مدل‌ها و فناوری‌های داده‌محور برای سیستم‌های آب شهری

دکتر علی حقیقی
استاد دانشکده مهندسی عمران و معماری
دانشگاه شهید چمران اهواز و
عضو هیئت مدیره انجمن آب و فاضلاب ایران

مدت زیادی نیست که برای تاکید بر اهمیت آب و حفظ آن گفته می شود جنگ آینده ملت‌ها بر سر آب خواهد بود. از سوی دیگر می‌شنویم که سهم اقتصادهای بزرگ قدیمی هم‌چون نفت و فولاد و کشاورزی در مقابل اقتصادهای جدید مبتنی بر فناوری‌های نوظهور در حوزه فناوری اطلاعات، IT (Information Technology) و هوش مصنوعی، AI (Artificial Intelligence) روز به روز درحال کاهش است تا جایی‌که امروزه برخی داده‌های عظیم (Big data) را از طلا با ارزش‌تر می‌شمارند. حوزه مهندسی آب نیز در سال‌های اخیر از این ترند جهانی بی‌تاثیر نبوده و به‌طور فزاینده‌ای بر ایده‌ها، تحقیقات و فناوری‌های داده‌محور برای مدیریت هوشمند سامانه‌های آب شهری افزوده شده است.

سامانه‌های آب شهری از جمله سیستم‌های انتقال و شبکه‌های توزیع آب شرب، شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب و آب‌های سطحی و تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب از زمان طراحی تا بهره‌برداری با انواع داده‌های برون‌زا و درون‌زا به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در ارتباط هستند. آگاهی مهندسان طراح و بهره‌بردار از الگوها و رازهای نهفته در این داده‌ها امکان پیش‌بینی‌های دقیقی را از آینده محیط و سیستم‌های آب شهری در تعامل با یکدیگر فراهم می‌سازد که نتیجه آن برای سیستم دستیابی به راندمان بالاتر، هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری کمتر، مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیستی کمتر و به‌طور کل شاخص‌های عملکردی (اعتمادپذیری، بازگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری) بهتر در مدیریت یکپارچه شهری خواهد بود. جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مختلف کمی و کیفی از سیستم‌های آب شهری و استفاده از آن‌ها در قالب مدل‌ها و فناوری‌های داده‌محور در چارچوب علم داده (Data science) تعریف می‌شود که خود شامل پروتکل‌ها و زیر واحدهای متنوعی است.

مطابق با تعریف، علم داده یک حوزه مطالعاتی است که با حجم وسیعی از داده سر و کار دارد و با استفاده از ابزارها و تکنیک‌های متنوع، از روش‌های کلاسیک آمار و احتمالات گرفته تا روش‌های مدرن هوش مصنوعی، برای داده‌کاوی، یافتن الگوهای نادیده، استخراج اطلاعات معنادار و تصمیم‌گیری‌های تجاری، فنی و علمی به‌کار گرفته می‌شود. علم داده در نهایت از الگوریتم‌های پیچیده یادگیری ماشین، ML (Machine learning) که خود زیرمجموعه هوش مصنوعی محسوب می‌شود برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی و تصمیم‌گیری استفاده می‌نماید. در حقیقت به کمک علم داده می‌توان از داده‌های خام (Raw data) به اطلاعات (Information) و از اطلاعات به دانش و آگاهی (Knowledge and wisdom) نسبت به یک مسئله رسید. انتخاب نوع روش یادگیری و نحوه پردازش داده‌ها تابعی از مشخصات خود داده، مسئله و اهداف پیش روی دانشمند داده (Data scientist) است. علم داده و تکنیک‌های زیرمجموعه آن پایه و اساس مدل‌ها و فناوری‌های مرتبط با هوشمندسازی سامانه‌های آب شهری هستند و بدون تردید دسترسی به داده‌های وسیع و با کیفیت از سیستم مورد بررسی، مهم‌ترین بخش و گلوگاه اصلی توسعه مدل‌ها و گرفتن نتیجه مطلوب از آن‌ها محسوب می‌شود. در حقیقت تعریف مسئله، تکنیک حل و پیاده‌سازی مدل‌های یادگیری در درجات اهمیت پایین‌تری نسبت استحصال داده قرار می‌گیرند. لذا بی‌راه نیست اگر بگوییم که بیش از ۸۰ درصد وقت و انرژی یک دانشمند داده صرف تهیه، پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها می‌شود که اصطلاحاً به آن پیش‌پردازش داده می‌گویند.

داده‌های مهم کمی و کیفی در سامانه‌های آب شهری عبارتند از فشار و تغییرات آن در نقاط مختلف سیستم، اندازه و نرخ تغییرات دبی به‌ویژه در نقاط تولید و تزریق آب به شبکه، جریان فاضلاب و تغییرات آن در جمع‌کننده‌های

اصلی، آمار بارش در سطح حوزه و اندازه‌گیری روان‌آب بارش‌های مختلف، اطلاعات جوی از جمله دما و رطوبت، میزان آلاینده‌ها از جمله TDS، کدورت، کلر باقیمانده، فلزات سنگین و سایر شاخص‌های کیفی در نقاط مختلف شبکه، میزان تغییرات سطح آب و حجم مخازن، مصرف انرژی و ساعات عملکرد پمپ‌ها، آمار مشترکین و بسیار پارامترهای دیگر که معرف پاسخ یک سیستم آب شهری در مقابل یک وضعیت مشخص از بهره‌برداری هستند. این داده‌ها عموما به‌صورت سری‌های زمانی و با یک توزیع زمانی و مکانی مناسب در شهر جمع‌آوری می‌شوند.

پس از مرحله پیش‌پردازش داده‌ها، ساده‌ترین روش تحلیل داده‌ها استفاده از تکنیک‌های بصری (Visualization) است به‌گونه‌ای که روندهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت در تاریخچه داده‌ها شناسایی و توسط فرد خبره قضاوت می‌شوند. برای مثال، با استفاده از تکنیک‌های بصری می‌توان چند سری زمانی را کنار هم گذاشت و یا روی یک نمودار نشان داد و الگوها و اتفاقات عجیبی را شناسایی کرد و یا میزان وابستگی (Correlation) رخدادها را ارزیابی نمود. مثلاً مقایسه بصری هم‌زمان تغییرات فشار در یک نقطه از شبکه با نقطه‌ای دیگر یا با تغییرات دبی ورودی به شبکه می‌تواند ما را از وقوع نشت در سیستم آگاه کند. در یک سطح بالاتر، روش‌های علم داده از تکنیک‌ها و آزمون‌های آماری استفاده می‌کنند و می‌توانند تحلیل‌های دقیق‌تری از گذشته، حال و آینده سیستم ارائه نمایند. هم‌چنین تکنیک‌های کلاسیکی مانند ARIMA و VARMA برای پیش‌بینی سری‌های زمانی مصرف آب شهری که ویژگی‌های دوره‌ای (Seasonality and Periodicity) قابل‌ملاحظه‌ای دارند هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند و نتایج قابل‌قبولی ارائه کرده‌اند. مثال دیگر از روش‌های کلاسیک احتمالاتی شبکه بیزین (Bayesian Network) است که استفاده‌های فراوانی در توسعه مدل‌های تحلیل ریسک خرابی و شکست در خطوط لوله و پیش‌بینی آسیب‌های کیفی و کمی به سیستم‌های آبرسانی و فاضلاب داشته است. هم‌چنین از تحلیل‌های آمار و احتمالاتی و بصری داده‌های جمع‌آوری شده از سیستم‌های آب شهری برای شناسایی نشت و سایر خطاها در خطوط لوله استفاده زیادی شده است.

البته که صدها مطالعه و تحقیق مرتبط با جنبه‌های کاربردی علم آمار و احتمالات در مهندسی آب شهری می‌توان نام برد. با این‌حال با توسعه علم داده در یک دهه اخیر و رشد روش‌های مدرن مبتنی بر هوش مصنوعی از یک سو و توسعه سخت‌افزارهای پیشرفته مقرون به‌صرفه برای اندازه‌گیری وسیع، انتقال و پایش و ذخیره‌سازی داده‌ها و هم‌چنین افزایش توان محاسباتی کامپیوترها از سوی دیگر، دانشمندان علم داده را به‌سوی به‌کارگیری روش‌های کاراتری برای تحلیل داده‌های خام و کشف الگوها سوق داده است. به این منظور از مدل‌های یادگیری ماشین به‌طور مستقیم مبتنی بر داده (Data-informed ML) یا به‌صورت کوپل با مدل‌های ریاضی حاکم بر مسئله (Physics-informed ML) برای استنتاج و پیش‌بینی داده‌ها استفاده می‌شود. انواع مدل‌های یادگیری ماشین در علم داده عبارتند از: ۱- روش‌های یادگیری بدون نظارت (Unsupervised learning) که در آن‌ها هیچ هدفی برای داده‌ها تعریف نمی‌شود و هدف از مدل، شناخت یک الگوی مشخص برای خوشه‌بندی (Clustering) داده‌ها است. به‌عنوان مثال به مسئله خوشه‌بندی مصرف‌کنندگان خوش‌حساب و بدحساب و یا حل مسئله زون‌بندی یک شبکه آب‌رسانی می‌توان اشاره کرد؛ ۲- روش‌های یادگیری با نظارت (Supervised learning) که برای حل مسائل طبقه‌بندی (Classification)، برازش (Regression) و پیش‌بینی (Forecasting) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش‌ها از پیش برای داده‌های جمع‌آوری شده یک برچسب مشخص می‌شود و مدل به‌گونه‌ای آموزش داده می‌شود که در آینده بتواند درصورت مشاهده شرایط مشابه برچسب درست را بازگرداند. این مدل‌ها در حوزه مهندسی آب شهری بسیار پر کاربرد هستند و از مسائلی مانند پیش‌بینی روان‌آب ناشی از بارش، کیفیت و اندازه دبی سرریز، CSO (Combined Sewer Overflow) در شبکه‌های فاضلاب مرکب، پیش‌بینی مصرف آب شبکه آبرسانی، شناسایی منشاء آلاینده‌ها، تعیین نشت و آب به‌حساب نیامده و سایر خطاها در شبکه مورد استفاده قرار گرفته اند؛ ۳- روش‌های یادگیری تقویتی (Reinforcement learning) که در آن مدل‌ها به‌صورت زنده و براساس یک نظام پاداش و جریمه در زمان بهره‌برداری واقعی (Real-Life) آموزش می‌بینند.

به‌عنوان مثال یک ایستگاه تزریق کلر را تصور کنید که از سنسورهایی در شبکه بازخورد می‌گیرد و به مرور زمان یاد می‌گیرد با چه دوزی کلر تزریق کند، یا یک ایستگاه پمپاژ آب را فرض کنید که به مرور زمان برنامه زمان‌بندی بهینه پمپ‌ها را فرا می‌گیرد به‌نحوی که مصرف انرژی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری پمپ‌ها کمینه و رضایتمندی مشترکین از شبکه بیشینه شود.

خوشبختانه تمامی روش‌ها و تکنیک‌های پیشرفته‌ای که در علم داده و یادگیری ماشین مورد استفاده قرار می‌گیرند به‌صورت کتابخانه‌های آماده در زبان‌های برنامه‌نویسی شئ‌گرا و متن‌بازی مانند پایتون (Python) و R و تا حد زیادی در متلب (MATLAB) فراهم است و به‌سادگی قابل استفاده برای همه افراد هستند. از سوی دیگر نرم‌افزارهای علم داده پیشرفته و کاربرپسندی توسعه داده شده‌اند که بدون نیاز به کد نویسی‌های پیچیده امکان توسعه مدل‌های داده‌محور را فراهم می‌سازند که از آن‌جمله می‌توان به KNIME و SPSS و Power BI اشاره کرد. برای یادگیری تکنیک‌های علم داده و یادگیری ماشین منابع بسیار زیادی از جمله کتاب، فیلم‌های آموزشی و دوره‌های مجازی از طریق کتابخانه‌های دانشگاه‌های جهان، پلتفرم‌های آموزش مجازی و شبکه‌های اجتماعی هم‌چون GitHub در دسترس است که عمدتا به لحاظ اقتصادی به‌صرفه بوده و گاهی به‌صورت رایگان در اختیار افراد قرار دارند. آن‌چه مسلم است امروزه یادگیری علم داده، تعریف و حل مسائل کاربردی مختلف در حوزه آب شهری بسیار تسهیل شده و توسعه مدل‌های هوشمندسازی سیستم‌ها بیش از پیش در دسترس است. اما مسئله اصلی در حال‌حاضر جمع‌آوری و دریافت داده مناسب است و همان‌طور که گفته شد این مهم، گلوگاه و چالش بزرگی برای بسیاری از پیشرفت‌های این حوزه محسوب می‌شود. این مهم به‌ویژه در کشور ما یک محدودیت بزرگ است و تا امروز با استانداردهای جهانی فاصله بسیاری داریم. لذا، چنان‌چه واقعاً اراده‌ای برای هوشمندسازی سامانه‌های آب شهری در کشور باشد، لازم است پیش از (یا دست کم به موازات) تحقیق و توسعه‌ای که در دانشگاه‌ها و پارک‌های علم و فناوری درحال انجام است که البته نیاز به تقویت، ساماندهی و جهت‌دهی بهتری دارد، شرکت‌های آب و فاضلاب و شهرداری‌ها نیز زیرساخت‌های اندازه‌گیری، پایش و ذخیره داده‌های کمی و کیفی تاسیسات آبی را تجهیز و پیاده‌سازی نمایند. توسعه زیرساخت‌های تله‌متری و دیسپاچینگ و البته واحدهای GIS یک پیش‌نیاز حیاتی و گام نخست برای مدیریت هوشمند سامانه‌های آب شهری است. درصورت وجود داده مناسب و عزم و اراده کافی در شرکت‌های آب و فاضلاب، توان علمی کشور برای توسعه مدل‌ها و فناوری‌های داده‌محور برای هوشمندسازی سیستم‌های آب شهری می‌تواند به‌طور شایسته‌ای پاسخگوی نیازهای کشور باشد.

در انتها باید اضافه کرد که حرکت به سوی هوشمندسازی سامانه‌های آب شهری به‌کمک مدل‌های داده‌محور و اینترنت اشیاء IoT (Internet of Things) و سایر فناوری‌های نوظهور به‌صورت مجزا و بدون یک برنامه جامع برای نیل به شهری هوشمند و پایدار ممکن نیست. این مهم نیازمند یک حکمرانی علمی و آگاه در مدیریت شهری است که کلیه زیرساخت‌ها و سامانه‌های شهری را به‌صورت به‌هم پیوسته و سیستماتیک درنظر بگیرد. از سوی دیگر آموزش و ارتقای علمی افراد در دانشگاها، شرکت‌های آب و فاضلاب، مهندسین مشاور و بهره‌برداران برای به‌کارگیری صحیح و اصولی از داده‌ها و فناوری‌های مبتنی بر آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. هم‌چنین وضعیت زیرساخت‌های ICT در شهر، هزینه استفاده، امنیت و میزان دسترسی به آن‌ها نیز می‌توانند ظرفیت‌ها و محدودیت‌های قابل‌توجهی برای توسعه شهرهای هوشمند ایجاد کنند. پرداختن به موضوعات فوق در مجال این پیشگفتار نمی‌گنجد و این نکات صرفا برای اشاره‌ای گذرا به حساسیت، تنوع و وسعت موضوعات جانبی مربوط به هوشمندسازی سامانه‌های آب شهری بیان شد. آن‌چه مسلم است، ما در عصر اطلاعات و داده‌های عظیم زندگی می‌کنیم. هر جامعه‌ای که بتواند از داده‌های گوناگونی که هم‌چون سیل در جریان هستند استفاده نماید، آینده را در اختیار خواهد گرفت و به‌طور موثرتری می‌تواند منابع آب و انرژی و اقتصاد خود را مدیریت کند. در همین راستا، هوشمندسازی سامانه‌های آب شهری به‌عنوان یک جزء از کل شهرهای هوشمند شایسته است که در اولویت مدیران و تصمیم‌گیران مرتبط قرارگیرد.