی جهت تعیین نقاط نشت در شبکه	نشت‌های کوچک داخل شبکه برای مدت زمان بسیار طولانی قابل نشت‌یابی نبودند یا هدررفت طولانی داشتند. خرابی‌ها عمدتاً توسط مشتریان به شرکت‌های ارائه‌دهنده اطلاع‌رسانی می‌شود.	مدیریت نشت

^۱ Advanced Metering Infrastructure

^۲ Automatic meter reading

- با توجه به لایه‌هایی که در یک شبکه هوشمند وجود دارد طراحی یک شبکه هوشمند نیز به شرح زیر است [4]:
- ✓ طراحی لایه مدیریتی نظیر تصمیمات کلان تامین آب، ملاحظات اقتصادی و ...
 - ✓ طراحی لایه کنترل شبکه نظیر کنترل کلیه تاسیسات بالادستی و منابع تامین آب و ...
 - ✓ طراحی لایه کنترل فیلد نظیر ایستگاه‌های پمپاژ، مجموعه چاه‌ها و ...
 - ✓ طراحی لایه سخت‌افزاری شامل سنسورها و عملگرها

۴. لزوم بکارگیری شبکه‌های هوشمند

با توجه به مزایا و معایب شبکه‌های هوشمند لزوم پیاده‌سازی آن به روشنی نمود پیدا می‌کند. بدین منظور موارد زیر را می‌توان به عنوان موارد لازم جهت پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند آب در سیستم جامع مدیریت آب شهری برشمرد [6]:

- داشتن سیستمی جامع دربردارنده‌ی اطلاعات کلیه اجزا شبکه
- امکان ارتباط خودکار با واحدهای تله‌متری در بروز رسانی تغییرات هیدرولیکی و کیفی شبکه
- کاهش هزینه‌های اجرایی و کاهش زمان پروسه تعمیر و نگهداری
- یافتن انشعابات غیرمجاز توسط سیستم و اتخاذ تصمیم و ارائه راهکار مناسب
- در برداشتن فاکتورهای متعارف مختلف در سیستم نظیر مدیریت مصرف، آب بحساب نیامده، نگهداری پیشگیرانه، مدیریت صدور قیوض آب که منجر به ارائه دیدی جامع از شبکه و کارآمدی بیشتر شبکه می‌گردد.

از جمله موارد استفاده سیستم‌های هوشمند نیز به شرح جدول ۲ می‌باشد. از دیگر علل لزوم بکارگیری شبکه‌های هوشمند را می‌توان تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی و هوشمندسازی شبکه‌های فاضلاب دانست که در ادامه به آنها اشاره شده است:

• سیستم‌های هوشمند در سفره آب‌های زیرزمینی

از جمله اقداماتی که در راستای تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی صورت گرفته و باید با جدیت بیشتری دنبال شود نصب وسایل اندازه‌گیری و تحویل حجمی آب برای بهره‌برداران منابع آب زیرزمینی است. اهمیت نصب وسایل اندازه‌گیری در تهیه و ارائه آمار و اطلاعات مصارف آبی که لازمه هرگونه برنامه‌ریزی درست در کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت در خصوص منابع آبی می‌باشد. لزوم دریافت اطلاعات و ارقام صحیح و قابل اتکا که بتواند مبنای تصمیم‌گیری‌های آینده قرار گیرد، اقتضاء می‌کند که این امر به عنوان اقدامی پایه‌ای مد نظر قرار گرفته و ضمن رفع موانع و نواقص موجود، در بهبود روزافزون کارایی آن اقدام شود که به این منظور می‌توان از شبکه‌های هوشمند استفاده نمود.

بطور خلاصه اهداف استفاده از سیستم‌های هوشمند در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به شرح زیر می‌باشد [3]:

– اندازه‌گیری حجم آب برداشت شده توسط بهره‌برداران از منابع آب و جلوگیری از هرگونه برداشت غیرمجاز

- ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب زیرزمینی با برنامه‌ریزی متکی بر اطلاعات بدست آمده از قرائت کنتورها و حجم بهره‌برداری از منابع آب
- تهیه لیست بهره برداران دارای اضافه برداشت از منابع آب و بهره برداران صرفه جو و ارایه به شرکت آب و فاضلاب برای اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی در راستای نهادینه کردن فرهنگ صحیح و بهینه مصرف آب از یک طرف و ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب از طرف دیگر.
- تجهیز کلیه چاه‌های کشور به ابزار اندازه‌گیری هوشمند با مشخصات سخت افزاری و نرم افزاری.

جدول ۲- موارد استفاده سیستم‌های هوشمند

مورد مصرف	اثرات غیرمستقیم	اثرات مستقیم	نوع تجهیزات
آزمون‌های گام به گام کنترل نشت و مدیریت فشار	کاهش مصرف انرژی	کاهش تلفات آب، بهبود کیفیت آب، کاهش اثرات ناشی از حوادث و خشکسالی	کنتور هوشمند
ایزولاسیون کردن آلاینده‌ها	کاهش مصرف انرژی	بهبود کیفیت آب	سنسور آلاینده
مدیریت هوشمند سیل	-	کاهش اثرات ناشی از حوادث	سنسور سیل
آزمون‌های گام به گام کنترل نشت و مدیریت فشار، ایزولاسیون کردن آلاینده‌ها، مدیریت هوشمند سیل	کاهش مصرف انرژی	کاهش تلفات آب و بهبود کیفیت آب	شیرآلات هوشمند
مدیریت هوشمند فشار و مدیریت هوشمند سیل	-	کاهش مصرف انرژی و کاهش حوادث	پمپ‌های هوشمند

• شبکه‌های هوشمند فاضلاب

شبکه‌های هوشمند فاضلاب مجهز به اپراتورهای اتاق کنترل بوده که با مجموعه‌ای جامع از ابزارهای تحلیلی و تصمیم‌گیری عمل‌گرا مجموعه را هدایت کرده و برای کمک به مدیریت و کاهش خطرات و اختلالات بیش از حد جریان‌های فاضلاب و بالادگی آنها و همچنین جلوگیری از آلودگی منابع آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم‌ها مدل‌سازی شبکه‌های فاضلاب معمولی را از برنامه‌ریزی و طراحی اولیه تا قابلیت‌های بسیار پیشرفته‌تر انجام می‌دهند که این قابلیت‌ها عبارتند از نظارت کامل شبکه، پیش‌بینی وضعیت جریان، مدیریت تعمیر و نگهداری، شناسایی سیلاب‌های اجتناب‌ناپذیر و هشدار آلودگی زود هنگام، جایگزینی/بهبود لوله‌ها، کنترل عملیاتی بهینه در زمان واقعی و پاسخ اضطراری به وقوع اجتناب‌ناپذیر سیلاب‌ها [7].



پژوهش‌های علمی و فناوری در زمینه مدیریت منابع آبی

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



انجمن آب و فاضلاب ایران - شرکت آب و فاضلاب کشور

اپراتورهای فاضلاب مسلح به این توانایی‌ها می‌توانند اقدامات پیشگیرانه موثر را ارزیابی و اجرا کرده و تبدیل به نیروی اصلی برای بهبود سیستم، افزایش بهره‌وری، انطباق قانونی و برنامه ریزی مالی شوند.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله با معرفی شبکه‌های هوشمند به بررسی مزایا و معایب آنها و لزوم پیاده‌سازی این سیستم‌ها پرداخته شد. همچنین لایه‌های مختلف یک شبکه هوشمند و ابعاد طراحی آنها نیز مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از شبکه‌های هوشمند و با داشتن اطلاعات جامعی از کلیه اجزای شبکه می‌توان مدیریت بهنگام کلیه حالات اضطراری در شبکه مانند ایجاد نشت، خالی شدن مخازن، خاموش شدن پمپ‌ها، افزایش تقاضا و مصرف در گره‌ها و یا نواحی خاص، را بصورت کارآمدی انجام داد که لازمه یک مدیریت پویا در سیستم‌های توزیع آب شهری می‌باشد.

۶. مراجع

1. www.un.org
2. Cheong S. M, Choi G. W., Lee H. S., (2015). Barriers and Solutions to Smart Water Grid Development, *Environmental Management*, 57, pp.509–515, DOI: 10.1007/s00267-015-0637-3.
3. Khuan, P. J., (2016). Managing the Water Distribution Network with a Smart Water Grid, *Public Utilities Board Singapore*, DOI: 10.1186/s40713-016-0004-4.
4. www.innovyze.com
5. www.sensus.com
6. Paul F. B., (2017). Smart Water Network Modeling for Sustainable and Resilient Infrastructure, *Water Resource Manage*, 31, pp. 3177–3188, DOI: 10.1007/s11269-017-1699-1.
7. www.takadu.com