

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عنوان و نام پدیدآور : یادگیری ماشین و هوش مصنوعی: مفاهیم، الگوریتم‌ها و کاربردها در صنعت آب و فاضلاب/ مولفان محمدجواد عبدی... [و دیگران]؛ ویراستار محمد طلایی.
مشخصات نشر : مشهد: ارسطو، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری : [۲۰۸] ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۳۱۰-۰
وضعیت فهرست نویسی : فیبا
یادداشت : مولفان محمدجواد عبدی، سیدحسین سجادی‌فر، زهرا مطلبی‌خوبانی، اسداله یوسفی، مجید کلاتری.
یادداشت : کتابنامه: ص. [۲۰۸].
موضوع : هوش مصنوعی -- کاربردهای صنعتی
Artificial intelligence -- Industrial applications
تأسیسات آب -- داده‌پردازی
Water utilities -- Data processing
فاضلاب -- تأسیسات انتقال و مصرف -- داده‌پردازی
Sewage disposal plants -- Data processing
آب، منابع -- داده‌پردازی
Water-supply -- Data processing
فراگیری ماشینی
Machine learning
شناسه افزوده : عبدی، محمدجواد، ۱۳۶۰ -
شناسه افزوده : طلایی، محمد، ۱۳۶۱ -، ویراستار
رده بندی کنگره : ۹/۴۴۷/۴۳۸
رده بندی دیویی : ۳۳۸/۲۷۲۸۰۲۸۵۶۳
شماره کتابشناسی ملی : ۱۰۵۳۲۶۵۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیبا
کد پیگیری : ۱۰۵۳۰۶۹۲

نام کتاب : یادگیری ماشین و هوش مصنوعی: مفاهیم، الگوریتم‌ها و کاربردها در صنعت آب و فاضلاب
مولفان: دکتر محمد جواد عبدی - دکتر سید حسین سجادی‌فر - مهندس زهرا مطلبی‌خوبانی - دکتر اسداله یوسفی
دکتر مجید کلاتری

ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)

صفحه آرایشی، تنظیم و طرح جلد: الهام غفاری

ویراستار: مهندس محمد طلایی

تیراژ : ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ : اول - ۱۴۰۵

چاپ : زبرجد

قیمت : ۱۰۰۰۰۰۰ تومان

حقوق این چاپ محفوظ و مخصوص شرکت آب و فاضلاب منطقه سه شهر تهران است

فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :

<https://chaponashr.ir/ketabresan>

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۳۱۰-۰

تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵

www.chaponashr.ir

تقدیم به همکاران فرهیخته و تلاش‌گر
صنعت آب و فاضلاب کشور
امید است که این کتاب، گامی مؤثر در مسیر
تحول دیجیتال و هوشمندسازی،
ترویج فرهنگ داده‌محوری،
و ارتقای دانش، نوآوری و توانمندی‌های فنی
در این صنعت حیاتی و راهبردی باشد.

پیشانی کار	۱۴
فصل اول مقدمات و مفاهیم پایه	۱۹
چرا باید از هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب استفاده کنیم؟	۲۰
افزایش تقاضا و کمبود منابع	۲۰
فرسودگی زیرساخت‌ها	۲۰
پیچیدگی عملیاتی	۲۱
محدودیت‌های بودجه‌ای	۲۱
تغییرات اقلیمی	۲۱
تحول دیجیتال در صنعت آب	۲۱
اهداف و ساختار کتاب	۲۲
مخاطبان کتاب	۲۳
چگونه از این کتاب استفاده کنیم؟	۲۳
فصل دوم آشنایی با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین	۲۵
هوش مصنوعی چیست؟	۲۶
تفاوت با برنامه‌نویسی سنتی	۲۶
مثال کاربردی: مقایسه روش سنتی با روش مبتنی بر هوش مصنوعی در صنعت آب	۲۷
یادگیری ماشین	۲۷
استخراج، پالایش و بارگذاری داده‌ها	۲۸
داده‌ها: سوخت هوش مصنوعی	۲۸
انواع داده در صنعت آب و فاضلاب	۲۹
مدل ریاضی	۳۰
پاکسازی داده‌ها	۳۲
مقادیر گم‌شده	۳۲
مقادیر پرت	۳۲
ساختار شبکه‌های عصبی و عملکرد آن‌ها	۳۳
فرایند آموزش شبکه‌های عصبی	۳۶
مثال کاربردی: توضیح ساده‌ای از کاربرد شبکه‌های عصبی در مدیریت منابع آب	۳۷
یادگیری عمیق: انقلاب در تشخیص الگو	۳۷

۳۸.....	مثال کاربردی: توضیح ساده‌ای از کاربرد شبکه‌های عصبی کانولوشنی در صنعت آب و فاضلاب.....
۳۹.....	انواع یادگیری ماشین.....
۳۹.....	یادگیری نظارت‌شده.....
۴۰.....	انواع مدل‌های یادگیری نظارت‌شده.....
۴۲.....	رگرسیون.....
۴۳.....	مثال کاربردی: استفاده از رگرسیون برای پیش‌بینی مصرف آب.....
۴۴.....	درخت تصمیم.....
۴۶.....	مثال کاربردی: استفاده از درخت تصمیم در تشخیص احتمال شکست لوله.....
۴۷.....	جنگل تصادفی.....
۴۷.....	مفهوم یادگیری گروهی: خرد جمعی.....
۴۹.....	نمونه‌گیری تصادفی از داده‌ها.....
۵۰.....	انتخاب تصادفی ویژگی‌ها:.....
۵۱.....	مثال کاربردی: استفاده از جنگل تصادفی در پیش‌بینی کیفیت آب خروجی تصفیه‌خانه.....
۵۱.....	ماشین بردار پشتیبان.....
۵۱.....	مفهوم اصلی ماشین بردار پشتیبان: بهترین خط جداکننده.....
۵۲.....	چرا بیشترین حاشیه مهم است؟.....
۵۳.....	محاسبه و بیشینه‌سازی حاشیه.....
۵۶.....	مثال کاربردی: تشخیص لوله سالم.....
۵۷.....	داده‌های غیرخطی: نقش هسته‌ها.....
۵۷.....	انواع هسته‌های رایج:.....
۵۸.....	مثال کاربردی: تشخیص نشت در شبکه آب.....
۵۹.....	ملاحظات عملی و محدودیت‌های SVM
۶۰.....	K -نزدیک‌ترین همسایه.....
۶۲.....	توضیح گام به گام الگوریتم $K-NN$
۶۵.....	$K-NN$ در مسائل رگرسیون.....
۶۷.....	مثال کاربردی: طبقه‌بندی الگوی مصرف مشترکین.....
۶۷.....	تعریف مساله.....
۶۹.....	نرمال‌سازی $MIN-MAX$
۷۰.....	مزایا و محدودیت‌های $K-NN$

۷۳	یادگیری بدون نظارت.....
۷۴	تفاوت اساسی با یادگیری نظارت شده.....
۷۴	انواع اصلی یادگیری بدون نظارت.....
۷۵	الگوریتم $K-MEANS$: پایه‌ای‌ترین روش خوشه‌بندی.....
۷۵	مراحل دقیق الگوریتم $K-MEANS$
۷۸	تابع هدف $K-MEANS$: کمینه‌سازی واریانس درون خوشه‌ای.....
۸۰	مثال کاربردی: استفاده از الگوریتم $K-MEANS$ در حوزه مشترکین.....
۸۰	مثال عددی محاسبه مجموع مربعات فواصل تا مراکز خوشه‌ها.....
۸۲	انتخاب بهینه تعداد خوشه‌ها (K).....
۸۳	مثال کاربردی: استفاده از $K-MEANS$ در تقسیم‌بندی مشترکین.....
۸۴	محدودیت‌های $K-MEANS$ و نیاز به روش‌های جایگزین.....
۸۴	الگوریتم $DBSCAN$: خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم.....
۸۴	مفهوم اصلی: همسایگی و تراکم.....
۸۵	طبقه‌بندی نقاط در $DBSCAN$
۸۶	مراحل اجرای الگوریتم $DBSCAN$
۸۶	مثال عددی نحوه کار $DBSCAN$
۸۷	مثال کاربردی: شناسایی مناطق دارای نشتی با استفاده از $DBSCAN$
۸۸	مزایا و محدودیت‌های $DBSCAN$
۸۸	تحلیل مؤلفه‌های اصلی.....
۸۸	مفهوم کاهش بعد: چرا نیاز داریم؟.....
۸۹	ایده اصلی PCA : یافتن جهت‌های برداری مهم.....
۹۰	نحوه کار PCA به صورت گام به گام.....
۹۱	مثال کاربرد PCA در کاهش از دو بعد به یک بعد در حوزه مصرف مشترکین.....
۹۲	درصد واریانس حفظ شده.....
۹۴	مثال کاربردی: استفاده از PCA تحلیل کیفیت آب.....
۹۴	مزایا و کاربردهای PCA
۹۵	محدودیت‌های PCA
۹۵	جنگل ایزوله: تشخیص ناهنجاری.....
۹۶	چالش تشخیص ناهنجاری: سوزن در انبار کاه.....
۹۶	ایده اصلی جنگل ایزوله: ایزوله کردن نقاط غیرعادی.....
۹۷	نحوه ساخت درخت ایزوله.....

مثال کاربردی: استفاده از الگوریتم درخت ایزوله برای شناسایی مصارف غیرعادی مشترکین.....	۹۸
امتیاز ناهنجاری.....	۹۹
مثال کاربردی: استفاده از الگوریتم درخت ایزوله در تشخیص نشت از روی الگوی مصرف.....	۱۰۰
مزایای جنگل ایزوله.....	۱۰۱
کاربردهای عملی جنگل ایزوله در صنعت آب و فاضلاب.....	۱۰۱
محدودیت‌ها و ملاحظات عملی.....	۱۰۲
یادگیری تقویتی: یادگیری از طریق آزمون و خطا.....	۱۰۳
اجزای اساسی یادگیری تقویتی.....	۱۰۴
چگونه عامل یاد می‌گیرد؟.....	۱۰۵
کاربردهای یادگیری تقویتی در صنعت آب و فاضلاب.....	۱۰۶
چالش‌ها و ملاحظات عملی یادگیری تقویتی.....	۱۰۶
آینده یادگیری تقویتی در صنعت آب.....	۱۰۷

فصل سوم ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌های یادگیری ماشین..... ۱۰۹

چرا ارزیابی مدل اهمیت دارد؟.....	۱۱۰
مفاهیم پایه: داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمون.....	۱۱۱
معیارهای ارزیابی برای مسائل دسته‌بندی.....	۱۱۲
دقت کلی: ساده اما گاهی گمراه‌کننده.....	۱۱۲
ماتریس درهم‌ریختگی: تصویری از عملکرد.....	۱۱۲
صحت و بازیابی: دو روی یک سکه.....	۱۱۳
$F1$ -SCORE: ترکیبی متعادل.....	۱۱۶
مثال از تشخیص خرابی یک الکتروپمپ در صنعت آب و فاضلاب.....	۱۱۷
منحنی ROC و AUC: تصویری جامع از عملکرد.....	۱۱۸
معیارهای ارزیابی برای مسائل رگرسیون.....	۱۱۹
میانگین خطای مطلق: ساده و قابل فهم.....	۱۱۹
میانگین مربعات خطا: برجسته‌سازی خطاهای بزرگ.....	۱۲۰
ضریب تعیین: نسبت واریانس توضیح داده شده.....	۱۲۱
میانگین درصدی خطای مطلق: نسبی‌سازی خطا.....	۱۲۳
اعتبارسنجی متقاطع: ارزیابی قوی‌تر.....	۱۲۴

۱۲۴	اعتبارسنجی متقاطع <i>K-FOLD</i>
۱۲۵	اعتبارسنجی متقاطع طبقه‌بندی شده.....
۱۲۶	اعتبارسنجی متقاطع سری زمانی.....
۱۲۶	انتخاب مدل و تنظیم هایپر پارامترها.....
۱۲۷	جستجوی شبکه‌ای.....
۱۲۷	جستجوی تصادفی.....
۱۲۷	بهینه‌سازی بیزی.....
۱۲۸	تشخیص و مدیریت داده‌های نامتعادل.....
۱۲۸	مشکلات داده‌های نامتعادل.....
۱۲۸	روش‌های مقابله با نامتعادلی.....
۱۳۰	تفسیرپذیری و شفافیت مدل.....
۱۳۰	چرا تفسیرپذیری مهم است؟.....
۱۳۰	مدل‌های ذاتا تفسیرپذیر.....
۱۳۰	تکنیک‌های تفسیر مدل‌های جعبه سیاه.....
۱۳۱	معاوضه بین دقت و تفسیرپذیری.....
۱۳۲	ارزیابی عملکرد در محیط واقعی.....
۱۳۲	کاهش عملکرد مدل.....
۱۳۲	رصد مداوم.....
۱۳۳	مطالعه موردی: ارزیابی مدل پیش‌بینی مصرف آب.....
۱۳۳	گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها.....
۱۳۴	آموزش و مقایسه مدل‌ها.....
۱۳۴	تحلیل خطاها.....
۱۳۴	تفسیر مدل برتر.....
۱۳۵	ارزیابی نهایی روی داده‌های آزمون.....
۱۳۵	استقرار و رصد.....
۱۳۵	مفهوم کلی بیش‌برازش و کم‌برازش.....
۱۳۶	تشبیه برای درک بهتر: دانش آموز در حال یادگیری.....
۱۳۶	بیش‌برازش.....
۱۳۷	علائم بیش‌برازش.....
۱۳۷	دلایل بیش‌برازش.....
۱۳۸	راه کارهای جلوگیری از بیش‌برازش.....

استفاده از تنظیم‌کننده‌های $L2, L1$	۱۳۸
منظور از وزن چیست؟	۱۳۹
کم‌برازش	۱۳۹
علائم کم‌برازش	۱۳۹
دلایل کم‌برازش	۱۴۰
راه‌کارهای برطرف کردن کم‌برازش	۱۴۰
تعادل ایده‌آل	۱۴۰
نکات عملی و توصیه‌ها	۱۴۱
جمع‌بندی	۱۴۳
فصل چهارم مدل‌های زبانی و هوش مصنوعی مولد	۱۴۵
مقدمه: انقلاب مدل‌های زبانی	۱۴۶
از پردازش زبان سنتی تا انقلاب LLM	۱۴۶
تفاوت بنیادین با روش‌های قبلی	۱۴۷
چرا صنعت آب و فاضلاب به LLM نیاز دارد؟	۱۴۸
دسترسی عمومی به هوش مصنوعی	۱۴۹
چالش‌ها و محدودیت‌های LLM	۱۵۰
معماری $TRANSFORMER$: قلب تپنده مدل‌های زبانی	۱۵۱
مشکلات روش‌های قبل از $TRANSFORMER$	۱۵۱
ایده انقلابی: مکانیسم توجه	۱۵۱
توجه درونی: نگاه کلمات به یکدیگر	۱۵۲
تابع $SOFTMAX$: تبدیل امتیازها به احتمالات	۱۵۲
مثال عددی استفاده از تابع $SOFTMAX$	۱۵۴
کاربرد $SOFTMAX$ در $TRANSFORMER$	۱۵۵
مثال عددی تبدیل امتیازها به احتمال با استفاده از تابع $SOFTMAX$	۱۵۵
مثال عددی محاسبه امتیاز توجه	۱۵۶
چند مکانیسم توجه: نگاه از زوایای مختلف	۱۵۷
لایه‌های $TRANSFORMER$: ساختن درک عمیق	۱۵۷
چرا $TRANSFORMER$ یک انقلاب محسوب می‌شود؟	۱۵۷

۱۵۸	چگونه <i>TRANSFORMER</i> جمله‌های فنی آب را درک می‌کند؟
۱۵۸	نحوه آموزش و کار مدل‌های زبانی
۱۵۹	مرحله اول: پیش‌آموزش
۱۶۰	مثال از پیش‌آموزش مدل زبانی
۱۶۱	مرحله دوم: تنظیم دقیق
۱۶۲	مثال نحوه کار تنظیم دقیق مدل زبانی
۱۶۳	مرحله سوم: آموزش تعامل با انسان
۱۶۳	مثال از نحوه کار <i>RLHF</i>
۱۶۵	هنر گفت‌وگو با مدل‌های زبانی
۱۶۵	پرامپت چیست و چرا مهم است؟
۱۶۶	اصول پایه: پرامپت خوب چه ویژگی‌هایی دارد؟
۱۶۶	مثال کاربردی: پرامپت ضعیف و یک پرامپت قوی
۱۶۷	مثال کاربردی: پرامپت بدون زمینه و با زمینه
۱۶۷	مثال کاربردی: پرامپت نویسی با استفاده از درج مثال‌های عملی در طبقه‌بندی
۱۶۸	مثال کاربردی: پرامپت نویسی با استفاده از نقش‌آفرینی
۱۶۹	زنجیره تفکر
۱۶۹	مثال کاربردی: پرامپت‌نویسی با استفاده از زنجیره‌ی تفکر
۱۷۰	مثال کاربردی: مهندسی پرامپت در تحلیل گزارش آزمایش آب
۱۷۱	مثال کاربردی: مهندسی پرامپت در کمک به عیب‌یابی
۱۷۱	مثال کاربردی: مهندسی پرامپت در تولید مستندات
۱۷۲	<i>RAG</i> : ترکیب مدل زبانی با دانش سازمانی
۱۷۳	<i>RAG</i> چگونه کار می‌کند؟
۱۷۴	فناوری پایگاه داده برداری: قلب جستجوی هوشمند
۱۷۵	جستجوی معنایی به جای کلیدواژه
۱۷۵	فرایند آماده‌سازی و پیاده‌سازی <i>RAG</i>
۱۷۶	مزایای استفاده از <i>RAG</i>
۱۷۷	چالش‌ها و نکات عملی استفاده از <i>RAG</i>
۱۷۸	کاربردهای عملی مدل‌های زبانی در صنعت آب و فاضلاب
۱۸۵	چالش‌ها، محدودیت‌ها و ملاحظات عملی استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ
۱۸۵	هذیان‌گویی و خطر اطلاعات جعلی
۱۸۶	هزینه استفاده

۱۸۶	 حریم خصوصی و امنیت داده‌ها
۱۸۷	 نیاز به نظارت و بازبینی انسانی
۱۸۹	 فصل پنجم راهنمای عملی پیاده‌سازی از ایده تا اجرا
۱۹۰	 نگاه به آینده: ارزیابی آمادگی سازمان
۱۹۳	 انتخاب اولین پروژه: کلید موفقیت
۱۹۳	 ویژگی‌های یک پروژه اول خوب
۱۹۸	 استفاده از <i>API</i> های ابری یا مدل‌های محلی
۱۹۸	 ابزارهای <i>RAG</i> و <i>VECTOR DATABASE</i>
۱۹۸	 پلتفرم‌های <i>NO-CODE</i> و <i>LOW-CODE</i>
۱۹۹	 معیارهای انتخاب
۱۹۹	 مراحل اجرا: از ایده تا محصول نهایی
۲۰۱	 معیارهای موفقیت و ارزیابی
۲۰۱	 انواع معیارها
۲۰۲	 تعیین مبنا و هدف
۲۰۲	 روش‌های جمع‌آوری داده برای ارزیابی
۲۰۳	 اشتباهات رایج و نحوه اجتناب از آن‌ها
۲۰۴	 عوامل موفقیت: چه چیزی پروژه‌ها را موفق می‌کند؟
۲۰۶	 نگاهی به آینده: گام‌های بعدی
۲۰۷	 منابع مورد استفاده

پیش‌گفتار

در گذر زمان و در فراز و فرودهای آن، لازمی بقاء پایداری و پیشرفت، به‌روآوری و ارتقاء هماهنگ شدن با شرایط محیط است. این نکته، یک اصل نانوشته در نظام خلقت است و افراد و سازمان‌هایی که از آن غافل باشند، ناخواسته و به‌تدریج از چرخه حیات، حذف می‌شوند. تحول دیجیتال که از دهه‌ی ۸۰ میلادی به‌تدریج در عرصه‌ی علم و دانش، روابط اجتماعی، فناوری و اقتصاد، به یک معنا در تمام شئون زندگی بشر نقش‌آفرین شده و به‌عنوان یک رکن اصلی در جوامع بشری جلوه‌گر شده است. یکی از ثمره‌های این پدیده که در سال‌های اخیر، بروز و نمود بیشتری یافته است، هوش مصنوعی است. اثرگذاری این پدیده در ابعاد گوناگون زندگی چنان ریشه دوانده است که به‌عنوان یک فناوری نوظهور شناخته نمی‌شود، بلکه رویکرد جدیدی در مدیریت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌سازی در همه‌ی اشکال زندگی به‌شمار می‌رود و رویکردی است که امکان‌گذار از "مدیریت واکنشی" به "مدیریت پیش‌نگر"، از تصمیم مبتنی بر تجربه به تصمیم‌گیری بر اساس تحلیل داده و از راهبری و بهره‌برداری سنتی به هوشمند را فراهم آورده است. صنعت آب و فاضلاب که ابعاد مدیریتی آن در قلمرو دانش و فناوری، فرهنگ و روابط اجتماعی، اقتصاد و سرمایه‌گذاری، محیط زیست، توسعه پایدار و سایر عرصه‌های زندگی گسترده است، نیازمند بهره‌مندی از دانش هوش مصنوعی است. کارکردهای هوش مصنوعی در صنعت آب و فاضلاب، از پیش‌بینی نشت و کاهش آب بدون درآمد گرفته تا مدیریت دارایی‌های فیزیکی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، پیش‌بینی تقاضای آب و ارتقای کیفیت خدمات‌رسانی، در حال گسترش است. تجربه‌های جهانی نشان می‌دهد شرکت‌هایی که زودتر و هوشمندانه‌تر به این حوزه ورود کرده‌اند؛ توانسته‌اند بهره‌وری بالاتر، هزینه‌ی کمتر، تاب‌آوری و اعتماد عمومی بیشتری را نزد مشتریان خود به دست آورند.

باید توجه داشت که ورود به عرصه هوش مصنوعی بدون شناخت نیازمندی‌های آن از جمله، زیرساخت داده‌ای مناسب، نیروی انسانی توانمند و خواسته‌ها و انتظارات درست از آن و به یک معنا نگاه راهبردی مدیریتی، امکان‌پذیر نیست. فرهنگ داده‌محوری با داده‌های دقیق و قابل اعتماد، آموزش مستمر کارکنان و انتخاب پروژه‌های پایلوت هدفمند، از پیش‌نیازهای اساسی این مسیر به شمار می‌روند. موفقیت در این حوزه زمانی حاصل می‌شود که فناوری در خدمت انسان قرار گیرد و تصمیم‌سازی هوشمندانه، مکمل تجربه و دانش مدیران و کارشناسان باشد.

این کتاب با درک همین ضرورت‌ها و با هدف ایجاد پلی میان مفاهیم فنی هوش مصنوعی و نیازهای عملی صنعت آب و فاضلاب تألیف شده است. تلاش نویسندگان بر آن بوده است که ضمن ارائه مفاهیم به زبانی ساده و

قابل فهم، کاربردهای واقعی و اجرایی این فناوری را برای مدیران، مهندسان و کارشناسان بیان دارند و نقشه‌ی راهی عملی برای حرکت از ایده تا اجرا ارائه دهد. این اثر می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای تصمیم‌گیران، مجریان و پژوهشگرانی باشد که دغدغه‌ی ارتقای بهره‌وری، پایداری منابع و بهبود کیفیت خدمات را دارند. ضمن قدردانی از تلاش‌های نویسندگان و دست‌اندرکاران در تدوین این کتاب، امید است این اثر بتواند در مسیر هوشمندسازی صنعت آب و فاضلاب کشور و زمینه‌ساز تصمیم‌هایی آگاهانه‌تر، آینده‌نگرانه‌تر و مسئولانه‌تر در مدیریت این صنعت حیاتی، مؤثر باشد. بی‌تردید آینده از آن سازمان‌ها و مدیرانی است که امروز با نگاه علمی، داده‌محور و هوشمند، برای فردای پایدار برنامه‌ریزی می‌کنند.

مجید قنادی

مدیرکل دفتر تحقیقات، توسعه‌ی فناوری و ارتباط با صنعت
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

علیرضا جزءقاسمی

رئیس هیأت مدیره و مدیرعامل
شرکت آب و فاضلاب استان تهران

پیشانی کار

در جهان امروز که منابع حیاتی با تهدیدهای متعدد روبه‌رو هستند و جهان با افزایش تقاضا برای توسعه‌ی شهری، صنعتی و کشاورزی روبه‌رو است، مدیریت کارآمد آب و فاضلاب اهمیت و ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌نماید و مدیران ارشد این صنعت را با پرسش‌هایی بنیادین مواجه می‌سازد: چگونه می‌توان شبکه‌های فرسوده را به سیستمی پایدار تبدیل کرد؟ چگونه باید میان هزینه‌های سنگین سرمایه‌گذاری و محدودیت‌های مالی، تعادل برقرار نمود؟ چگونه می‌توان به دغدغه‌های شهروندان در استمرار و بهبود خدمات پاسخ داد؟

پاسخ به این پرسش‌ها و پرسش‌های مانند آن، دیگر تنها با ابزارهای سنتی ممکن نیست، بلکه نیازمند نگرشی نوین و آینده‌نگر است؛ نگرشی که در آن هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین نقشی اساسی ایفا می‌کنند. هوش مصنوعی را نباید صرفاً مجموعه‌ای از فناوری‌ها دانست. آن چه اهمیت دارد، تغییری است که این ابزارها در شیوه‌ی اندیشیدن مدیران و ساختار تصمیم‌گیری ایجاد می‌کنند. در گذشته، مدیریت آب و فاضلاب بر واکنش به مشکلات استوار بود. حادثه و شکستگی لوله‌ها که رخ می‌داد، قطعی آبی که اتفاق می‌افتاد یا مصرفی که از الگوهای معمول فراتر می‌رفت؛ همه محرک‌هایی بودند که مدیران را وادار به تصمیم‌گیری می‌کردند. اما امروز این امکان فراهم شده است که پیش از وقوع رخدادها، نشانه‌های آن شناسایی شود و اقدام‌های لازم صورت گیرد. این همان تفاوت بنیادینی است که هوش مصنوعی با خود به همراه می‌آورد: حرکت از مدیریت واکنشی به مدیریت پیش‌نگر.

برای درک اهمیت این تحول، کافی است به موضوع هدررفت آب که یکی از اساسی‌ترین مشکلات این صنعت است، توجه کنیم. در بسیاری از کشورها، درصد قابل توجهی از آب تولیدشده یا به دست مصرف‌کننده نمی‌رسد و یا بابت آن بهایی دریافت نمی‌شود و بخشی از آن در مسیر انتقال به دلیل نشتی و شکستگی‌ها و یا به دلیل انشعابات غیرمجاز از محاسبات سازمان خارج می‌شود. هر یک از این رخدادها علاوه بر خسارت مالی، پیامدهای اجتماعی و محیط‌زیستی به‌دنبال دارد. اکنون تصور کنید سامانه‌های مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین بتواند با تحلیل داده‌های فشار، دبی و کیفیت آب، به‌طور لحظه‌ای احتمال بروز نشتی را پیش‌بینی و حتی موقعیت تقریبی آن را تعیین نماید. چنین قابلیت، نه یک رویای دور، بلکه واقعیتی است که در بسیاری از نقاط جهان در حال اجراست و می‌تواند در کشور ما نیز به‌سرعت عملیاتی شود.

باید یادآور شد که در سال‌های اخیر اقدام‌های ارزشمندی در شرکت‌های آب و فاضلاب کشور انجام شده است. تجربه‌های موفق در بهره‌گیری از سامانه‌های پایش برخط، برنامه‌های بهینه‌سازی عملیاتی و بهبود سطح خدمات‌رسانی نشان می‌دهد که این صنعت نه تنها از تحولات جهانی عقب نیست، بلکه زمینه‌های مستحکمی برای گام‌های بعدی دارد. کارشناسان متخصص و متعهد نیز سرمایه‌ای بی‌بدیل هستند که ظرفیت اجرای تحولات عمیق را فراهم می‌سازند. چنین پشتوانه‌هایی موجب می‌شوند نقشه‌ی راه هوشمندسازی نه از نقطه‌ی صفر، بلکه بر پایه‌ی دستاوردهای واقعی و تجربه‌های موفق آغاز شود.

یکی دیگر از عرصه‌های حیاتی، مدیریت دارایی‌های فیزیکی است. خطوط انتقال و توزیع، ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن ذخیره، تصفیه‌خانه‌ها و سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب، دارایی‌هایی هستند که نگهداری و نوسازی آن‌ها، هزینه‌های هنگفتی می‌طلبد. چالش اصلی مدیران این است که بدانند کدام بخش از شبکه، باید زودتر بازسازی شود و کدام دارایی، هنوز ظرفیت خدمت‌رسانی دارد. الگوریتم‌های هوشمند می‌توانند با تحلیل داده‌های تاریخی و شرایط فعلی تجهیزات، الگوهای فرسایش و خرابی را پیش‌بینی و اولویت‌بندی دقیقی برای سرمایه‌گذاری ارائه دهند. این امر به معنای استفاده‌ی بهینه از منابع مالی و افزایش بازدهی دارایی‌ها است.

پیش‌بینی تقاضای آب، یکی دیگر از عرصه‌هایی است که هوش مصنوعی در آن نقشی تعیین‌کننده ایفا می‌کند. مصرف آب، نه تنها تحت تأثیر شمار مشترکان، بلکه متأثر از متغیرهای فصلی، الگوهای مصرفی و مناسبت‌های اجتماعی است. روش‌های سنتی، قادر به تحلیل هم‌زمان این متغیرها نیستند، اما الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با بررسی داده‌های حجیم و متنوع، الگوهای مصرف را شناسایی کرده و پیش‌بینی دقیقی از تقاضا در هر مقطع زمانی، ارائه دهند. چنین دانشی، مدیران را قادر می‌سازد تا از قبل برنامه‌ریزی کرده و از بروز کمبود یا فشار بیش از حد در شبکه جلوگیری کنند.

مصرف انرژی در تأسیسات آب و فاضلاب، موضوعی است که بار مالی قابل توجهی بر دوش شرکت‌ها می‌گذارد. سامانه‌های هوشمند، قادرند الگوهای بهینه بهره‌برداری از پمپ‌ها و تجهیزات را طراحی کنند و با هماهنگی میان مصرف انرژی و نیاز آبی، هزینه‌ها را بهینه و حتی کاهش دهند و افزون بر صرفه‌جویی مالی، به کاهش ردپای کربنی شرکت‌ها و ایفای نقش مسئولانه‌تر در حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند.

بدیهی است که مسیر پیاده‌سازی هوش مصنوعی، ساده و بی‌چالش نیست. نخستین گام در این مسیر، ایجاد زیرساخت‌های داده‌ای قابل اعتماد است. بدون داده‌های دقیق و یکپارچه، هیچ الگوریتمی نمی‌تواند نتایج اتکاپذیر ارائه دهد. بنابراین، شرکت‌ها، باید از همان ابتدا به جمع‌آوری، پالایش و استانداردسازی داده‌ها، توجه ویژه‌ای نشان دهند. ایجاد بانک‌های اطلاعاتی جامع، استفاده از حسگرهای هوشمند و سامانه‌های تله‌متری پیشرفته بخشی از این فرایند است.