OP 209

دستورالعمل
مدل‌سازی هیدرولیکی
شبکه‌های توزیع آب

زمستان ۱۴۰۲

به نام یگانه خدایی که آب را آفرید

همان منشاء حیات را

بسم الله الرحمن الرحیم

دستورالعمل مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب

معاونت راهبری و نظارت بر بهره‌برداری

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

◆ استفاده از مطالب نشریه با ذکر منبع بلا مانع است.

امور طراحی و صفحه آرایی: انتشارات مکث نظر

MAX NAZAR 2024 MAX GROUP DESIGN STUDIO | CSR is our Strategy

تهیه و تنظیم:
کارگروه ملی هدررفت واقعی
دفتر مدیریت مصرف، خدمات مشترکین و
کاهش هدررفت آب

۱- فصل اول: مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب ۶
۱-۱ مقدمه ۶
۱-۲ مزایا و کاربردهای مدل هیدرولیکی ۶
۱-۳ هدف دستورالعمل ۷
۱-۴ ساختار مدل‌های هیدرولیکی ۷
۱-۵ انواع مدل ۷
۱-۵-۱ مدل تمام لوله ۷
۱-۵-۲ مدل کاهش گره ۸
۱-۵-۳ مدل کاهش لوله ۸
۱-۵-۴ مدل کاهش لوله-گره ۸
۲- فصل دوم: ساخت و نگهداشت مدل ۹
۲-۱ مقدمه ۹
۲-۲ نرم‌افزار ۹
۲-۳ انواع داده‌های مدل ۱۰
۲-۳-۱ داده‌های جغرافیایی ۱۰
۲-۳-۲ داده‌های اجزای فیزیکی ۱۰
۲-۳-۳ داده‌های تقاضای آب ۱۱
۲-۳-۴ داده‌های بهره‌برداری ۱۲
۲-۴ منابع جمع‌آوری داده‌های مدل ۱۳
۲-۴-۱ منابع جمع‌آوری داده‌های جغرافیایی ۱۳
۲-۴-۲ ارتباط بین GIS و مدل هیدرولیکی ۱۳
۲-۴-۳ هماهنگی سازمانی ۱۵
۲-۴-۴ شناسه عنصر منحصر به فرد ۱۵
۲-۴-۵ توپولوژی در GIS و مدل‌های هیدرولیکی ۱۵
۲-۴-۶ بازبینی توپولوژی و هم‌بندی هندسه شبکه توزیع در مدل ۱۶
۲-۵ تخصیص و توسعه تقاضا ۱۹
۲-۵-۱ تعیین نوع و مقدار تقاضا ۲۰
۲-۵-۱-۱ تقاضای مسکونی ۲۰
۲-۵-۱-۲ تقاضای تجاری ۲۰
۲-۵-۱-۳ تقاضای صنعتی ۲۰
۲-۵-۱-۴ تقاضای فروش حجمی ۲۱
۲-۵-۱-۵ هدررفت آب ۲۱
۲-۵-۱-۶ منابع هدررفت آب در شبکه توزیع ۲۱
۲-۵-۱-۷ تخصیص هدررفت آب در مدل هیدرولیکی ۲۱
۲-۵-۲ تعیین منبع داده‌های تقاضا و برآورد میزان آن ۲۲
۲-۵-۲-۱ سامانه اطلاعات مشترکین (CIS) ۲۲
۲-۵-۲-۲ منابع اطلاعاتی دیگر تقاضای آب ۲۳

۲-۵-۳ استفاده از مقدار ورود آب به پهنه‌ها ۲۳
۲-۵-۴ استفاده از کاربری اراضی ۲۳
۲-۵-۵ استفاده از اطلاعات جمعیت منطقه ۲۴
۲-۵-۳ فرایند تخصیص تقاضا در مدل هیدرولیکی ۲۴
۲-۵-۳-۱ اطلاعات مصرف ۲۴
۲-۵-۳-۲ گره‌های با و بدون برداشت آب ۲۵
۲-۵-۴ تعیین مقدارتقاضای پایه ۲۵
۲-۵-۴-۱ موقعیت مکانی انشعاب ۲۶
۲-۵-۴-۲ تخصیص تقاضا با هدف واسنجی ۲۶
۲-۵-۴-۳ تخصیص تقاضا با هدف تحلیل ۲۶
۲-۵-۴-۴ تغییرات فصلی ۲۶
۲-۵-۴-۵ منحنی تغییرات مصرف در طول روز ۲۷
۲-۶ نگهداشت مدل هیدرولیکی ۲۸
۲-۶-۱ تناوب به‌روزرسانی ۲۹
۲-۶-۱-۱ نگهداشت دوره‌ای مدل ۲۹
۲-۶-۱-۲ نوسازی مدل ۳۰
۳- فصل سوم: اندازه‌گیری و آزمون ۳۱
۳-۱ مقدمه ۳۱
۳-۲ آماده‌سازی و برنامه‌ریزی برای آزمون‌های میدانی ۳۱
۳-۲-۱ نقشه‌ها ۳۲
۳-۲-۲ موازنه حجمی جریان ۳۲
۳-۲-۳ آماده‌سازی تجهیزات اندازه‌گیری ۳۲
۳-۲-۴ سایر ملاحظات آماده‌سازی و برنامه‌ریزی ۳۳
۳-۳ آزمون‌های هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب ۳۳
۳-۳-۱ آزمون اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی ۳۳
۳-۳-۲ آزمون زبری لوله ۳۷
۳-۳-۲-۱ روش شیلنگ موازی ۳۸
۳-۳-۲-۲ روش استفاده از دو فشارسنج ۳۹
۳-۳-۲-۳ روش‌های دیگر ۳۹
۳-۳-۳ آزمون پمپ‌ها ۴۰
۳-۳-۴ آزمون شیب هیدرولیکی ۴۱
۳-۳-۵ سایر آزمون‌ها ۴۲
۳-۳-۶ ملاحظات آزمون‌ها ۴۳
۳-۴ کیفیت داده‌ها ۴۳
۴- فصل چهارم: واسنجی مدل ۴۵
۴-۱ مقدمه ۴۵
۴-۲ واسنجی چیست؟ ۴۵
۴-۲-۱ واسنجی، اصلاح و اعتبارسنجی ۴۶
۴-۲-۲ اصلاح مغایرت داده‌های اندازه‌گیری‌شده و نتایج مدل ۴۶
۴-۲-۳ انواع واسنجی ۴۷
۴-۲-۴ اهداف واسنجی ۴۸
۴-۲-۴-۱ پیش‌نویس‌های راهنمای واسنجی (ECAC) ۴۹
۴-۲-۴-۲ دستورالعمل‌های عمومی ۴۹
۴-۲-۴-۳ دستورالعمل‌های انگلستان ۴۹
۴-۲-۴-۴ واسنجی خودکار ۵۰
۴-۲-۴-۵ گزارش دقت واسنجی ۵۰
۴-۲-۵ منابع داده‌ها و خطاها ۵۱
۴-۲-۵-۱ پایگاه‌های داده نقشه‌های شبکه توزیع و دارایی‌ها ۵۱
۴-۲-۵-۲ داده‌های تراز ارتفاع ۵۲
۴-۲-۵-۳ مدیریت کنترل و گردآوری داده‌ها (SCADA) ۵۲
۴-۲-۵-۴ ثبات‌های فشار ۵۲
۴-۲-۵-۵ ثبات‌های دبی ۵۳
۴-۲-۵-۶ منحنی مشخصه پمپ ۵۳
۴-۲-۵-۷ شیرهای کنترل ۵۴
۴-۲-۵-۸ دبی‌های اندازه‌گیری‌نشده ۵۵
۴-۲-۵-۹ اطلاعات فروش (اندازه‌گیری‌شده) ۵۵
۴-۲-۵-۱۰ آب بدون درآمد ۵۶
۴-۲-۵-۱۱ ضرایب حداکثرتقاضا ۵۶
۴-۲-۵-۱۲ضرایب زبری لوله‌ها ۵۶
۴-۲-۵-۱۳ افت‌های موضعی ۵۷
۴-۲-۵-۱۴ هم‌بندی ۵۷
۴-۲-۵-۱۵ موازنه حجمی ۵۷
۴-۳ واسنجی حالت جریان ماندگار ۵۷
۴-۳-۱ واسنجی ساعت حداکثر تقاضا ۵۸
۴-۳-۲ واسنجی دبی آتش‌نشانی ۵۹
۴-۳-۲-۱ شناسایی شیرفلکه‌های بسته ۵۹
۴-۳-۲-۲ مدل‌های تمام لوله ۶۰
۴-۳-۳ گزارش نتایج واسنجی ۶۰
۴-۴ واسنجی شبیه‌سازی دوره‌ای ۶۱
۴-۴-۱ واسنجی روز حداکثر تقاضا ۶۲
۴-۴-۱-۱ کنترل‌های مدل ۶۲
۴-۴-۱-۲ ضریب حداکثر تقاضا ۶۳
۴-۴-۱-۳ دبی‌های آتش‌نشانی ۶۴
۴-۴-۲ تنظیمات مدل برای حالت EPS ۶۵
۴-۴-۲-۱ منحنی مشخصه پمپ‌ها ۶۵
۴-۴-۲-۲ موقعیت شیرالات ۶۵
۴-۴-۲-۳ کنترل‌های منطقی ۶۵
۴-۴-۲-۴ الگوهای تقاضای روزانه ۶۵
۴-۴-۲-۵ موقعیت لوله‌ها ۶۵
۴-۴-۲-۶ شیر فلکه‌های بسته ۶۶
۴-۴-۲-۷ خطاهای اسکادا ۶۶
۴-۴-۳ گزارش نتایج واسنجی حالت EPS ۶۶

مقدمه

بهره‌برداری بهینه و موثر از شبکه‌های توزیع آب یکی از وظایف مهم شرکت‌های آب و فاضلاب می‌باشد. گسترش بی‌رویه و غیراصولی شهرها و روستاهای کشور در طی سال‌های گذشته بعضاً باعث گردیده است که طراحی شبکه‌های آبرسانی از مبنای علمی و اصولی و منطبق با نیازهای افق طرح پیروی ننموده و این موضوع در بسیاری از مناطق باعث عدم توزیع بهینه آب و تامین نشدن پارامترهای مهمی از جمله دبی و فشار در برخی از شبکه‌های توزیع آب شده است.

توزیع بهینه دبی، فشار و سرعت در یک شبکه آبرسانی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این رابطه اولین گام مدل سازی هیدرولیکی وضع موجود شبکه و تحلیل آن در راستای رفع مشکلات هیدرولیکی می‌باشد.

این در حالیست که بیشتر استفاده از مدل‌های هیدرولیکی برای توسعه شبکه‌های آبرسانی رواج پیدا کرده است و در شرکت‌های آب و فاضلاب برای بهره‌برداری بهینه کمتر از مدل‌سازی هیدرولیکی وضع موجود استفاده شده است. دستورالعمل مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب که با محوریت دفتر مدیریت مصرف،خدمات مشترکین و نظارت بر کاهش هدررفت آب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و همت و تلاش دو ساله اعضای کارگروه هدررفت واقعی آب تدوین شده است، دستورالعمل کاربردی به منظور مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه‌های موجود با هدف بهره‌برداری بهینه می‌باشد که کمک به‌سزایی در رفع مشکلات هیدرولیکی شبکه‌های توزیع شهرها و روستاها خواهد بود.

امید است با استفاده از این دستورالعمل و تحلیل شبکه‌های توزیع براساس نتایج مدل‌های هیدرولیکی واسنجی شده وضع موجود، می‌توان نسبت به رفع مشکلات هیدرولیکی در شهرها و روستاهای کشور اقدام نمود.

دستورالعمل تدوین شده اگرچه نتیجه بررسی‌های کارشناسی جمعی از متخصصین صنعت آب و فاضلاب کشور می‌باشد ولی قطعا خالی از اشکال نیست و نیازمند مطالعه و اظهار نظر کارشناسی توسط مدیران و کارشناسان متخصص در شرکت های آب و فاضلاب می باشد. لذا تقاضا دارد هرگونه نظر و پیشنهاد کارشناسی به منظور ارتقاء و اطلاع از دستورالعمل را به دفتر مدیریت مصرف، خدمات مشترکین و نظارت بر کاهش هدررفت آب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور ارسال فرمائید.

علیرضا جزءقاسمی

معاون راهبری و نظارت بر بهره برداری

فصل اول: مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب

۱-۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع آب از یک سامانه پیچیده شامل مخازن، لوله‌ها، شیرالات و پمپ‌ها تشکیل شده‌اند که آب آشامیدنی را از محل تولید به‌صورت مطمئن، مداوم، با کیفیت و با کمترین هزینه به دست مشترکین برسانند. درک عملکرد این سامانه‌ها به‌دلیل پیچیدگی فیزیکی اجزاء، وسعت شبکه توزیع و همچنین حجم بالای اطلاعات آن، بسیار دشوار است. بنابراین برای درک کامل عملکرد یک سامانه توزیع نیاز به یک ابزار قدرتمند رایانه‌ای است تا بتواند در هر نقطه از سامانه و در هر زمان، اطلاعات مورد نیاز را به‌صورت قابل‌درک برای کاربر در سریع‌ترین زمان ممکن ارائه دهد. مدل هیدرولیکی سامانه توزیع آب، یکی از ابزارهایی است که به مرور زمان برای کمک به طراحان، بهره‌برداران و مدیران به‌منظور دستیابی به اهداف مورد نظر توسعه یافته است. مدل‌سازی شبکه توزیع آب، فرآیند طراحی یک مدل رایانه‌ای در قالب یک نرم‌افزار از سامانه واقعی است. از یک مدل برای پیش‌بینی عملکرد سامانه و حل طیف گسترده‌ای از مسائل طراحی، بهره‌برداری و تحلیل کیفیت آب استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، یک مدل هیدرولیکی، فشار و دبی مکان‌های مختلف یک شبکه توزیع را برای ارزیابی یک شبکه و مقایسه عملکرد آن در برابر استانداردهای طراحی می‌تواند در اختیار قرار دهد. همچنین، از این مدل‌ها در طرح‌های بهره‌برداری و به‌منظور ارزیابی ظرفیت ذخیره، بررسی طرح‌های کنترل، یافتن راه‌های تأمین آب در سناریوهای دشوار بهره‌برداری و تحلیل و کنترل نشت می‌توان استفاده کرد. از مدل‌های کیفیت آب نیز برای محاسبه سن آب، توزیع مواد (مانند کلر) و ردیابی منابع در یک شبکه توزیع استفاده می‌شود.

۱-۲ مزایا و کاربردهای مدل هیدرولیکی

تعداد معادلات لازم به‌منظور تحلیل شبکه توزیع آب حتی برای ساده‌ترین شبکه نیز، بسیار زیاد است. بنابراین، رایانه به‌عنوان وسیله‌ای مؤثر در مدیریت حجم انبوهی از اطلاعات برای تجزیه و تحلیل شبکه‌های توزیع آب لازم است. همچنین در مدل رایانه‌ای، این محاسبات بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر از محاسبات دستی انجام می‌شود و تصمیم‌گیرندگان به جای تمرکز بر حل معادلات، بیشتر در برقراری ارتباط نتایج مدل‌سازی و تدوین و مقایسه گزینه‌های طراحی سامانه‌ها متمرکز می‌شوند و درصورت اجرای صحیح، مدل‌ها به بخشی جدایی‌ناپذیر از فرآیند برنامه‌ریزی، طراحی، تصمیم‌گیری و بهره‌برداری در سامانه‌های توزیع آب تبدیل می‌شوند.از مزایای مدل‌سازی شبکه توزیع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- شناسایی و تحلیل وضع موجود و عوامل موثر در عملکرد شبکه توزیع آب

۲- امکان بررسی تأثیر تغییر عوامل یا شرایط محیطی بر وضع موجود؛ در حالی‌که انجام آزمایش‌های میدانی هزینه‌بر و شاید غیر ممکن باشد.

۳- بررسی توسعه شبکه توزیع و تاثیر آن بر وضع موجود

۴- بررسی سناریوهای مختلف طراحی و بهره‌برداری از شبکه توزیع

۵- طراحی بهینه قطر لوله‌های شبکه توزیع

۶- تعیین اولویت‌های بازسازی شبکه

۷- ارزیابی وضعیت کیفیت آب

۸- پهنه‌بندی‌های شبکه و ارزیابی نتایج آن

۹- تدوین برنامه‌های جیره‌بندی و بررسی اثرگذاری طرح‌های مدیریت مصرف و مدیریت فشار در شبکه¬ها

۳-۱ هدف دستورالعمل

هدف این دستورالعمل، به اشتراک گذاشتن تجربیات و تخصص‌های جمعی در فرایند مدل‌سازی سامانه‌های توزیع آب آشامیدنی است. همان‌طور که در ادامه اشاره خواهد شد، در تهیه مدل‌های هیدرولیکی اطلاعات مورد نیاز از منابع مختلف از جمله سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)، سامانه‌های رایانه‌ای طراحی و تهیه پیش‌نویس (CADD)، سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده‌ها (SCADA) و سامانه‌های اطلاعات مشترکین (CIS) استفاده می‌شود و این سامانه‌ها به‌طور مرتب با مدل هیدرولیکی در ارتباط هستند. از طرفی فقدان یک پایگاه اطلاعاتی منسجم در فعالیت‌های بهره‌برداری در شرکت‌های آب و فاضلاب موجب اختلال در فعالیت‌ها می‌شود. به علت عدم وجود این پایگاه داده‌ها، معمولاً به اطلاعات افراد با تجربه در این زمینه رجوع می‌شود؛ لذا یکی از اهداف اصلی این دستورالعمل، همسوسازی این سامانه‌ها با یکدیگر، به‌روزرسانی و نگهداری اطلاعات در قالب مدل هیدرولیکی است. بحث‌های عمده این دستورالعمل شامل موارد زیر است:

- ساخت مدل
- اندازه‌گیری و آزمون
- واسنجی مدل
- نگهداشت مدل

۴-۱ ساختار مدل‌های هیدرولیکی

هدف اساسی مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه توزیع آب، ایجاد و توسعه مدلی است که عملکرد سامانه توزیع را به اندازه کافی و مورد نیاز شبیه‌سازی کند تا با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل هیدرولیکی، بتوان عملکرد شبکه توزیع را بررسی و تحلیل کرد. اما ایجاد مدل هیدرولیکی با سطح جزئیات موجود، ممکن است در GIS لازم و یا عملی نباشد. بر این اساس، مدل‌ها را می‌توان با توجه به عناصر مدل (لوله‌ها، پمپ‌ها، شیرها و مخازن) و مشخصات آنها در GIS، طبقه بندی کرد. درجه جزئیات مورد نیاز در مدل، تا حد زیادی تحت تأثیر اهداف در نظر گرفته‌شده خواهد بود. قبل از ایجاد یک مدل هیدرولیکی، اهداف حال و آینده باید تعیین شود تا میزان دقت داده‌های لازم برای بارگذاری مدل و دقت واسنجی مشخص گردد. این موضوع بسیار مهم است که شبیه‌ساز از محدودیت‌های مدل آگاه باشد. به‌عنوان مثال، اگر اهداف دراز مدت مدنظر نباشد، تنها لازم است خطوط لوله اصلی ایجاد و تقاضا براساس اطلاعات موجود، برآورد و در کل شبکه آب توزیع شود. از طرف دیگر مدلی که برای ارزیابی ظرفیت جریان مورد نیاز آتش نشانی در سطح شبکه، مطالعات مدیریت نشت، مدیریت مصرف انرژی یا مدل‌سازی کیفی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، به جزئیات بیشتری نیاز دارد. زمان و منابع مالی موجود نیز بر سطح جزئیات مدل تأثیر گذار است.

۵-۱ انواع مدل

شرح انواع مختلف و اندازه مدل‌ها همراه با مزایا و معایب آنها در ادامه آمده است.

۱-۵-۱- مدل تمام لوله[1]: در این مدل همه لوله‌ها و گره‌های سامانه به همراه جزئیات دربرگرفته و رابطه یک به یک بین GIS و عناصر مدل در نظر گرفته می‌شود. در مدل تمام لوله، هیچ‌گونه کاهش لوله و گره صورت نمی‌گیرد. با این حال این مدل‌ها به دلیل در نظر گرفتن جزئیات، به زمان پردازش طولانی‌تر، فضای بزرگ ذخیره‌سازی رایانه و اغلب

1.All-Pipes Model

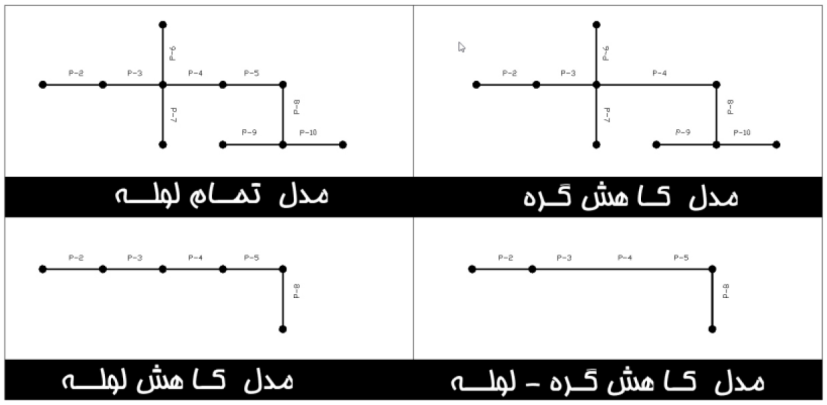
به نرم‌افزار مدل‌سازی گران‌تری نیاز دارند. اما با توجه به پیشرفت روزافزون در پردازش رایانه‌ها، دستگاه‌های ذخیره‌سازی و قابلیت‌های نرم افزارها، نگرانی از این بابت کمتر است. در مدل تمام لوله همه ویژگی‌های GIS حفظ می‌شود که این امر، امکان تبدیل خودکار داده‌ها از جدول اطلاعات توصیفی در GIS به ساختار پایه مدل هیدرولیکی را تسهیل می‌کند.

۱-۵-۲- مدل کاهش گره[2]: مدل کاهش گره، شبیه به مدل تمام لوله است؛ با این تفاوت که گره‌های میانی در امتداد لوله‌های با قطر، جنس و سن مشابه حذف و میزان تقاضای آنها بین گره‌های ابتدا و انتهای لوله تخصیص می‌یابد. در مدل کاهش گره، یک لوله مدل از چندین لوله ممتد درGIS (رابطه یک به چند) می‌تواند تشکیل شود. در این نوع مدل، به دلیل رابطه یک به چند، برای نگهداشت مدل به تلاش و هماهنگی بیشتری نیاز است اما به دلیل کاهش تعداد لوله‌ها، سرعت شبیه‌سازی افزایش می‌یابد. رابطه هر لوله معادل‌سازی‌شده با GIS، به‌منظور به‌روزرسانی‌های آتی بایددر نظر گرفته شود.

۱-۵-۳- مدل کاهش لوله[3]: این مدل، معمولا شامل تمام لوله‌های با قطر بزرگتر (از یک مقدار مشخص) است. به دلیل آن‌که مدل‌های کاهش لوله تنها نمایانگر لوله‌های با قطر بزرگ هستند، گاهی اوقات به آنها مدل ستون فقرات شبکه نیز می‌گویند. مدل کاهش لوله نیز در مقایسه با مدل تمام لوله، به دلیل رابطه یک به چند، نیازمند کار و هماهنگی بیشتری است. با این حال به دلیل کاهش تعداد لوله‌ها، سرعت شبیه‌سازی مدل افزایش می‌یابد. این کاهش در مدل‌سازی، ممکن است فقط شامل ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل لوله‌های شبکه باشد. در این روش در حالی‌که سرعت اجرای مدل هیدرولیکی در مقایسه با مدل تمام لوله بهبود می‌یابد، اما ارزیابی جزئیات و موقعیت‌های مکانی سطوح مجاور شبکه توزیع نادیده گرفته می‌شود.

۱-۵-۴- مدل کاهش لوله-گره[4]: این نوع مدل، همان مدل کاهش لوله است؛ با این تفاوت که گره‌های میانی در امتداد لوله‌های با قطر، جنس و سن مشابه نیز حذف می‌شوند. سرعت مدل‌سازی در این نوع مدل، از نمونه‌های قبلی بیشتر اما امکان ارزیابی جزئیات به مراتب کاهش می‌یابد.

شکل (۱-۱)، شمایی از انواع مدل‌های هیدرولیکی یاد شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- انواع مدل‌های هیدرولیکی

2. All-Pipes Reduced Mode
3. Skeletonized Model
4. Skeletonized Reduced Model

فصل دوم: ساخت و نگهداشت مدل

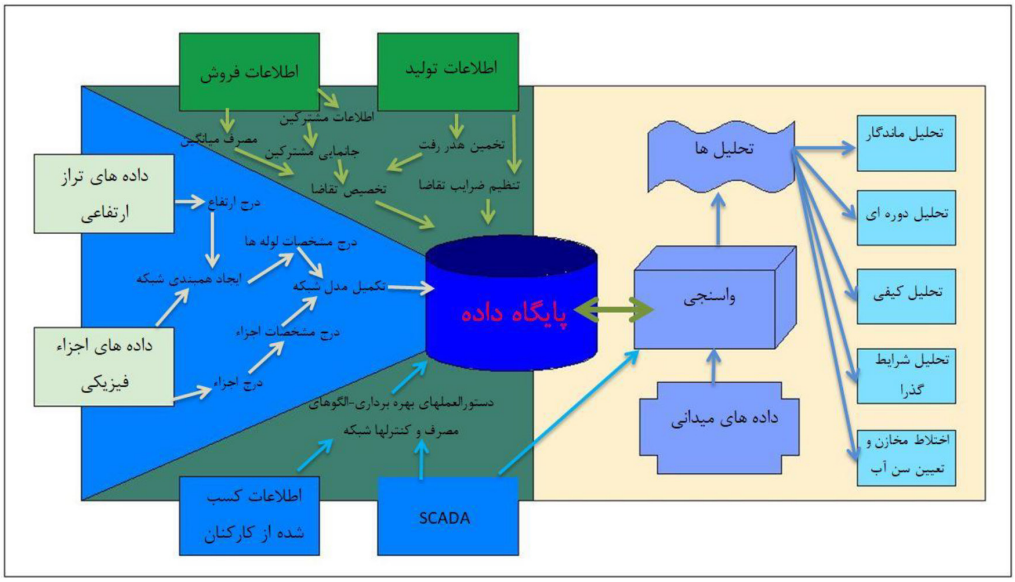
۲-۱ مقدمه

مراحل عمده مرتبط با ایجاد و مدیریت یک مدل شامل ساخت، واسنجی، تجزیه و تحلیل و نگهداشت مدل است. هدف اصلی واسنجی مدل، دستیابی به سطح قابل‌قبولی از اطمینان در توانایی مدل برای ارائه دقیق عملکرد سامانه آب است. یک مدل هیدرولیکی پس از ایجاد و واسنجی، نیاز به نگهداشت دوره‌ای دارد تا بتواند نشانگر عملکرد واقعی شبکه توزیع باشد.

مدل‌ها باید طوری ایجاد و نگهداشت شوند که از نظر الزامات دقت، کامل بودن و سطح جزئیات، متناسب با کاربردهای مورد نظر آن باشند. ایجاد و توسعه یک مدل، با برنامه‌ریزی دقیق برای تعریف نیازها و بررسی منابع اطلاعاتی موجود آغاز می‌شود. یک پروژه شبیه‌سازی، نیازمند برنامه‌ریزی توسط یک بخش متشکل از مهندسین طراحی، ناظر و بهره‌بردار با تجربه در زمینه هیدرولیک، زیرساخت‌های تاسیساتی و بهره‌برداری است.

برای ساخت مدل‌های هیدرولیکی، از انواع داده‌ها استفاده می‌شود. از این‌رو، مستندسازی در طول ساخت مدل و واسنجی آن برای مدیریت داده‌ها و نگهداشت موثر و طولانی‌مدت مدل ضروری است. این امر به‌ویژه هنگام انتقال مدل به سایر بخش‌ها، بسیار حائز اهمیت است.

شکل (۲-۱) مراحل ساخت، تحلیل و واسنجی مدل و همچنین ارتباط بین پایگاه داده‌ها، مدل هیدرولیکی و نگهداشت آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱- مراحل ساخت، تحلیل و واسنجی مدل

۲-۲ نرم‌افزار

نرم افزار، نتایج مدل را به شکل‌های گرافیکی و جدولی ارائه و در ایجاد، نگهداشت و تحلیل پایگاه داده مدل کمک می‌کند. امروزه، مجموعه گسترده‌ای از بسته‌های نرم‌افزاری در مدل‌سازی هیدرولیکی در دسترس است که شرکت‌های آب و فاضلاب می‌توانند برای تهیه بسته نرم‌افزاری موردنیاز خود اقدام نمایند. معیارهای انتخاب

نرم‌افزار براساس ترکیبی از عوامل مختلف همچون سهولت استفاده، ویژگی‌ها، سیاست‌های نگهداری، هزینه‌ها، پشتیبانی فنی، موتور محاسباتی، سوابق شرکت‌های فروشنده، گزینه‌های آموزش، تنظیمات برگزیده ابزار و نرم‌افزار مورد نیاز فعلی می‌باشد.

۲-۳- انواع داده‌های مدل

برای ساخت مدل، چهار گروه اصلی داده شامل انواع داده‌های جغرافیایی، مشخصات اجزای فیزیکی، مقادیر متناظر با تقاضا و اطلاعات بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳-۱- داده‌های جغرافیایی

داده‌های جغرافیایی شامل یک سامانه مختصات جغرافیایی مورد نظر، مرزها، خیابان‌های مرکزی، تصاویر هوایی و سایر اطلاعات مفید برای ایجاد هندسه شبکه توزیع آب می‌باشد. منابع تهیه داده‌های جغرافیایی عبارتند از:

- نقشه‌های کاربری و پهنه‌بندی زمین
- نقشه‌های شهرسازی
- عکس‌های هوایی
- داده‌های ارتفاعی شامل مدل رقومی زمینی (DTM)[5]، مدل رقومی ارتفاعی (DEM)[6] و شبکه نامنظم مثلثی (TIN)[7] و نقشه‌های خطوط هم‌تراز است. منابع اطلاعات این بخش، عمدتا از دو سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و طراحی به کمک رایانه (CAD) می‌باشد که البته سامانه‌های CAD می‌توانند با فرمت‌های GIS نیز ادغام شوند.

۲-۳-۲- داده‌های اجزای فیزیکی

پس از ساخت هندسه شبکه توزیع آب، ویژگی‌های فیزیکی باید به اجزای شبکه توزیع اختصاص یابد. مشخصات داده‌های اجزای فیزیکی برای ورود به مدل، به‌صورت جدول ۲-۱ است:

جدول ۲-۱- داده‌های اجزای فیزیکی ورودی مدل

ردیف	جزء فیزیکی شبکه	اطلاعات لازم
۱	مخزن	ابعاد
		تراز سطح آب
۲	لوله	طول
		قطر داخلی
		ضریب زبری
۳	گره	تراز
		مصرف

5.Digital Terrain Model
6.Digital Elevation Model
7. Triangulated Irregular Network

ردیف	جزء فیزیکی شبکه	اطلاعات لازم
۴	شیرآلات	قطر
		نوع
		تراز
		وضعیت (درصد بازشدگی)
		وضعیت تنظیمی بهره برداری
۵	پمپ	نوع
		تراز
		منحنی مشخصه
		ضریب سرعت نسبی
		برنامه عملکردی پمپاژ

منابع اطلاعات این بخش، عمدتا متشکل از دو سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فایل‌های پایه با فرمت اتوکد می‌باشد.

۲-۳-۳- داده‌های تقاضای آب

برای تعیین تقاضای آب، از سامانه‌های اطلاعاتی مشترکین (CIS) بعلاوه اطلاعات هدررفت آب می‌توان استفاده کرد. CIS دو مزیت منحصر به فرد برای مصرف آب مشترکین نسبت به سایر منابع داده دارد. اول اینکه نمایانگر مصرف واقعی در یک بازه زمانی مشخص است. دوم اینکه مکان دقیق مصرف آب را مشخص می کند. CIS اطلاعات زیادی برای مشترکین ارائه می‌دهد که برخی از اطلاعات مورد نیاز به‌منظور مدل‌سازی در جدول (۲-۲) ذکر شده است:

جدول ۲-۲- داده‌های اجزای فیزیکی ورودی مدل

منطقه	اطلاعات هویتی	متوسط مصرف ماهانه
شماره اشتراک	آدرس	مصرف دوره
کد مانع	مختصات مکانی	مدت دوره
کاربری	تعداد واحد	ظرفیت قراردادی

در اینجا فرض می‌شود تقاضای شبکه، میزان مصرف مشترکین به اضافه هدررفت شبکه است. سامانه‌های مشترکین معمولاً شامل اطلاعات ماهانه مصرف آب است. داده‌های مصرف آب از یک سامانه مشترکین، ممکن است به‌صورت دوازده ماه متوالی به‌منظور تولید تقاضای متوسط روزانه جمع‌آوری شود. البته باید توجه

نمود که آمار مصارف مشترکین، ممکن است در بازه‌های زمانی مختلف قرائت گردند. همچنین، برای برآورد تقاضای حداکثر و حداقل روزانه، ممکن است داده‌های مصرف برای یک فصل یا یک دوره خاص جمع‌آوری شود. اگر داده‌های مصرف مورد نیاز مدل از CIS در دسترس نباشد، می‌توان از روش‌های دیگری که براساس شمارش جمعیت، داده‌های تولید و همچنین تراکم جمعیت در هر محدوده توسعه یافته‌اند، برای برآورد و اختصاص تقاضا به مدل استفاده کرد. این روش‌ها برای شبیه‌سازی سناریوهای افق طرح نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیشنهاد می‌شود که برای کنترل بیشتر، از همه روش‌های یادشده به‌منظور تعیین مصرف استفاده شود و سپس میزان هدررفت شبکه نیز برآورد و به مقدار مصرف اضافه گردد.

۲-۳-۴- داده‌های بهره‌برداری

داده‌های بهره‌برداری، شامل مواردی مانند نرخ جریان، فشارهای ثابت، تراز سطح آب مخزن، نقاط تنظیم (فشار تنظیمی) شیرهای فشار شکن، درصد بازشدگی شیرآلات کنترل دبی و همچنین برنامه‌های کنترلی پمپاژ است که شرایط مرزی[8] را در مدل تعریف می‌کند. داده‌های بهره‌برداری به‌کار رفته در مدل هیدرولیکی، ویژگی‌های عملکرد سامانه آب را دربر می‌گیرند و معمولاً شامل اطلاعاتی هستند که توسط بهره‌بردار در ارتباط با سامانه اسکادا برای نظارت و کنترل امکانات شبکه ارائه می‌شوند. جدول (۲-۳)، داده‌های بهره‌برداری مورد نیاز براساس نوع تاسیسات/تجهیزات را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۳ داده‌های بهره‌برداری

ردیف	تاسیسات/تجهیزات	داده‌های بهره‌برداری مورد نیاز
۱	پمپ	وضعیت پمپ (روشن/خاموش)
		تنظیمات سرعت و فرکانس در پمپ‌های دور متغیر
		نقطه تنظیمی فشار، دبی و ... به‌منظورکنترل پمپ
۲	شیر تنظیم کننده فشار	فشار بالادست/پایین‌دست، وضعیت شیر و تنظیمات
		نقطه تنظیمی فشار، دبی و ... به‌منظورکنترل شیر
۳	شیر کنترل دبی	وضعیت شیر، تنظیمات دبی شیر
		درصد بازشدگی به‌منظورکنترل شیر
۴	فشار گره	داده فشار در ایستگاه‌های پایش فشار شبکه توزیع
۵	دبی لوله	داده جریان اندازه‌گیری‌شده در لوله‌های شبکه توزیع (شامل تبادل داخلی یا کنتورهای مرزی پهنه)

8. Boundary conditions

۲-۴- منابع جمع‌آوری داده‌های مدل

مدل هیدرولیکی، یک دارایی با ارزش برای شرکت‌های آب و فاضلاب است. این مدل، حاصل تلاش جمع قابل‌توجهی از افراد در جمع‌آوری، ورود و کنترل داده‌ها است. لذا چنین سرمایه‌ای (با حفظ ارزش آن) باید در طول زمان محافظت شود. اساسی‌ترین راه حفظ ارزش مدل هیدرولیکی، به‌روزرسانی مدل با تغییرات مناسب در اجزای زیرساخت یا عناصر بهره‌برداری است. برای اطمینان از نتایج، داده‌های مدل باید نمایانگر پیکربندی به‌روز سامانه باشد. یک مدل‌سازی موفق سامانه توزیع ، نیاز به یک تیم متشکل از افرادی دارد که بتوانند تجزیه و تحلیل سامانه را انجام و به‌طور موثر نتایج مدل‌سازی را به تصمیم‌گیرندگان ارائه دهند. همان‌طور که اشاره شد، یک مدل هیدرولیکی از عناصر مختلفی از جمله گره‌ها و لوله¬ها تشکیل شده است اطلاعات مورد نیاز این عناصر، معمولاً از منابع زیر اخذ می‌شود:

۱- نقشه‌های عوارض شهری، تاسیسات و شکل هندسی شبکه توزیع (به‌طور معمول CAD)

۲- سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

۳- سامانه‌های اطلاعات مشترکین (CIS)

۴- سامانه‌های کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده‌ها (SCADA)

۲-۴-۱- منابع جمع‌آوری داده‌های جغرافیایی

نقشه‌های عوارض شهری، تاسیسات و شکل هندسی شبکه توزیع که معمولاً با قالب CAD برای مدیریت نقشه‌های شبکه توزیع آب استفاده می‌شوند، منبع اطلاعات اولیه خوبی برای عوارض شهری و شکل هندسی شبکه توزیع بوده که به مدل منتقل می‌شوند. همچنین، این فایل‌ها به‌عنوان ابزاری برای نمایش اطلاعات مدل و نتایج آن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)، توانایی ذخیره اطلاعات زیادی از جمله نقشه پایه شهری، شبکه توزیع، پراکندگی مشترکین، پهنه‌بندی، اطلاعات توصیفی، مدل‌های زمینی دیجیتال (DTM) و مدل‌های ارتفاع دیجیتال (DEM) را دارند. اطلاعات در GIS، در قالب‌هایی ذخیره می‌شود که اکثر نرم‌افزارهای مدل‌سازی، توانایی فراخوانی آن را دارند. از طرف دیگر، برخی اطلاعات در یک پایگاه داده GIS به صورتی تهیه می‌شود که مستقیما به بانک اطلاعاتی مدل وارد شده و در برخی از نرم افزارهای مدل‌سازی نمایش نیز داده می‌شوند.

۲-۴-۲- ارتباط بینGIS و مدل هیدرولیکی

پیش از این تصور می‌شد که ارتباط بین مدل هیدرولیکی و پایگاه داده GIS، دست و پا گیر، بیش از حد پیچیده و بسیار متفاوت از هم هستند. اما اکنون به دلیل اضافه شدن قدرت پردازش رایانه‌ها، اینترنت پرسرعت و ...، این ارتباط بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. روند برقراری این ارتباط روز به روز سرعت بیشتری به خود می‌گیرد؛ زیرا نیاز به راه‌حل‌های مدل هیدرولیکی در شبکه‌های توزیع با افزایش روزافزونی همراه بوده و پایگاه داده مدل هیدرولیکی و GIS هر روز به هم نزدیک‌تر می‌شود. علاوه بر این، مدل هیدرولیکی عمده اطلاعات را از پایگاه داده GIS دریافت می‌کند و باید ارتباط بین این دو پایگاه داده همیشه برقرار باشد و به‌روزرسانی اطلاعات در هر دو پایگاه، در اولین فرصت ممکن انجام شود. این به‌روزرسانی، شامل موارد زیر است:

- به‌روزرسانی اطلاعات مشترکین
- به‌روزرسانی شکل هندسی شبکه توزیع

■ به‌روزرسانی تأسیسات

به‌طور کلی، سه نوع روش ارتباطات بین مدل و GIS وجود دارد:

۱- تبادل[9]

۲- اتصال[10]

۳- یکپارچه سازی[11]

روش تبادل: این روش پایین‌ترین سطح برای انتقال داده‌ها بین مدل هیدرولیکی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. در این سطح، هیچ پیوند مستقیمی بین دو پایگاه داده وجود ندارد و داده‌ها به‌عنوان منابع داده جداگانه و مستقل ارتباط برقرار می‌کنند. اطلاعات از یک پایگاه داده استخراج و برای ورود به پایگاه داده مقصد در یک پایگاه داده واسط ذخیره می‌شود. این فرایند یک رویکرد نسبتاً دستی برای ارتباطات بین مدل هیدرولیکی و GIS را نشان می‌دهد و ممکن است از فرمت‌هایی مانند (*.xls) و (*.csv) به‌عنوان ارتباط‌دهنده شخص ثالث استفاده کند. از آنجا که در این روش، هیچ پیوندی بین بانک‌های اطلاعاتی وجود ندارد، تبادل نیز به صورت دستی بین دو پایگاه داده انجام می‌شود.

روش اتصال: این روش به ارتباط بین دو پایگاه داده بدون فرمت واسط اطلاق می‌شود. در این ارتباط دو سامانه به‌طور مستقل کار می‌کنند، اما یک اتصال مستقیم وجود دارد؛ به‌طوری‌که فرمت‌های واسط لازم نیست. برای پشتیبانی از اتصال، پروتکل‌ها و ساختارهای ایجادشده در دو پایگاه داده، باید با یکدیگر سازگار باشند. فرمت‌های داده استاندارد، شامل پرونده‌های (*.mdb) و پایگاه داده بصری (*.dbf) هستند. این فایل‌ها از هر دو ویژگی هیدرولیکی و هندسی پشتیبانی می‌کنند و بنابراین بین مدل هیدرولیکی و GIS در دو سطح داده و نمایش گرافیکی ارتباط برقرار می‌نمایند. در تمام مواردی که یک شرکت دارای دفاتر GIS و مدل هیدرولیکی جداگانه است، سطح دوم انتقال و اشتراک داده یا اتصال کاربری حاصل می‌شود.

یکپارچه‌سازی: یکپارچه‌سازی کامل، شامل دو پایگاه داده است که به‌عنوان زیر مجموعه یک پایگاه داده واحد با یک ارتباط شناخته‌شده کار کرده و به‌طور هم‌زمان بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند. ذکر این نکته لازم است که نرم‌افزار درونی GIS، میزبان هر دو پایگاه داده مربوط به مدل هیدرولیکی و GIS به‌طور جداگانه است اما داده‌های هر پایگاه، به‌طور مجزا نگهداری می‌شوند و تداخل اتفاق نمی‌افتد. یک سامانه GIS پایدار و یکپارچه با مدل هیدرولیکی، دارای فرایندی است که عناصر[12] جدید، به‌روز شده در پایگاه داده GIS، در مدل هیدرولیکی نیز ایجاد می‌شود و تغییرات داده‌های ساخته‌شده در مدل هیدرولیکی را نیز با پایگاه داده GIS می‌توان همگام‌سازی کرد. به‌طور معمول، بانک اطلاعاتی GIS قبل از مدل هیدرولیکی به‌روز می‌شود؛ زیرا GIS از انواع برنامه‌های داده‌ای در سطح سازمانی پشتیبانی می‌کند که به خدمات درخواستی مانند نقشه‌برداری، سفارشات کار میدانی، خدمات مشترکین و مدیریت دارایی نیاز دارند. این نکته مهم است که به‌روز کردن یک مدل از GIS، صرفاً وارد کردن عناصر جدید به مدلی که در GIS وجود دارد نیست. هر زمان تجهیزات مدل به‌روزرسانی شود، ممکن است مقادیر تقاضای مدل، تخصیص تقاضا و تنظیمات بهره‌برداری نیز، نیاز به بازنگری داشته باشند. علاوه بر این، باید دقت شود که اطلاعات سناریوهای مدل بروزشده، نیاز به بررسی و تأیید دوباره در پایگاه‌های داده مدل دارد و ممکن است اعتبارسنجی مجدد مدل لازم شود.

9. Interchange
10. Interface
11. Integration
12. Elemnet

۲-۴-۳- هماهنگی سازمانی

مدل هیدرولیکی، اغلب توسط بخش مهندسی و بهره‌برداری تهیه و نگهداری شده؛ در حالی که پایگاه داده GIS، عمدتاً توسط دفاتر GIS تهیه و نگهداری می‌شود. نیاز به ارتباط مداوم و پایدار بین این دو پایگاه اطلاعات، این دو بخش را به هماهنگی در طراحی بانک اطلاعاتی و توسعه تاسیسات ملزم می‌کند. با توجه به مزایا و قابلیت‌های ایجاد مدل یک به یک، شرکت‌ها باید برنامه‌ریزی لازم را برای حفظ این ارتباط مستمر بین دو بانک اطلاعاتی اتخاذ نمایند. در غیر اینصورت، اختلاف بین مدل و پایگاه داده GIS بیشتر می‌شود و برای حل و فصل این مشکل، تلاش بیشتری باید صورت گیرد. با افزایش اختلاف بین این بانک‌های اطلاعاتی، ممکن است نیاز به بازسازی کامل مدل باشد. در حالی که حفظ رابطه یک به یک بین مدل هیدرولیکی و پایگاه داده GIS ضروری است، اما عدم امکان استفاده از دانش بهره‌بردار برای کنترل تجهیزات و سناریوهای عملیاتی، نیز می‌تواند به اختلال در این رابطه منجر شود. علاوه بر این در صورت وقوع بازسازی، برخی ویژگی‌های مدل هیدرولیکی مانند الگوهای روزانه و منحنی‌های پمپ که ممکن است با GIS به اشتراک گذاشته نشود، باید دوباره به پایگاه داده مدل هیدرولیکی بازگردانده شود. در همین راستا، ضروری است که کنترل کیفیت داده‌ها آغاز و مدل هیدرولیکی قبل از استفاده، اعتبارسنجی شود.

۲-۴-۴- شناسه عنصر منحصر به فرد

هر عنصر در پایگاه داده GIS که به مدل هیدرولیکی وارد می‌شود، باید دارای یک شناسه (ID) منحصر به فرد باشد. این شناسه برای ارتباط بانک اطلاعاتی مدل هیدرولیکی و پایگاه داده GIS استفاده می‌شود و برای حفظ رابطه یک به یک در مدل‌سازی ضروری است. این شناسه برای هر نوع عنصر مشخص مدل، باید در کل GIS منحصر به فرد باشد و برای همان عنصر بدون تغییر باقی بماند. این شناسه هرگز نباید تغییر کرده و یا مورد استفاده مجدد قرار گیرد. برنامه‌هایی وجود دارد که به کارشناسان GIS در حفظ شناسه‌های منحصر به فرد عناصر می‌تواند کمک کند. شناسایی روشی برای ارزیابی یک شناسه منحصر به فرد برای عناصر GIS، ممکن است نیاز به پیش‌بینی و برنامه‌ریزی داشته باشد. برای حفظ یک مدل یک به یک، ارتباط مستمر عناصر بین پایگاه داده GIS و مدل ضروری است. این موضوع، به‌منظور به‌روزرسانی مدل هیدرولیکی از GIS و به‌روزرسانی GIS با اطلاعات کلیدی موجود در مدل هیدرولیکی بسیار مهم است.

۲-۴-۵-توپولوژی در GIS و مدل‌های هیدرولیکی

توپولوژی به‌عنوان مجموعه‌ای از قوانین حاکم بر روابط مکانی بین عارضه‌ها[۱۳] در لایه‌های اطلاعاتی[۱۴] مختلف تعریف می‌شود و این قوانین، نحوه هم‌بندی[۱۵] تاسیسات شبکه را مشخص می‌کنند. در نرم‌افزارهای GIS، ابزارهایی برای ایجاد و بررسی خودکار اتصال با استفاده از شاخص‌ها و محدوده‌های مجاز خطای تعریف‌شده توسط کاربر وجود دارد. یک ویژگی مهم در نرم‌افزارهای GIS، حفظ، بررسی و کنترل قوانین توپولوژی در شکل هندسی شبکه توزیع آب می‌باشد. در نرم‌افزار GIS، شبکه هندسی مدل را براساس ساختار هم‌بندی مبتنی بر قوانین توپولوژی می‌توان ایجاد نمود. شبکه هندسی مدل، از دو دسته عارضه خطی[۱۶] و عارضه نقطه‌ای[۱۷] تشکیل شده است؛ به‌طوری که در این شبکه عارضه‌های خطی تنها از طریق عارضه‌های نقطه‌ای می‌توانند به یکدیگر متصل شوند. بر این اساس هر عارضه خطی باید در ابتدا و انتهای خود، دارای یک عارضه نقطه‌ای باشد. هنگامی که یک شبکه هندسی ساخته می‌شود، در انتهای هر عارضه خطی که فاقد ویژگی نقطه‌ای

13. Feature
14.Feature classes
15. Connectivity rule
16. Edge feature
17.Point feature

است، به صورت خودکار یک عارضه نقطه‌ای ایجاد می‌شود. به‌طور خلاصه در ساخت اولیه یک شبکه هندسی در GIS، در انتهای لوله‌هایی که فاقد ویژگی‌های نقطه‌ای هستند، عارضه‌های نقطه‌ای ایجاد می‌شود. این اتصالات ایجادشده باید در مراحل بعدی با عارضه‌های نقطه‌ای مناسبی مانند شیر، اتصال و ... جایگزین شوند.

زمانی که شبکه هندسی مدل ایجاد می‌شود، یک رابطه توپولوژیکی بین عارضه‌های خطی و نقطه‌ای به‌وجود می‌آید. این رابطه به‌گونه‌ای است که اگر یک عارضه خطی حذف گردد، عارضه نقطه‌ای که براساس قوانین توپولوژی ایجادشده نیز حذف خواهد شد. به‌عنوان مثال، هنگامی که یک لوله اصلی به شبکه هندسی مدل اضافه می‌شود، یک عارضه نقطه‌ای پیش‌فرض یا تعریف‌شده توسط کاربر مانند اتصالات، شیرالات یا ... به‌طور خودکار در انتهای لوله اصلی اضافه می‌شود. برای اطمینان از هم‌بندی همه عارضه‌های خطی (لوله‌ها) به نوع مناسب عوارض نقطه‌ای، لازم است تا یک سری قوانین هم‌بندی تعریف نمود. به‌عنوان مثال، هنگامی که یک لوله با قطر بزرگتر به لوله با قطر کوچکتر متصل می‌شود، می‌توان قانونی ایجاد کرد که این اتصال به‌عنوان "تبدیل" [18] لحاظ گردد.

یک شبکه هندسی، معمولا از دو نوع عارضه خطی پشتیبانی می‌کند. تمام خطوط به‌صورت پیش‌فرض، عارضه خطی ساده[19] هستند؛ یعنی در محل گره‌ها تقسیم می‌شوند. اما نوع دیگری از عارضه‌های خطی با نام عارضه خطی مرکب[20] نیز توسط نرم‌افزارها پشتیبانی می‌شوند. در عارضه خطی مرکب، می‌توان عارضه نقطه‌ای (شیر و ...) یا عارضه خطی (انشعابات و ...) را به یک لوله متصل نمود، بدون اینکه آن لوله به دو بخش تقسیم گردد. به‌عنوان مثال، برخی از عوارض سامانه اطلاعات مکانی (GIS) که در مدل‌سازی کاربردی ندارند، مانند انشعابات یا شیرهای غیر بهره‌برداری[21] (شیر قطع و وصل، تخلیه و ...) را می‌توان در هنگام ساخت مدل هیدرولیکی با استفاده از این قابلیت بدون از بین بردن هم‌بندی شبکه حذف نمود که نتیجه آن کاهش زمان مدل‌سازی است. لذا استفاده از عوارض خطی مرکب برای توسعه و نگهداری مدل هیدرولیکی بسیار مناسب است.

با اینکه در نرم‌افزار GIS با استفاده از ابزارها و روش‌های توپولوژی، بررسی کاملی از نحوه هم‌بندی عوارض انجام می‌گیرد، اما ممکن است در فرآیند انتقال هندسه مدل و داده‌ها از نرم افزار GIS به نرم‌افزار شبیه‌سازی خطاهایی رخ دهد. لذا در فرآیند شبیه‌سازی و قبل از عملیات واسنجی، می‌بایست بررسی جامعی از نحوه هم‌بندی عوارض مختلف انجام گیرد تا خطاهای احتمالی رفع گردد. علاوه بر این، انواع خاصی از خطاهای هم‌بندی منطقی وجود دارند که ممکن است در هنگام ساخت شبکه هندسی در نرم‌افزار GIS توسط ابزارهای توپولوژی شناسایی نشوند. در حال حاضر، در بیشتر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ابزارهایی برای بررسی انواع خطاهای هم‌بندی وجود دارد. در شبیه‌سازی لازم است تا تمام لوله‌ها، شیرالات، پمپ‌ها، مخازن و اتصالات به‌طور دقیق به یکدیگر متصل باشند تا هم‌بندی و عملکرد شبکه توزیع، مطابق وضع موجود باشد. خطاهای ناشی از عدم هم‌بندی در شبیه‌سازی، می‌توانند به اختلاف معنی‌داری بین دبی و فشارهای پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی آن منجر شود. لذا رفع خطاهای هم‌بندی در نرم‌افزار GIS برای انتقال داده‌ها به مدل هیدرولیکی بسیار با اهمیت است.

۲-۴-۶- بازبینی توپولوژی و هم‌بندی هندسه شبکه توزیع در مدل

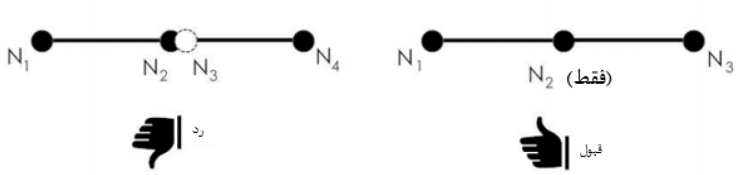
همان‌طور که اشاره شد، با اینکه در نرم‌افزار GIS با استفاده از ابزارها و روش‌های توپولوژی بررسی کاملی از نحوه هم‌بندی عارضه‌ها انجام می‌گیرد، اما ممکن است در فرآیند انتقال مدل و داده‌ها از محیط GIS به نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی

18. Reducer feature
19. Simple edge
20. Complex edge
21. Nonoperational valves

خطاهایی رخ دهد. لذا بررسی مجدد توپولوژی و هم‌بندی عارضه‌ها پس از انتقال به نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی نیز امری ضروری است. مواردی که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد، مربوط به لوله‌ها و گره‌ها است؛ اما برای مخازن، منابع، پمپ‌ها و شیرالات نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

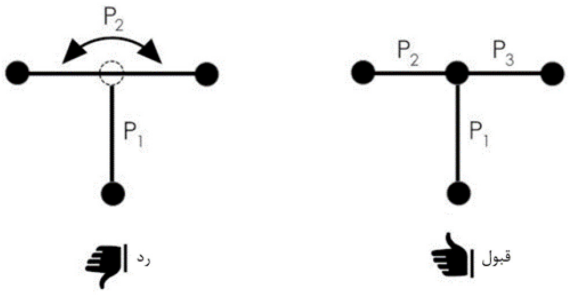
بسیاری از بسته‌های نرم‌افزاری هیدرولیکی، دارای ابزارهایی برای شناسایی و رفع خطاهای توپولوژی هستند. این نکته حائز اهمیت است که اثرات مسائل توپولوژیکی بر روی ساختار مدل، با نظارت گروه‌های کارشناسی پشتیبانی‌کننده لایه‌های اطلاعات سامانه مورد بررسی قرار گیرد و در این خصوص، تبادل اطلاعات صورت پذیرد. در سناریوهای هم‌بندی مشخص می‌گردد که به‌عنوان مثال دو لوله متقاطع به یکدیگر متصل هستند و یا خیر. اگر این شرایط (عدم اتصال لوله‌های متقاطع) در کل شبکه و به‌خصوص در خطوط اصلی وجود داشته باشد، الگوهای جریان و فشارهای ناشی از آن در مدل، تفاوت قابل‌توجهی با شرایط وضع موجود خواهند داشت. این حالت در برخی موارد ممکن است مانع از انجام مدل‌سازی گردد، لذا این موارد می‌بایست بررسی و رفع شوند. برداشت اطلاعات میدانی دبی و فشار، یک روش عالی برای اعتبارسنجی توپولوژی شبکه می‌باشد. و همچنین به کمک اطلاعات برداشت شده میدانی، محل شیرآلاتی را می‌توان شناسایی نمود که در شبکه می‌بایست باز باشند ولی در عمل بسته هستند.

گره‌های مجاور نزدیک به هم[22]: گره‌هایی هستند که در فاصله بسیار نزدیک به هم قرار دارند و چنانکه در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، در بیشتر موارد با یکدیگر همپوشانی دارند. پیش از تخصیص تقاضا به گره‌ها، شناسایی و حذف گره‌های غیرضروری و اتصال قطعات لوله‌ها به یکدیگر به‌منظور اجرای صحیح مدل ضروری می‌باشد.



شکل ۲-۲- گره‌های مجاور هم

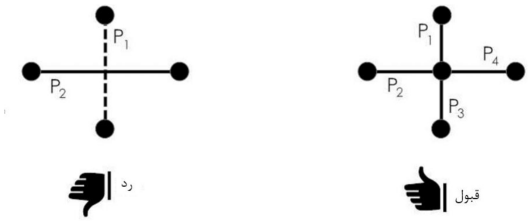
لوله‌های نامزد تقسیم[23]: همان‌گونه که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است، ممکن است قطعاتی جداگانه از لوله‌ها وجود داشته باشند که باید توسط یک گره مشترک به هم وصل شوند. در این موارد مهم است که محل برخورد آنها شناسایی شده و پس از کسب اطمینان، در صورت لزوم لوله‌ها در محل گره مشترک تقسیم گردند.



شکل ۲-۳- نحوه اتصال قطعات لوله‌ها

22. Nodes in Close Proximity
23. Pipe-Split Candidate

لوله‌های متقاطع[۲۴] : به لوله‌هایی اطلاق می‌شود که مطابق شکل (۲-۴) از روی هم عبور می‌کنند. این لوله‌ها باید شناسایی و به دقت بررسی شوند تا مشخص شود که آیا به یکدیگر متصل هستند یا خیر. مراجعه به نقشه به‌هنگام شبکه توزیع در تشخیص نوع تقاطع کمک‌کننده است.



شکل ۲-۴- تقاطع لوله‌ها در حالت اتصال

گره‌های گسسته[۲۵]: مطابق شکل زیر گره‌های گسسته، گره های غیر وابسته[۲۶] یا نامشخصی هستند که از شبکه توزیع جدا شده‌اند (به‌عنوان مثال، به هیچ لوله‌ای متصل نیستند). برای اینکه یک مدل اجرا شود، همه گره‌های جدا شده، قبل از تخصیص تقاضا، باید شناسایی و تعیین تکلیف شوند. از جمله دلایل وجود این گره‌ها، امکان حذف لوله‌های بین این گره‌ها، ایجاد نادرست گره‌ها، تکرار گره‌ها یا موارد دیگر است.

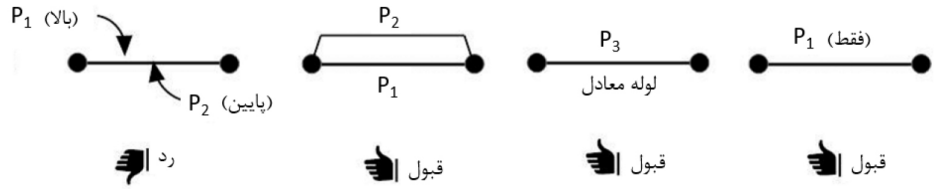
شکل ۲-۵- گره‌های گسسته

ناسازگاری در قطر لوله‌ها[۲۷]: ناسازگاری قطر معمولاً هنگامی شناسایی می‌شود که لوله‌هایی با قطرهای کاملاً متفاوت و با اختلاف قابل‌توجه به‌طور سری به هم متصل شوند. به‌عنوان مثال، ممکن است که یک لوله به قطر ۹۰۰ میلی‌متر به یک لوله ۹۰ میلی‌متر و سپس به یک لوله دیگر به قطر ۹۰۰ میلیمتر متصل باشد که به احتمال زیاد در ایجاد این لوله ۹۰ میلی‌متری خطا صورت گرفته است. از آنجا که در محل تغییر قطر حتما گره ایجاد می‌شود، برای شناسایی این نوع خطا ضروری است هر گره ایجادشده در طول لوله‌ها را مورد بررسی قرار داد و با بررسی نقشه شبکه توزیع و احیانا بازدید میدانی مشخص شود که آیا قطر باید اصلاح شود یا خیر.

لوله‌های موازی[۲۸] (**لوله‌های مضاعف**)[۲۹]: لوله‌های مضاعف لوله‌هایی با خصوصیات یکسان هستند که روی هم قرار گرفته‌اند؛ و معمولاً بدون استفاده از ابزارهای شناسایی نرم‌افزار قابل‌تشخیص نیستند. پس از شناسایی لوله‌های مضاعف با استفاده از ابزار موجود در نرم‌افزار هیدرولیکی، شبیه‌ساز باید تعیین کند که آیا یک لوله موازی در واقعیت

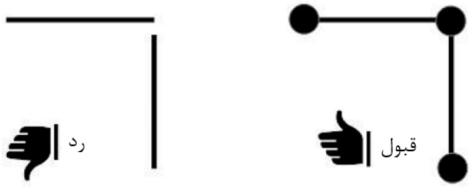
24. Intersecting Pipes
25.Disconnected Nodes
26. Orphan nodes
27. Diameter Discrepancies
28.Parallel Pipes
29. Duplicate Pipes

موجود است یا خیر. در صورت عدم وجود، این لوله مضاعف باید حذف شود (در پایگاه GIS هم اعمال گردد). در غیر این صورت، باید در مدل به محل مناسب تغییر مکان داده شود (دوباره ترسیم شود) و یا یک لوله معادل را با دو لوله موازی می‌توان جایگزین کرد (به دلیل عدم تطابق با واقعیت توصیه نمی‌شود).



شکل ۲-۶- لوله‌های موازی

لوله‌های منفصل از شبکه [۳۰]: لوله‌های جدا شده یا لوله‌های با وابستگی نامشخص، بخشی از لوله‌هایی هستند که هیچ گره انتهایی ندارند؛ از این‌رو، به شبکه توزیع وصل نمی‌شوند. پس از شناسایی لوله‌های جدا شده، اتصالات باید به‌طور مناسب به نقاط پایانی آنها اضافه شوند. بسیاری از بسته‌های نرم‌افزاری، این امکان را به کاربر می‌دهند که گره‌های اتصالی را به‌طور خودکار در نقاط انتهایی لوله اضافه کنند.



شکل ۲-۷- لوله‌های موازی

۲-۵- تخصیص تقاضا

داده‌های تقاضا پس از درج اطلاعات تأسیسات و ایجاد توپولوژی شبکه توزیع، به مدل اضافه می‌شوند. تخصیص تقاضا به مدل معمولا در چهار مرحله صورت می‌گیرد:

۱- تعیین نوع و مقدار تقاضا

۲- تعیین پایگاه‌های اطلاعات تقاضا

۳- تخصیص تقاضای پایه به مدل

۴- تخصیص متناسب تقاضای پایه برای سناریوهای برنامه‌ریزی، بهره‌برداری یا طراحی

گزینه‌های مختلفی برای محاسبه، تطبیق و تعیین تقاضاها قبل از بارگذاری در مدل هیدرولیکی وجود دارد که چند نمونه از این روش‌ها به‌عنوان مثال در این بخش ارائه شده است. مهندس طراح با ارزیابی ارزش اهداف مدل، بودجه و حجم اطلاعات در اختیار، مناسب‌ترین گزینه را برای محاسبه و تخصیص تقاضا باید انتخاب کند.

30. Disconnected Pipes

۲-۵-۱- تعیین نوع و مقدار تقاضا: همان‌طور که پیشتر بیان گردید، در مرحله نخست تخصیص تقاضا بایستی نوع تقاضا تعیین گردد. در ادامه، انواع هشت‌گانه تقاضا به شرح زیر تشریح می‌گردند.

۱- مسکونی

۲- تجاری

۳- صنعتی

۴- عمومی و دولتی

۵- آموزشی و مذهبی

٦- فضای سبز

۷- هدررفت (آب بدون درآمد)

۸- کاربری خاص

۲-۵-۱-۱- تقاضای مسکونی: تقاضای مسکونی آب شامل مصارف خانگی و فضای سبز می‌باشد. مصارف خانگی داخل ساختمان شامل مصارف آب سرویس بهداشتی، شستشو، پخت و پز و شرب می‌باشد. فعالیت‌های صرفه‌جویی و همچنین تغییر ضوابط و آیین‌نامه‌های ساختمان، منجر به کاهش مصرف روزانه می‌شود. در هنگام ایجاد تقاضا، عوامل مهم از جمله سرانه مصرف، مساحت ملک یا روش‌های استفاده از کاربری اراضی (درصورت استفاده برای محاسبه مصرف)، قدمت منطقه و نرخ نوسازی، باید مورد توجه قرار گیرند.

مصرف فضای سبز، شامل آب مورد استفاده برای آبیاری محوطه فضای سبز است. این جزء از مصرف، مربوط به جامعه خاص (مناطق ویلایی) و متأثر از مساحت حیاط و شرایط اقلیمی است. بعضی از جوامع، دارای برنامه‌های صرفه‌جویی خاص برای فضای سبز هستند. این برنامه‌ها، اغلب تأثیر بسزایی در میزان توسعه تقاضای فضای سبز دارند که در صورت استفاده از روش سرانه مصرف، مساحت ملک یا روش‌های استفاده از کاربری اراضی، می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. اما در صورتی که مقدار تقاضا مستقیماً از اطلاعات مشترکین برداشت شود، این موضوع اهمیت کمتری پیدا می‌کند.

۲-۵-۱-۲- تقاضای تجاری: تقاضای تجاری، به‌طور معمول شامل تقاضای فروشگاه‌ها، رستوران‌ها، پمپ‌بنزین‌ها، دفاتر و غیره است. مراکز تجاری ممکن است میزان استفاده روزانه نسبتاً ثابت و با نوسانات قابل پیش‌بینی برای اکثر روزها داشته باشند. ساعت کار و نوع ساختمان نیز، بر الگوی تقاضای تجاری تأثیر می‌گذارد. بسته به توسعه تجاری در هر جامعه، بعضی مراکز تجاری مانند دفاتر و مراکز خرید ممکن است در ساعت‌های متفاوتی از روز، فعالیت‌های شستشو داشته باشند و بعضی مراکز مانند ماشین‌شویی‌ها در ساعات مشخصی از روز شستشو انجام دهند.

سوابق انشعابات تجاری باید با احتیاط در پیش‌بینی تقاضا برای آینده استفاده شود. تعدادی از تغییرات در طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع، سرویس بهداشتی و سایر وسایل آب‌بر، باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه آب برای مشاغل شده است. بعلاوه مهندس طراح از نوسازی در بخش تجاری و اقدامات صرفه‌جویی آب که توسط شرکت‌ها شروع شده است، باید آگاه باشد.

۲-۵-۱-۳-تقاضای صنعتی: مشترکین صنعتی، معمولاً کارخانه‌ها و اماکن دارای انشعاب بزرگ آب هستند. از آنجاییکه ممکن است نقطه برداشت از شبکه توزیع این نوع مشترکین با محل سنجش، فاصله داشته باشد. بنابراین، تخصیص دقیق و مناسب محل تقاضا در شبکه توزیع، باید مدنظر قرار گیرد. هر مجموعه صنعتی، ممکن است با توجه به ویژگی‌های استفاده از آب و زمان‌های برداشت آن در طول روز، یک الگوی برداشت منحصر به فرد داشته باشد که

در اندازه‌گیری میدانی جریان برای تعیین الگوهای روزانه مشترکین بزرگ می‌تواند مفید باشد. تنوع فصلی معمولا تاثیر چندانی در الگوی مصرف این نوع مشترکین ندارد، اما تنوع روزانه و هفتگی به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند موثر باشد. معمولاً توصیه می‌شود برای تعیین الگوی مصرف آب و مشخصات تقاضا، یک ممیزی از مشترکین بزرگ انجام شود. ممکن است لازم باشد تا این مشترکین از سایر ارگان‌ها و سازمان‌ها که ممکن است در تعیین تقاضای متوسط و الگوهای روزانه آنها تاثیرگذار باشد، مجوز دریافت کنند.

۲-۵-۱-۴- تقاضای فروش حجمی: تقاضای فروش حجمی، شامل آب فروخته‌شده به یک ارگان/کاربری خاص یا شرکت آب و فاضلاب دیگر است که ممکن است الگوهای منحصر به فرد روزانه برای سامانه آب تحویلی داشته باشد. در بسیاری از موارد، سامانه مشترکینی که آب حجمی دریافت می‌کنند امکانات ذخیره‌سازی مربوط به خود را دارند؛ در نتیجه، دبی برداشت، نوسانات زیادی در طول روز ندارد. این مشترکین ممکن است براساس قرارداد (با مقدار آب تحویلی مشخص) به‌صورت روزانه یا ساعتی توسط ایستگاه پمپاژ یا شیر کنترل دبی محدود شوند. اندازه‌گیری میدانی دبی برای تعیین الگوی روزانه مدل قویاً توصیه می‌شود.

۲-۵-۱-۵- هدررفت آب: هدررفت آب، اختلاف بین کل حجم آب ورودی به شبکه و مصارف مجاز با و بدون صورت‌حساب است. هدررفت آب در شبکه توزیع باید به مقدار تقاضا اضافه شود؛ به‌طوری‌که مجموع تقاضا شامل مصرف و هدررفت، با کل آب ورودی به شبکه برابر باشد. مقدار هدررفت در شبکه توزیع، ممکن است در شبکه‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت (این مقدار در شبکه‌های توزیع مختلف از ۴ تا ۷۰ درصد گزارش شده است) و مقدار آن نیز در طول زمان تغییر کند.

۲-۵-۱-۶- منابع هدررفت آب در شبکه توزیع: هدررفت آب در یک شبکه توزیع اجتناب‌ناپذیر بوده و داری دو بخش متمایز زیر می‌باشد:

۱- هدر رفت واقعی

۲- هدررفت ظاهری

هدررفت واقعی، هدررفتی است که به‌طور فیزیکی از شبکه توزیع اتفاق می‌افتد و شامل نشت از خط انتقال، شبکه توزیع، انشعابات و سرریز از مخازن می‌باشد.

هدررفت ظاهری، از عدم دقت در اندازه‌گیری شامل خطای کنتورها، خطا در صدور صورتحساب و همچنین انشعابات غیرمجاز ناشی می‌شود. اگر میزان تخمین تقاضا براساس اطلاعات CIS باشد، میزان هدررفت ظاهری می‌بایست به میزان تقاضا اضافه گردد و در صورتی که براساس سرانه مصرف و کاربری و تراکم زمین باشد، نیازی به اضافه کردن هدررفت ظاهری به مقدار تقاضا نیست.

۲-۵-۱-۷- تخصیص هدررفت آب در مدل هیدرولیکی: بسته به اهمیت و محل هدر رفت آب، ممکن است روش‌های مختلفی برای تخصیص این تقاضا وجود داشته باشد، از جمله:

- تخصیص نقطه‌ای هدررفت در نقطه‌ای از شبکه که دارای احتمال هدررفت قابل‌توجه است.
- تخصیص یکنواخت هدررفت به‌گونه‌ای که هدررفت، کل سطح شبکه توزیع را دربر گیرد.
- تخصیص مقدار هدررفت مختص هر پهنه، زمانی که شبکه دارای پهنه‌بندی بوده و هدررفت در هر پهنه تعیین شده باشد.

معمولاً هدررفت آب به‌طور مساوی بین تمام گره‌های شبکه تقسیم می‌شود، زیرا تعیین مناطق خاص و نقاط مشخص هدررفت بسیار سخت است؛ مگر اینکه مناطق مجزای اندازه‌گیری در شبکه توزیع ایجاد شده باشد. مناطق مجزای اندازه‌گیری، امکان تخصیص دقیق‌تر ناحیه هدررفت آب را فراهم می‌کنند. برای افزایش دقت در تخصیص هدررفت،

می‌توان از اندازه‌گیری هدررفت در پهنه‌های شبکه برای تعمیم هدررفت آب به سایر مناطق با شرایط یکسان از جمله جنس و سن لوله‌ها و نیز نوع خاک بستر شبکه توزیع استفاده کرد. این نکته مهم است که بیشتر تجزیه و تحلیل‌های حالت پایدار، براساس شرایط حداکثر ساعتی یا روزانه به‌علاوه جریان آتش‌نشانی انجام می‌شود که مضربی از تقاضای متوسط روزانه است. تحت این شرایط، ممکن است تاثیر هدررفت آب در مقایسه با کل میانگین روزانه تقاضای شبکه ناچیز باشد. لازم به یادآوری است که در مدل‌سازی با هدف طراحی، نباید ضریب ساعتی و روزانه در مقدار هدررفت ضرب گردد؛ زیرا حداکثر مصارف آب و هدررفت واقعی بر یکدیگر منطبق نیست. در مدل‌سازی با اهداف تحقیقاتی و پیشرفته، مقدار نشت آب به صورت تابعی از فشار شبیه¬سازی می¬شود. ابزار این نوع شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای تجاری موجود است.

۲-۵-۲- تعیین منبع داده‌های تقاضا و برآورد میزان آن

برآورد میزان تقاضای آب در شبکه توزیع، می‌تواند از منابع مختلف باشد که هر یک از آنها ممکن است دارای کیفیت، تمامیت و دقت متفاوتی باشند که قبل از تخصیص در مدل هیدرولیکی به دقت باید مورد ارزیابی قرار گیرند. این منابع اطلاعاتی، شامل موارد زیر است:

۱- سامانه‌های اطلاعات مشترکین

۲- استفاده از داده‌های تولید آب در پهنه¬ها

۳- استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی

۴- استفاده از اطلاعات جمعیت منطقه

سامانه‌های اطلاعات مشترکین، مقدار تقاضا را بر اساس داده‌های کنتور مشترکین فراهم می‌کند (که معمولا از آن به‌عنوان داده‌های مصرف یاد می‌شود). داده‌های مصرف، از لحاظ مقدار و محل مصرف در مدل هیدرولیکی حائز اهمیت هستند و ممکن است دقت تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌های آتی شبکه توزیع را بهبود بخشند. برای برآورد تقاضای آب در شبکه توزیع، می‌توان از میزان تولید آب در پهنه‌ها، طبقه‌بندی کاربری اراضی و اطلاعات جمعیت منطقه نیز استفاده کرد. به هر حال، هر کدام از منبع داده اطلاعاتی، به‌طور منطقی نشانگر روش مورد استفاده با سطح دقت مربوطه بوده که ممکن است برای مدل هیدرولیکی قابل‌قبول باشد. هریک از این منابع، می‌تواند هم به‌طور مستقل و هم به‌عنوان پشتیبان برای تأیید منبع داده اطلاعاتی اصلی مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۵-۲-۱- سامانه‌های اطلاعات مشترکین (CIS): سوابق فروش آب مشترکین براساس داده‌های کنتور آب، در سامانه‌های اطلاعات مشترکین ذخیره و نگهداری می‌شود. این سامانه یک بانک اطلاعات بسیار مهم و مناسب از مصارف آب مشترکین است که امکان تعیین و تخصیص تقاضای آب به مدل هیدرولیکی را فراهم می‌کند. این سامانه دو مزیت منحصر به فرد در مقایسه با سایر منابع اطلاعات آب مشترکین دارد؛ ۱- مصرف واقعی هر مشترک را در یک دوره زمانی خاص و ۲- موقعیت نسبتاً دقیق مشترکین را در شبکه توزیع نشان می‌دهد. این دو ویژگی، سامانه اطلاعات مشترکین را به یک منبع اصلی و مطلوب برای تعیین و تخصیص تقاضای آب در مدل هیدرولیکی تبدیل می‌کند. اغلب صورت‌حساب‌های صادره، شامل اطلاعات مصرف آب ماهانه یا دوماهانه، نوع انشعاب، ارقام قرائت کنتور و آدرس مشترکین می‌باشد. همچنین برخی از سامانه‌های صدور صورتحساب، اطلاعات اضافی از قبیل تعداد آحاد مشترکین خانگی و یا نوع کسب و کار یک واحد تجاری را نیز در صورت‌حساب لحاظ می‌کنند.

اطلاعات مصرف مشترکین که از سامانه صدور صورت‌حساب استخراج می‌شود، ممکن است به‌صورت دوازده ماه متوالی به‌منظور استخراج متوسط مصرف روزانه جمع‌آوری شود. همچنین ممکن است این اطلاعات برای یک فصل آب و هوایی

یا دوره خاص با هدف تعیین بیشینه و کمینه مصرف و یا به‌صورت روزانه برای تعیین ضریب حداکثر ساعتی جمع‌آوری شود. بعضی از کنتورها ممکن است به‌صورت دوره چهل و پنج روزه و یا دو ماهه قرائت شوند. این تواتر قرائت کنتور، باید قبل از محاسبه تقاضای متوسط برای هر مشترک تأیید و مورد توجه قرار گیرد.

۲-۵-۲-۲- منابع اطلاعاتی دیگر تقاضای آب: اگر به حد کافی اطلاعات مصرف از سامانه CIS در دسترس نباشد، از روش‌های دیگر برای تخمین و تخصیص تقاضا به مدل هیدرولیکی می‌توان استفاده کرد. همان‌طور که اشاره شد، روش‌های رایج برای محاسبه تقاضا، استفاده از داده‌های تولید، کاربری اراضی و اطلاعات جمعیت است که اغلب از هر سه روش (به‌طور همزمان) برای تخمین تقاضا استفاده می‌شود. همچنین، این روش‌ها در طراحی و مدل‌سازی سناریوهای مختلف آینده با درنظر گرفتن افق طرح کاربرد دارد.

۲-۵-۲-۳- استفاده از مقدار ورود آب به پهنه‌ها: شرکت‌های آب و فاضلاب معمولا سوابق تولید کل روزانه شبکه توزیع را تهیه و نگهداری می‌کنند. بسته به در دسترس بودن و دقت سوابق داده‌های تولید برای هر شبکه، تولید آب ممکن است برای کل شبکه یا پهنه‌ها تقسیم شود. چنانچه از روش توزیع مقدار آب تولیدی به کل شبکه استفاده شود، به‌منظور توزیع مناسب استفاده از داده‌های جمعیت و نوع کاربری اراضی مفید خواهد بود.

برای محاسبه تقاضا براساس پهنه، باید جریان ورودی و خروجی هر پهنه اندازه‌گیری شود. برای برآورد حجم کل مصرف‌شده در هر پهنه، از جریان‌سنج و سطح‌سنج مخازن استفاده می‌شود. در این روش نباید هیچ تبادل جریانی بین پهنه‌ها اتفاق بیافتد. بدین منظور، قبل از موازنه آب می‌بایست تمام مجاری و شیرهای کنترل اتوماتیک و نیز شیرهای قطع و وصل فاقد دبی‌سنج در نواحی مرزی شناسایی شوند. پس از محاسبه تقاضای پهنه‌ها، با استفاده از اطلاعات جمعیت و کاربری اراضی، می‌توان محاسبات را کنترل و تایید نهایی نمود.

۲-۵-۲-۴- استفاده از کاربری اراضی: از طبقه‌بندی کاربری اراضی، برای برآورد مصرف انواع مختلف کاربری‌ها می‌توان استفاده نمود. متداول‌ترین کاربری‌ها شامل مسکونی، تجاری و صنعتی است که معمولاً در نقشه‌های شهری به‌طور مجزا از هم نشان داده می‌شود. کاربری اراضی به‌طور معمول از تقسیم‌بندی محلی و نه نوع اشتراک آب پیروی می‌کند. در پیش‌بینی تقاضای آب به‌منظور برنامه‌ریزی برای طرح‌های توسعه نیز به برنامه‌های جامع توسعه کاربری‌های اراضی بایدتوجه شود.

محاسبه مصرف آب با استفاده از کاربری اراضی، معمولاً شامل ضریب کاربری آب است که این ضریب متناسب با کاربری اراضی است. ضریب کاربری آب، نسبت استفاده از آب در واحد سطح برای هر گروه کاربری است که معمولاً با واحد حجم بر روز بر واحد سطح بیان می‌شود. ضریب کاربری آب با استفاده از داده‌های جمعیت یا مصرف آب مشترکین در یک منطقه دارای کاربری خاص تعیین می‌شود. معمولا عوامل کاربری آب، از قبل برای یک منطقه (به‌عنوان مرجع) محاسبه شده و قابل تعمیم به دیگر مناطق با ویژگی‌های مشابه است.

در برخی از شهرها، کاربری اراضی و منطقه‌بندی در سامانه‌های GIS ایجاد شده است که باعث افزایش توانایی و کارایی پایگاه دادهGIS در محاسبه دقیق مساحت کاربری‌های مختلف (یا مساحت منطقه‌بندی‌شده)، اعمال ضریب کاربری بر سطح طبقه‌بندی‌شده از کاربری اراضی (نظیر: متر مکعب آب در روز در هر هکتار) و نهایتا محاسبه کل برآورد تقاضای آب (نظیرمترمکعب در روز) برای انواع مختلف کاربری اراضی می‌شود.

در صورت وجود سوابق، برای پیش‌بینی آینده تقاضای آب برای یک منطقه مشخص مقدار آب مصرفی به ازای هر گروه کاربری اراضی به‌منظور ارزیابی سناریوهای مختلف نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. فاکتورهای کاربری، ممکن است برای ارزیابی پیش‌بینی تقاضای آب برای آینده استفاده شوند. همچنین، اخیرا به دلیل کمبود سوابق اطلاعات در مورد

اقدامات جدید صرفه‌جویی در مصرف آب یا اثرات مرتبط با تغییرات اقلیم، از مدل‌های تقاضای برازش چندمتغیره برای پیش‌بینی تقاضای آب در آینده استفاده می‌شود.

۲-۵-۲-۵- استفاده از اطلاعات جمعیت منطقه: استفاده از اطلاعات جمعیت در مناطق مسکونی، یکی دیگر از روش‌های تخمین تقاضای آب برای مدل‌های هیدرولیکی است. معمولاً، آمار جمعیت از سرشماری انجام‌شده توسط مرکز آمار ایران بدست می‌آید. مدل‌ساز، مقدار جمعیت را برای هر گره اختصاص داده و با ضرب آن در مقدار سرانه مصرف، مقدار کل مصرف آب را محاسبه می‌کند. سرانه مصرف آب، براساس نیازها و خصوصیات هر منطقه می‌تواند متفاوت باشد. بررسی اطلاعات و سوابق مصرف، مبنای مناسبی برای تعیین سرانه مصرف است. همچنین، پیش‌بینی تقاضای آب در آینده با ضرب جمعیت (با لحاظ تغییرات در تراکم) یا جمعیت مناطق تازه تأسیس در میزان مصرف سرانه، برآورد می‌شود.

۲-۵-۳- فرآیند تخصیص تقاضا در مدل هیدرولیکی: تخصیص تقاضا، فرایند تقسیم تقاضاهای آب درگره‌های مدل هیدرولیکی است. تقاضای پایه معمولاً مقدار ثابتی از تقاضا است که به گره‌های مدل هیدرولیکی تخصیص داده می‌شود و با استفاده از آن و ضرایب الگوی مصرف، تقاضای متغییر با زمان تعیین می‌شود. مدل‌های هیدرولیکی برای پیش‌بینی تغییرات جریان در شبکه‌های توزیع، محاسبات هیدرولیکی و تحلیل نتایج حاصل، نیاز به داده‌های تقاضای واقعی آب در شبکه توزیع و همچنین محل دقیق یا نزدیک به گره برداشت دارند. بنابراین هدف از تخصیص تقاضای پایه، توزیع مناسب‌ترین برآورد تقاضای آب در سراسر مدل هیدرولیکی است.

با توجه به منبع اطلاعات پایه، داده‌های پشتیبانی‌کننده موجود و همچنین اهداف مدل هیدرولیکی، تخصیص تقاضای پایه می‌تواند به سه صورت دستی، نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک انجام شود. در بخش بعدی، رویکرد کلی استفاده از سامانه داده‌های مصرف آب (CIS) به‌عنوان منبع تخصیص تقاضای پایه به مدل هیدرولیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۵-۳-۱- اطلاعات مصرف: همان‌طور که اشاره شد، تخصیص تقاضای پایه با استفاده از داده‌های مصرف آب برای مدل‌سازی هیدرولیکی، هم به دلیل ارائه مصرف واقعی آب و هم به دلیل داشتن مکان نقطه برداشت، مناسب‌ترین گزینه است. با فرض اینکه مختصات کنتورهای مشترکین به‌عنوان یک لایه نقطه‌ای GIS به CIS متصل شده باشند، با استفاده از ابزارهای تجزیه و تحلیل مکانی GIS و یا ابزارهای تخصیص تقاضا که در نرم‌افزار شبیه‌سازی هیدرولیکی وجود دارد، مصرف پایه را به نزدیک‌ترین لوله یا گره، می‌توان اختصاص داد. در این حالت، چندضلعی‌های محیطی تیسن[31] ممکن است در اطراف گره‌ها در GIS یا مدل هیدرولیکی ایجاد شوند (برای هر گره، یک چندضلعی). بر این مبنا، مقدار مصرف آب در داخل هر چند ضلعی، به گره درون چندضلعی مربوطه اختصاص داده می‌شود.

اگر مختصات کنتورها در GIS در دسترس نباشند، می‌توان از آدرس هر مشترک برای ایجاد محل نقطه برداشت استفاده کرد. در این روش، آدرس موجود در قبض مشترک درGIS پیاده‌سازی شده و مصارف ازCIS برداشت و موقعیت تقریبی کنتور در هر آدرس به‌عنوان نقطه برداشت درنظر گرفته می‌شود.

همچنین شرکت‌هایی که با استفاده از GIS به اطلاعات مالیاتی مشترکین دسترسی دارند، از طریق آدرس‌های موجود می‌توانند برای ایجاد یک لایه نقطه‌ای از کنتورهای مشترکین در CIS استفاده کنند. مدل‌ساز ممکن است از این اطلاعات، برای ارتباط اراضی به داده‌های مشترکین درCIS استفاده کند. بدین ترتیب با ایجاد لایه کنتور، تخصیص تقاضای آب با استفاده از روش‌هایی که قبلا توضیح داده شد در مدل هیدرولیکی اعمال می‌شود. مدل‌ساز باید مطمئن شود که سامانه مختصات استفاده‌شده در نقشه پایه شهری و مختصات گره‌های مدل، یکسان هستند.

31. Thiessen

لازم به ذکر است که تقاضای مشترکین بزرگ صنعتی و فروش‌های حجمی، به‌طور جداگانه تعیین می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که مصارف عمده به‌درستی در مدل هیدرولیکی تقسیم و اختصاص یافته است. علاوه بر این، باید اطمینان حاصل شود که داده‌های مصرف به‌درستی در پهنه‌ها، به‌ویژه در محدوده مرز پهنه‌ها تخصیص داده شده‌اند. با استفاده از چندضلعی‌های محیطی تیسن ایجادشده پیرامون مرز پهنه‌ها می‌توان اطمینان حاصل کرد که داده‌های مصرف از یک پهنه به اشتباه به گره یک پهنه دیگر اختصاص داده نشود. همچنین اطمینان از کیفیت فرایند ایجاد لایه مشترکین در حین و پس از آن باید حاصل شود زیرا آدرس مشترکین در CIS همیشه نشان‌دهنده محل واقعی مصرف آب آنها نیستند. اگر یک فایل GIS با کیفیت از نقشه کاربری اراضی در دسترس نباشد، به جای آن از نقشه مرزی کدهای پستی می‌توان استفاده کرد. مدل‌ساز باید اطمینان حاصل کند که آدرس‌های استفاده‌شده، مکانهای واقعی برداشت و نه لزوماً آدرس‌های صورت‌حساب هستند، زیرا ممکن است آنها با یکدیگر متفاوت باشند.

۲-۵-۳-۲- گره‌های با و بدون برداشت آب: وقتی تقاضاهای پایه به‌طور دقیق معین گردید، این نکته مهم است که تقاضای پایه چگونه در مدل هیدرولیکی درنظر گرفته خواهد شد. توصیه می‌شود که مدل‌ساز قبل از وارد کردن تقاضاهای پایه، گره‌های دارای برداشت و بدون برداشت آب را شناسایی کند. گره‌های بدون برداشت آب آن دسته از گره‌هایی هستند که نباید به آنها مقدار تقاضا تخصیص داده شود. این گره‌ها، ممکن است شامل اتصالات در نقاط مکش و تخلیه ایستگاه‌های پمپاژ، گره‌های بعد از مخازن (شیرخانه‌ها) و گره‌هایی که در امتداد خطوط اصلی (انتقال از مخزن تا شبکه اصلی) با طول زیاد و یا در امتداد خطوط انتقال یک پهنه که از یک پهنه دیگر عبور می‌کند، باشند. هنگامی که گره‌های دارای برداشت و بدون برداشت به‌طور مناسب در مدل شناسایی شدند، گره‌های برداشت باید تفکیک شده و تقاضای پایه به آنها اختصاص یابد.

۲-۵-۴ تعیین مقدار تقاضای پایه

تقاضای آب در یک شبکه توزیع در ساعات مختلف شبانه‌روز تغییر می‌کند؛ به‌عنوان مثال، مصرف آب مشترکین خانگی در یک صبح روز کاری هفته بیش از حد متوسط است و معمولاً در زمانی که ساکنان همزمان در حال استحمام، آماده‌سازی غذا، شستن لباس و غیره هستند، بیشترین میزان مصرف را به خود اختصاص می‌دهد. تغییرات تقاضای آب در طول روز، ممکن است منحصر به فرد و در مناطق مختلف متفاوت باشد. درج تقاضا برای هر گره به دو صورت تقاضای پایه و تقاضای با الگوی مصرف، می‌تواند انجام شود. غیر از نوسانات ساعتی مصرف، تقاضای آب در روزها، هفته‌ها، ماه‌ها و سال‌های مختلف نیز ممکن است متفاوت باشد.

معمولا تقاضای پایه بعد از اختصاص به مدل هیدرولیکی، به‌منظور نشان دادن شرایط مختلف برای اهداف واسنجی، تجزیه و تحلیل، تنظیم و یا مقیاس‌بندی استفاده می‌شود. بسته به منبع داده‌ها، شرایط تقاضای منبع داده‌ها (متوسط روزانه، روز حداکثر، روز حداقل و غیره) و همچنین کاربردهای درنظر گرفته‌شده برای مدل هیدرولیکی، ممکن است تنظیمات مختلفی برای تقاضا نیاز باشد. به‌طور معمول، تخصیص تقاضای پایه با استفاده از مصرف آب نشان‌دهنده تقاضای یک روز متوسط بوده که با تولید آب باید متناسب باشد. با این‌حال، با توجه به ماهیت بالقوه و جامع CIS، می‌توان به‌طور خاص داده‌های مصرف را با استفاده از سوابق ماه حداکثر مصرف بدست آورد که در این صورت، متوسط روز حداکثر مصرف به‌عنوان تقاضای پایه در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، تعیین حداکثر تقاضای مصرف برای منعکس کردن حداکثر تولید روزانه آب سازگار خواهد بود (الگوی خروجی مخزن). توصیه می‌شود که تقاضای پایه اختصاص داده‌شده به مدل هیدرولیکی که نشان‌دهنده تقاضای روز میانگین است، به‌عنوان یک مرجع ثابت برای تعیین تقاضای آتی درنظر گرفته شود.

۲-۵-۴-۱- موقعیت مکانی انشعاب: علاوه بر نوع انشعاب (خانگی و غیرخانگی)، موقعیت مکانی انشعاب نیز در تنظیم مقدار تقاضا موثر است. عرصه و اعیان املاک، قدمت منطقه، متوسط تعداد وسایل کاهنده مصرف آب و بازده آنها و همچنین وضعیت فضای سبز، منجر به تفاوت‌های زیادی در تقاضای مسکونی بین مناطق قدیمی و جدید می‌تواند شود. بنابراین اگر روند توسعه و تخصیص تقاضا براساس اطلاعات واقعی صورت‌حساب سامانه مشترکین (CIS) باشد، در تخصیص تقاضای پایه باید این تفاوت‌ها مدنظر قرار گیرد.

۲-۵-۴-۲- تخصیص تقاضا با هدف واسنجی: هدف نهایی واسنجی مدل هیدرولیکی شبکه آبرسانی، شبیه‌سازی نرم‌افزاری واقعیت آن شبکه است. بنابراین تقاضای پایه براساس داده‌های مصرف، داده‌های کاربری اراضی، داده‌های جمعیتی یا سایر منابع، باید طوری تخصیص یابد تا مقدار کل تولید آب در شبکه را برای یک دوره زمانی مورد نظر در فرآیند واسنجی منعکس کند. فرآیند تخصیص تقاضای پایه، برای نشان دادن مجموع تولید آب (کل حجم آب ورودی به شبکه) که مشتمل بر مقادیر مصرف و هدررفت آب در شبکه توزیع است، صورت می‌پذیرد. تخصیص دقیق تقاضا برای نمایش محل تلفات آب در شبکه، ممکن است چالشی باشد. اما اگر این موضوع قابل اغماض باشد، اختصاص یکسان تقاضا به‌منظور اعمال هدررفت آب ممکن است قابل‌قبول باشد (توزیع یکنواخت مقدار هدر رفت آب در تقاضاهای پایه). پیشنهاد می‌شود تقاضای مشترکین با مصرف عمده، به‌طور جداگانه در نظر گرفته شود تا از صحت اختصاص دبی برداشت اطمینان حاصل شود.

۲-۵-۴-۳-تخصیص تقاضا با هدف تحلیل: برای اهداف تجزیه و تحلیل شبکه علاوه بر شبیه‌سازی، یک سطح منطقی محدوده تغییرات (سناریوسازی) هنگام شناسایی نواقص و توصیه‌ها باقی می‌ماند. بنابراین، تخصیص تقاضا برای تجزیه و تحلیل ممکن است تولید آب را برای یک حالت مشخص منعکس کند و همچنین ممکن است تخصیص برای حداکثر و حداقل تقاضای روزانه و ساعت اوج مصرف (با توجه به تجزیه و تحلیل‌های درنظر گرفته‌شده) صورت گیرد.

انتخاب محدوده تغییرات، یک عامل تقاضا براساس تجربه سامانه (سوابق مدل‌سازی گذشته)، سطح اطمینان از داده‌های مورد استفاده سایر سازمان‌ها با ویژگی‌های مشابه (سوابق مدل‌سازی در شرکت‌های آب و فاضلاب)، کاربرد یا سناریو هدف، برنامه مدل هیدرولیکی و قضاوت مهندسی مدل‌ساز می‌باشد.

همچنین ممکن است تخصیص تقاضا با استفاده از عوامل پیش‌بینی صورت گیرد تا اهداف آینده را تأمین کند. همان‌طور که با اتکا به کاربری اراضی یا پیش‌بینی تقاضای آب برای تجزیه و تحلیل شرایط آینده پشتیبانی می‌شود، بسته به سناریوی ارزیابی‌شده، تعیین تغییرات فصلی یا تغییرات ساعتی تقاضا نیز ممکن است لازم باشد.

۲-۵-۴-۴- تغییرات فصلی: تغییرات فصلی یا روزانه تابعی از نیاز به آبیاری فضای سبز، سامانه‌های خنک‌کننده و مباحث گردشگری است. در بعضی مواقع، اثرگذاری تغییرات فصلی در سامانه‌های توزیع آب قابل‌توجه است. معمولا آبیاری فضای سبز با تغییرات فصلی ارتباط مستقیم دارد. در جوامعی که مشترکین بزرگ سازمانی یا گردشگری وجود دارد، در هنگام مدل‌سازی باید اثرات این مشترکین بر میزان و نرخ تقاضا مدنظر قرار گیرد. تغییرات آب و هوایی، نیازهای آبیاری و خنک‌کننده‌ها را تعیین می‌کند. شبیه‌ساز باید برای تعیین زمان ضریب حداکثر، طول دوره فصل گرما را درنظر بگیرد.

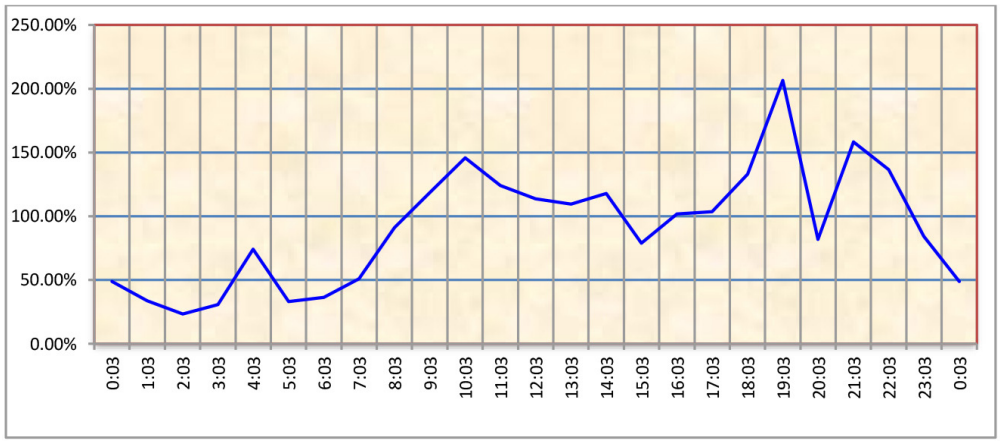
شبکه‌هایی که تغییرات فصلی شدیدی را تجربه می‌کنند، باید با ملاحظات و رویکرد ویژه برای توسعه تقاضا تحلیل گردند. از این‌رو هر منطقه براساس تاریخچه و اطلاعات دبی، برای منطقه خود تغییرات فصلی را می‌تواند ارزیابی کند و در این‌گونه موارد، تخصیص تقاضای پایه مدل با هدف تجزیه و تحلیل درنظر گرفته می‌شود.

۲-۵-۴-۵- منحنی تغییرات مصرف در طول روز: در ابتدا تقاضای پایه هر مشترک برای حالات پایا[۳۲] به مدل هیدرولیکی تخصیص داده می‌شود. در این حالت تقاضای پایه نشان‌دهنده تقاضای یک لحظه خاص است. اما میزان تقاضای آب در زمان‌های مختلف متغیر است؛ لذا در مدل هیدرولیکی برای نمایش تغییرات تقاضا، نیاز به یک منحنی تغییرات در طول یک شبانه‌روز شامل مجموعه‌ای از ضرایب (معمولاً به‌صورت ساعتی) است که نشان‌دهنده نسبت تقاضای ساعتی به متوسط تقاضا در طول بازه زمانی (شبانه‌روز یا ۲۴ ساعت) انتخاب‌شده می‌باشد. تعیین منحنی تغییرات ساعتی مصرف مختص هر شبکه، نیازمند برداشت اطلاعات میدانی و یا تجزیه و تحلیل داده‌های عملیاتی در شبکه توزیع آب موردنظر است. لذا بسته به اطلاعات موجود، منحنی تغییرات تقاضا ممکن است برای یک پهنه آبرسانی، پهنه فشاری، یک مشترک، طبقه‌بندی کاربری اراضی و نیز برای فصول مختلف تهیه گردد.

برای استخراج منحنی مصرف کل سامانه علاوه بر برداشت اطلاعات دبی ورودی و خروجی مخازن، باید اطلاعات دبی خروجی تصفیه‌خانه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ و چاه‌های آب زیرزمینی ثبت گردد. در حالت ایده‌آل، این اطلاعات به‌راحتی از سامانه اسکادا قابل‌برداشت است. منحنی تغییرات ساعتی، با جمع ورودی و خروجی‌ها (موازنه حجمی) در یک ناحیه مجزا برای هر بازه زمانی از روز به‌منظور محاسبه تغییرات تقاضا ایجاد می‌شود. همچنین، از این روش برای استخراج منحنی پهنه‌های فشاری (ناحیه فشاری) نیز استفاده می‌شود.

منحنی تغییرات ساعتی برای انواع مشترکین خاص مثل مناطق مسکونی با تراکم کم یا زیاد و همچنین مشترکین تجاری، با استفاده از تفکیک مناطق همگن به نسبت اراضی و پایش جریان در یک بازه زمانی مشخص (به‌طور معمول ۲۴ ساعته) تعیین می‌شود. دبی‌سنج‌های قابل‌حمل التراسونیک را در مناطق ویژه برای اندازه‌گیری جریان به‌منظور استخراج منحنی روزانه برای گروه‌ها و مشترکین خاص می‌توان مورد استفاده قرار داد. منحنی تغییرات ساعتی برای یک ناحیه، با جمع‌آوری اطلاعات دبی‌سنج‌های ورودی و خروجی نصب‌شده در نقاط مرزی ناحیه موردنظر استخراج می‌شود.

برای نمونه، شکل (۲-۸) منحنی تغییرات تقاضای آب در طول روز برای مجتمع روستایی کرد آباد اسکو را در ماه مبارک رمضان نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸- منحنی تغییرات تقاضای آب در طول روز برای مجتمع روستایی کردآباد اسکو در ماه مبارک رمضان

31. Steady state

تغییرات فصلی علاوه بر میزان، بر الگوی تقاضا نیز موثر است. بنابراین شبیه‌ساز هنگام تهیه برنامه اندازه‌گیری جریان، این موضوع را باید در نظر بگیرد تا اطمینان حاصل شود که داده‌های جمع‌آوری‌شده برای سناریوی مدل، مناسب است. لازم به ذکر است که مخازن خانگی مشترکین (نوع مخازن و درصد وجود مخازن در ساختمان‌های پروژه) تاثیر قابل‌توجهی بر الگوی ساعتی تقاضا دارد و باعث یکنواخت‌تر شدن الگوی جریان می‌شود. لذا لازم است در تهیه الگوی شبیه‌سازی هیدرولیکی به موضوع شرایط مخازن خانگی نیز توجه ویژه شود.

۲-۶- نگهداشت مدل هیدرولیکی

یک مدل هیدرولیکی به‌روز شده و منعکس‌کننده شرایط بهره‌برداری جاری، فواید زیادی برای بخش‌های مختلف یک شرکت از جمله فنی مهندسی، بهره‌برداری، امور مشترکین و ، برنامه‌ریزی و مدیریت می‌تواند داشته باشد. متناسب با سرعت و نوع تغییرات در شبکه آبرسانی و همچنین اهداف یک شرکت آب و فاضلاب، نگهداری یک مدل هیدرولیکی در موارد زیر ممکن است به برنامه‌ریزی دوره‌ای یا مکرر نیاز داشته باشد:

- نگهداشت و به‌روزرسانی تاسیسات موجود
- پارامترهای هیدرولیکی
- کنترل‌ها (دستورهای کنترل زمانی یا شرطی در مدل)
- حفظ و نگهداری یک سطح منطقی از واسنجی مدل هیدرولیکی

قبلا در بسیاری از مدل‌ها، کمترین برنامه نگهداری تهیه و مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ به‌طوری‌که به‌صورت دوره‌ای و یا از ابتدا فقط به‌عنوان یک ابزار برای مطالعات عمده تهیه می‌شدند. اما در حال حاضر مدل‌های هیدرولیکی علاوه بر کاربردهای معمول قبلی، اغلب برای ارزیابی بهره‌برداری شبکه توزیع، مدیریت انرژی، آسیب‌پذیری و مسائل مربوط به کیفیت آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. با افزایش پیچیدگی و سطح جزئیات شبکه‌های توزیع، ایجاد و توسعه یک مدل جدید بسیار هزینه‌بر خواهد بود. بنابراین به‌جای ایجاد یک مدل جدید، به‌روزرسانی یک مدل موجود باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در وقت و هزینه می‌شود؛ زیرا بسیاری از سامانه‌های آبرسانی معمولاً تغییرات قابل‌توجهی در طول زمان نداشته و به‌روزرسانی دائم نیاز ندارند.

مدل‌های قدیمی ممکن است حاوی اطلاعات مفیدی باشند که بهتر است آنها را حفظ و به مدل به‌روز انتقال داد. ویژگی‌های کلیدی مانند منحنی مشخصه پمپ‌ها، هم‌بندی شبکه و تاسیسات و کنترل‌های تاسیسات که در مدل قبلی شناسایی و تایید شده‌اند، به‌طور موثر در حفظ و نگهداری مدل می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

نگهداری مدل هیدرولیکی از به‌روزرسانی دوره‌ای لوله‌ها و تاسیسات به‌صورت دستی تا به‌روزرسانی خودکار تمام عناصر، با استفاده از GIS می‌تواند انجام شود. با اینکه فعالیت‌های نگهداری مدل بسیار متنوع است، اما این فعالیت‌ها در یکی از پنج گروه اصلی زیر قرار می‌گیرند:

۱- به‌روزرسانی عناصر مدل (لوله‌ها، گره‌ها)

۲- به‌روزرسانی تاسیسات سامانه اعم از ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن، چاه‌ها، آبگیرها و غیره

۳- به‌روزرسانی تقاضای شبکه توزیع و الگوهای مصرف روزانه آب

۴- به‌روزرسانی کنترل‌های عملیاتی شبکه و تنظیمات شیرهای کنترل

۵- واسنجی دوره‌ای مدل

بسته به نوع اطلاعات و فناوری موجود در شرکت‌ها، نگهداری مدل ممکن است به سه صورت داده محور، مکان محور و یا به‌صورت دستی، با استفاده از نقشه‌های ازبیلت و توسط کاربر وارد مدل هیدرولیکی در حال استفاده شود. نگهداری

مدل مبتنی بر GIS (که هر دو مقوله اطلاعاتی و مکانی را پشتیبانی می‌کند)، یک روند رایج است؛ زیرا اطلاعاتGIS همیشه در حال اصلاح جزئیات و مجموعه داده‌های مورد نیاز برای ساخت و نگهداری یک مدل کارآمد و همچنین تکمیل آن می‌باشد.

۲-۶-۱- تناوب به‌روزرسانی

تناوب به‌روزرسانی‌های مورد نیاز یک مدل هیدرولیکی به موارد زیر بستگی دارد:

۱- سرعت تغییرات در شبکه توزیع

۲- نوع تغییرات اتفاق‌افتاده

۳- اهداف تعیین‌شده برای مدل هیدرولیکی

۴- فرایند به‌روزرسانی در محل (مانند رفع مشکل اتفاقات قسمتی از شبکه) یا برنامه‌ریزی‌شده (مانند تعریف و اجرای سناریوهای مختلف)

۵- نوع اطلاعات و فناوری در دسترس و سهولت استفاده از آن در فرایند به‌روزرسانی مدل

برخی تغییرات قابل‌توجه که منجر به تغییرات کلی در توزیع و تخصیص تقاضا می‌شود (از جمله تعمیر یا جایگزینی لوله‌ها، تغییرات جمعیت و اشتغال در سامانه)، ممکن است توزیع تقاضا و تخصیص‌ها را تغییر و هیدرولیک کلی سامانه آب را تحت‌تأثیر قرار دهد و بر نتایج مانند تحلیل جریان آتش‌نشانی و در نتیجه اندازه (قطر و طول) خط لوله تأثیر بگذارد.

نوع تغییرات در سامانه آب، ممکن است باعث نیاز به یک به‌روزرسانی لازم و فوری در مدل هیدرولیکی شود؛ زیرا این تغییرات به میزان قابل‌توجهی بر هیدرولیک شبکه در یک منطقه مورد نظر و احتمالاً در کل شبکه توزیع تأثیرگذار باشد. تغییراتی مانند منحنی مشخصه پمپ‌ها (تعویض پمپ)، نقاط تنظیم شیرهای کنترل (نظیر شیرهای تنظیم‌کننده فشار)، چاه جدید، پمپ تقویت‌کننده، مخزن یا خطوط اصلی انتقال، علاوه بر ایجاد تغییرات احتمالی عملیاتی مانند تغییر در پهنه‌های فشاری یا افزایش طول شبکه توزیع، ممکن است تأثیر مستقیمی بر روی ویژگی‌های جریان در شبکه توزیع داشته باشند و مشخصات هیدرولیکی متفاوتی نسبت به آنچه که قبلاً دیده و برنامه‌ریزی شده است، ایجاد کنند. روش و جزئیات مورد استفاده که در ابتدا با اهداف ضروری و برنامه‌ریزی‌شده برای ساخت و واسنجی یک مدل استفاده شده است، به راهنمایی برنامه‌های آینده، استفاده مکرر و رویکرد نگهداری مدل می‌تواند کمک کند. اگر مدلی برای ارزیابی سناریوهای عملیاتی و بررسی کیفیت آب تهیه و واسنجی شده باشد، سطح جزئیات و دقت مورد نیاز آن ممکن است حتی از بررسی طرح جامع مدل نیز بیشتر باشد.

تناوب به‌روزرسانی مدل وابسته به نوع اطلاعات و فناوری در دسترس و سهولت کار با آن است. اگر فرآیند نسبتاً خودکار باشد، تناوب به‌روزرسانی را می‌توان افزایش داد. با این حال چنانچه فرآیند به‌روزرسانی کاری پرزحمت و طولانی باشد، تناوب به‌روزرسانی کمتر شده و فقط زمان تغییرات هیدرولیکی قابل‌توجه به‌روزرسانی انجام خواهد شد.

در بخش‌های زیر دو گزینه برای نگهداری مدل به‌طور خلاصه توضیح داده شده است:

۲-۶-۱-۱- نگهداشت دوره‌ای مدل: رویکرد مرسوم این است که مدل‌های هیدرولیکی به‌صورت دوره‌ای یا براساس نیاز به‌روزرسانی می‌شود. با این رویکرد، مدل زمانی به‌روز می‌شود که طرح جامع سامانه آبرسانی به‌روز شده باشد. با این‌حال، با افزایش قابلیت‌ها و کاربردهای عملی مدل هیدرولیکی، روند به‌روزرسانی آن نیز با توالی و نظم بیشتری انجام می‌شود. به‌روزرسانی مدل هیدرولیکی، عمدتا شامل به‌روزرسانی جانمایی شبکه توزیع (لوله‌ها و گره‌ها)، اضافه کردن تاسیسات جدید به مدل اولیه یا به آخرین مدل به‌روز شده، به‌روزرسانی تقاضاها، به‌روزرسانی کنترل‌های عملیاتی

و واسنجی مجدد (برای تائید نتایج مدل نسبت به عملکرد میدانی) است. پایگاه دادهGIS و ابزارهای موجود در نرم‌افزارهای مدل‌سازی، از شناسایی و افزایش تاسیسات جدید به مدل هیدرولیکی پشتیبانی می‌کنند. برای تسهیل در به‌روزرسانی تاسیسات در مدل تعمیر یا بازسازی شده، ممکن است نیاز به پایگاه داده و یا یک مرجع مکانی وجود داشته باشد. در غیر این صورت، در فرایند تعمیر یا بازسازی ممکن است انتقال اطلاعات هیدرولیکی و یا هندسی از منبع داده به مدل هیدرولیکی به‌صورت دستی انجام شود.

۲-۶-۱-۲- نوسازی مدل: به‌دلیل بهبود کیفیت در داده‌های GIS و همچنین ابزارهای موجود ساخت در نرم‌افزارهای مدل‌سازی، برخی از شرکت‌ها ممکن است نوسازی کل مدل را مستقیما از GIS (به‌عنوان یک استراتژی مناسب برای نگهداری مدل) بگیرند. این امر علاوه بر اینکه چالش‌های مرتبط با تعمیر و بازسازی مدل را از بین می‌برد، اطمینان می‌دهد که مدل هیدرولیکی اطلاعات به‌روز GIS را منعکس می‌کند. بسته به وسعت این رویکرد، ممکن است اطلاعات خاص در مدل هیدرولیکی که در پایگاه داده GIS ذخیره نمی‌شوند (مانند ضرایب زبری و داده‌های تقاضا)، در پایگاه داده GIS نگهداری شود. این رویکرد نیاز به برنامه‌ریزی دقیق قبل از اجرا دارد؛ زیرا بخش GIS و بخش مهندسی باید در مورد روش‌های ذخیره‌سازی اطلاعات، قواعد نام‌گذاری، تجدید نظرهای احتمالی در مدل داده GIS برای تطبیق با الزامات مدل هیدرولیکی، فرآیندهای گردش کار به‌روزرسانی داخلی و سایر تصمیمات تاثیرگذار در سطح شرکت به توافق برسند.

فصل سوم: اندازه‌گیری و آزمون

۳-۱ مقدمه

هدف اصلی مدلسازی هیدرولیکی، ایجاد مدلی است که عملکرد سامانه توزیع آب را شبیه‌سازی کند. آزمون‌ها و سنجش‌های میدانی، در توسعه چنین مدلی بسیار حائز اهمیت هستند. آزمون‌های هیدرولیکی، بخش جدایی‌ناپذیر واسنجی مدل بوده و برای تهیه و بررسی اطلاعات سامانه به‌کار می‌روند. در برخی مواقع اطلاعات، بدون اندازه‌گیری در دسترس نیست. از آن جمله به داده‌هایی نظیر منحنی مشخصه پمپ، ضریب زبری لوله‌ها، دبی، تقاضای سامانه و تراز آب مخازن می‌توان اشاره کرد. این داده‌ها را در صورت عدم وجود منابع اطلاعاتی، از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی می‌توان به‌دست آورد. همچنین در مواقعی که اطلاعات تهیه‌شده از منابع دیگر نادرست باشد و مدل هیدرولیکی نتواند با این داده‌ها منطبق شود و یا اختلاف زیادی بین تخمین‌های نظری و اندازه‌گیری‌های میدانی وجود داشته باشد، از آزمون و روش‌های هیدرولیکی برای بررسی و درک چنین مغایرت‌هایی می‌توان استفاده کرد تا مشخص شود چرا مدل مطابق انتظار رفتار نمی‌کند. در طول فرآیند واسنجی مدل، آزمون‌های میدانی در مواردی بسیار مهم و کارساز است. از آن جمله به شناسایی شیر فلکه‌های بسته، اطلاعات ثبت‌شده نادرست، لوله‌هایی با لایه ضخیم رسوب و دیگر مشکلات در شبکه توزیع اشاره می‌توان نمود. با استفاده از آزمون‌های میدانی در واسنجی مدل، دقت شبیه‌سازی افزایش یافته، اعتماد به مدل هیدرولیکی تقویت شده و مدل به یک ابزار برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری کارآمد تبدیل می‌شود. مباحث عمده این فصل شامل موارد ذیل است:

- برنامه‌ریزی برای آزمون و سنجش میدانی
- آزمون ضریب هیزن ویلیامز
- آزمون شیب هیدرولیکی
- آزمون جریان آتش‌نشانی

۳-۲- آماده‌سازی و برنامه‌ریزی برای آزمون‌های میدانی

برای رسیدن به نتیجه مطلوب، آزمون‌ها و سنجش‌های میدانی باید به‌خوبی برنامه‌ریزی شوند. با اینکه آزمون‌های میدانی برای شرکت‌ها هزینه دارد، اما اجرای آنها برای توسعه یک مدل واسنجی‌شده و مطمئن لازم و ضروری است. عواملی که منجر به افزایش احتمال شکست در واسنجی می‌شوند، عبارتند از عدم برنامه‌ریزی کافی، عدم تشخیص پارامترهای موثر در آزمون، جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت ناقص و عدم عملکرد صحیح تجهیزات آزمون. در هنگام برنامه‌ریزی آزمون میدانی باید اهداف آزمون به روشنی تعیین شوند. این اهداف شامل:

۱- واسنجی کل یا قسمتی از مدل هیدرولیکی

۲- اندازه‌گیری یا تخمین ضریب هیزن ویلیامز

۳- واسنجی ابزار اندازه‌گیری

۴- شناسایی علل ناهنجاری‌های موجود در شبکه توزیع (به‌طور مثال فشار غیرعادی در یک ناحیه از شبکه توزیع یا

دبی غیرمتعارف در یک خط لوله)

هنگام برنامه‌ریزی، باید از کارکنان مجرب و مسلط به شبکه توزیع مشورت گرفت؛ چراکه تجربه آنها در کنار آزمون‌ها بسیار مهم است. قبل از جمع‌آوری داده‌های میدانی، باید تمام تجهیزات به‌کار رفته در آزمون میدانی واسنجی شوند. همچنین اگر اطلاعات ابزار اندازه‌گیری دائمی و یا مورد استفاده در سامانه اسکادا در واسنجی مدل موثر باشد، ضروری است تا خود این ابزار نیز واسنجی شوند. واسنجی تجهیزات قبل از آزمون‌های میدانی، اطمینان از داده‌های جمع‌آوری‌شده را تضمین می‌کند. واسنجی نامناسب تجهیزات اندازه‌گیری به عدم دقت نتایج منجر می‌شود که بعدا در واسنجی مدل هیدرولیکی مشکل‌ساز خواهد بود.

۳-۲-۱- نقشه‌ها

نقشه شبکه توزیع که مرز پهنه‌ها، خطوط اصلی انتقال و تاسیسات اصلی شبکه را نشان می‌دهد، یک ابزار بسیار با ارزش برای آزمون‌های میدانی است و باید دارای جزئیات و حاشیه‌نویسی برای تمام عناصر مورد استفاده در آزمون میدانی باشد. از جمله مواردی که می‌توان به آنها اشاره کرد، عبارتند از شیرهای آتش‌نشانی مورد استفاده در آزمون، شیرفلکه‌هایی که باید بسته باشند و یا هر نوع تغییرات بهره‌برداری که برای یک آزمون خاص استفاده می‌شود. از این نقشه‌ها محل قرارگیری ثبات‌های موقت فشار و دبی، تجهیزات پایش موجود در شبکه توزیع و اطلاعات مفید دیگری را قابل دسترس است.

۳-۲-۲- موازنه حجمی جریان[۳۲]

پایش دبی حتی امکان در ورودی و خروجی شبکه توزیع باید انجام شود تا مدل‌ساز اطلاعات لازم را برای محاسبه و موازنه آب در ناحیه مورد نظر داشته باشد؛ در غیر این صورت دبی‌سنج‌های قابل‌حمل را در نقاطی مانند ورودی آب به شبکه توزیع، درخروجی تصفیه‌خانه‌های آب، در محل ورودی آب از شبکه‌های دیگر، ایستگاه‌های پمپاژ و یا در محل شیرهای فشار شکن می‌توان مورد استفاده قرار داد. در مناطق خاص میانی، پایش دبی نیز می‌تواند انجام شود. به‌طور کلی پایش دبی توسط ابزار اندازه‌گیری قابل‌حمل در محل‌هایی که دسترسی به خطوط شبکه ممکن و راحت‌تر باشد، انجام می‌شود. با این حال در صورت نیاز، ممکن است به‌منظور پایش جریان، روی لوله حفاری صورت گیرد. اگر پایش جریان به‌صورت مداوم انجام شود، الگوهای روزانه تقاضا را به‌راحتی می‌توان بدست آورد.

۳-۲-۳- آماده‌سازی تجهیزات اندازه‌گیری

پس از تعیین الزامات آزمون و سنجش میدانی، لازم است تا از تجهیزات اندازه‌گیری ارزیابی صورت پذیرد. ممکن است ثبات‌های فشار در محل شیرهای آتش‌نشانی به‌صورت ثابت نصب شده باشند. در غیر این صورت این تجهیزات را اجاره یا خریداری می‌توان کرد. در هر صورت بسیار مهم است که قبل از آزمون میدانی، تمامی این تجهیزات واسنجی شوند. به منظور اعتماد به داده‌های بدست آمده در راستای رسیدن به اهداف از قبل تعیین‌شده (آزمون و سنجش میدانی)، آزمایش اولیه عملکرد صحیح کلیه تجهیزات بسیار مهم و ضروری است. شارژ باتری ذخیره و حافظه داخلی تجهیزات نیز بررسی شوند.

32. Flow Mass Balance

۳-۲-۴- سایر ملاحظات آماده سازی و برنامه ریزی

به‌منظور اطمینان از عدم تاثیر منفی آزمون بر روی مصرف مشترکین در مدت زمان انجام آن، لازم است تا روز و طول مدت انجام آزمون مدنظر قرار گیرد. همچنین باید اطمینان حاصل شود که تجهیزات و شبکه توزیع تحت تأثیر شرایط جوی قرار نگیرد. به‌طور معمول، مدت زمان آزمون می‌تواند طی چند روز یا چند هفته انجام شود. همچنین در صورت بروز مشکلات بهره‌برداری، بسته به ماهیت آن ممکن است از داده‌های روزهای بدون مشکل استفاده نمود و نیاز نیست تا کل داده‌های آزمون باطل شوند. معمولا آزمون آتش‌نشانی در روزهای عادی هفته و در طول روز انجام می‌شود. با این حال بسته به موقعیت، ممکن است آزمون در انتهای هفته و یا در هنگام شب نیز انجام شود. همچنین بهتر است اطمینان حاصل شود که نیروها میدانی شرکت‌ها آب و فاضلاب یا سازمان آتش‌نشانی برای کمک به آزمون در دسترس باشند و بهره‌برداران شبکه نیز در جریان قرار گیرند. ارتباط مداوم بین تمام عوامل در هنگام آزمون بسیار مهم است تا از تداوم خدمات رسانی به مشترکین در طول آزمون اطمینان حاصل شود و همچنین مانعی در اطفاء حریق‌های احتمالی ایجاد نشود. یک ملاحظه دیگر مربوط به اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی است. در این حالت باید اطمینان حاصل کرد که افت فشار کافی ایجاد شود. افت کافی در خط اصلی بدین معنی است که مقدار افت ایجاد شده از دقت ابزار اندازه‌گیری بیشتر باشد. در غیر اینصورت، نتایج معنی‌داری از آزمون میدانی حاصل نخواهد شد. برای اطمینان از دستیابی به افت فشار کافی، ممکن است بیش از یک شیر آب به‌طور همزمان در طول آزمایش باز شود.

۳-۳- آزمون‌های هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب

۳-۳-۱- آزمون اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی

از اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی، برای تعیین ضریب زبری در لوله‌ها و بررسی تنظیمات و عملکرد شیرهای کنترل و پمپ‌ها می‌توان استفاده نمود. به‌طور کلی، این آزمون برای واسنجی و تحلیل موضعی در شبکه توزیع مانند بررسی احتمال بسته بودن شیرآلات، کاربرد دارد. این آزمون شامل اندازه‌گیری دبی و فشار به‌طور همزمان در محل شیرهای آتش‌نشانی است. مراحل آزمون که در شکل (۳-۱) نشان داده شده بدین ترتیب است که ابتدا، فشار استاتیک در شیر آتش‌نشانی آزمون فشار (شیر اول) تحت شرایط جریان معمول (نرمال) اندازه‌گیری می‌شود. در شبکه‌های حلقوی توصیه می‌شود فشار در شیرهای آتش‌نشانی متعدد یا مکان‌های دیگر (مانند شیر تخلیه) نیز اندازه‌گیری شود تا داده‌های واسنجی کامل‌تری جمع‌آوری گردد. سپس با باز شدن شیر مقدار دبی جریان افزایش یافته و مقدار دبی با استفاده و در محل شیر آتش‌نشانی دوم اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که جریان در خروجی شیر آتش‌نشانی ثابت شد، فشار دینامیک (فشار باقی‌مانده) بر روی شیر آتش‌نشانی اول اندازه گیری می‌شود. در شبکه‌های بزرگتر یا نقطه‌ای که شیر آتش‌نشانی از شاخه‌های اصلی شبکه توزیع انشعاب می‌گیرد، ممکن است دو یا چند شیر آتش‌نشانی باز شوند تا جریان موردنیاز به‌منظور افت فشار لازم در لوله ایجاد شود. میزان دبی جریان در هر شیر خروج جریان، با اندازه‌گیری سرعت جریان (توسط قرائت‌سنج پیتو) و همچنین قطر خروجی شیر آتش‌نشانی و استفاده از رابطه پیوستگی، محاسبه می‌شود. به‌دلیل افت فشار ناشی از جریان در شیر و متعلقات آن، نباید از شیر آتش‌نشانی جریان (شیر دوم) برای اندازه‌گیری فشار باقی‌مانده (فشار دینامیک) استفاده شود (شکل ۳-۱). بنابراین، اندازه‌گیری فشار فقط در شیرهای آتش‌نشانی جداگانه (شیر آزمون فشار/شیر اول) واقع در نزدیکی شیر آتش¬نشانی جریان (شیر آزمون جریان/شیر دوم) انجام شود.

برای دستیابی به نتایج دقیق و مطلوب، باید حداقل ۷ متر (ستون آب) افت فشار بوجود بیاید (اختلاف فشار دینامیک از

فشار استاتیک). در حالت ایده‌آل، حداقل دقت دستگاه فشارسنج باید ۰/۴ متر باشد تا نتیجه مطلوب حاصل شود. ابزارهای اندازه‌گیری باید با دستگاه وزنی فشار قبل از هر مجموعه آزمایش واسنجی شوند.

شکل ۳-۱- آزمون دبی آتش‌نشانی

از آزمون اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی علاوه بر کمک به واسنجی مدل، با استفاده از مقایسه جریان‌ها و فشارهای اندازه‌گیری‌شده در آزمون با جریان‌ها و فشارهای شبیه‌سازی شده، برای تعیین جریان آتش‌نشانی در دسترس در فشار مشخص می‌توان استفاده نمود. در همین رابطه با استفاده از فرمول هایزن ویلیامز، جریان موجود آتش‌نشانی را در فشار ۱۴ متر ستون آب می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$Q_A = Q_M \times [(S - 14)/(S - R)]^{0.54}$$

QA: دبی قابل دسترس در فشار ۱۴ متر ستون آب

QM: دبی اندازه گیری شده در زمان آزمون

S: فشار استاتیک

R: فشار باقی مانده

حداقل هد فشار در زمان آزمون اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی ۱۴ متر توصیه شده است (سازمان ملی حفاظت از آتش آمریکا (NFPA [۳۳])). این حداقل فشاری است که از جریان برگشتی و یا ورود آب آلوده به شبکه جلوگیری می‌کند و فشار لازم را برای غلبه بر افت فشار شیر آتش‌نشانی و متعلقات آن را نیز در هنگام آتش‌سوزی ایجاد می‌کند.

33. National Fire Protection Association

برای اطمینان از داشتن فشارهای بیشتر از حدود ۱۴ متر، علاوه بر محل اندازه‌گیری، در تمام نقاط از جمله نقاط بالادست و کم فشار (در نقاط دیگر شبکه)، نیز ممکن است لازم باشد تا در طول آزمون کنترل فشار انجام شود. با استفاده از مدل، جریان‌های آتش‌نشانی قابل‌برداشت در فشار ۱۴ متر را می‌توان محاسبه نمود و با مقایسه آن با جریان آتش‌نشانی توسط اندازه‌گیری‌های میدانی و محاسباتی (توسط رابطه یادشده) به واسنجی مدل کمک کرد. با این‌حال مقایسه نتایج مدل با جریان و فشار اندازه‌گیری‌شده در خود فشار ۱۴ متر، نسبت به استفاده از جریان محاسبه‌شده برای فشار ۱۴ متر، برتری دارد؛ زیرا در واقعیت ممکن است پیچیدگی‌های احتمالی حاصل شود که در هنگام مدل‌سازی اعمال نشده است، از جمله این مشکلات، به باز شدن شیر قطع و وصل[۳۴]، برگشت جریان و یا تغییرات پمپ که به‌طور موقت در هنگام یک حریق ایجاد می‌شود، می‌توان اشاره نمود. در صورت استفاده از این مدل برای اهداف واسنجی در هنگام شبیه‌سازی جریان آتش‌نشانی، باید تغییرات موقتی مذکور اعمال شود.

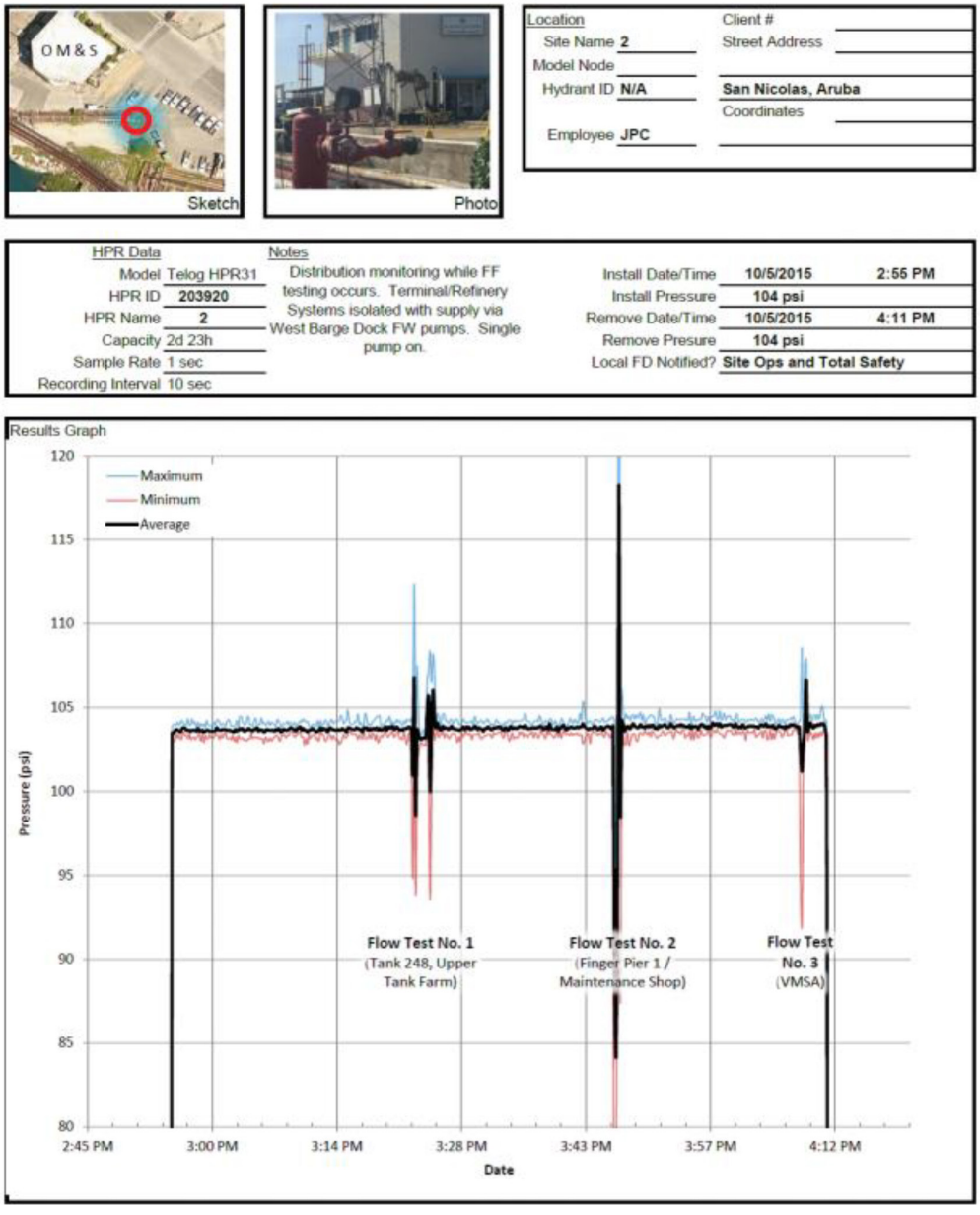
برای اینکه اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی برای واسنجی مفید باشد، باید شرایط مرزی مهم، وضعیت پمپ و تراز آب مخازن در طول سنجش ثبت و کنترل شوند؛ به‌طوری‌که امکان مقایسه مدل در شرایط مشابه وجود داشته باشد. از جمله شرایط مرزی مهم، می‌توان به تنظیمات شیر فشارشکن PRV اشاره کرد. گاهی اوقات شیرهای فشارشکن، در مرز پهنه‌های فشاری به جای شیرهای بسته استفاده می‌شوند؛ به‌طوری‌که فشارهای کم (شرایط دبی آتش‌نشانی) باعث می‌شود تا شیرهای فشارشکن مرزی باز شوند. در شرایط عادی، شیرهای فشار شکن برای جداسازی پهنه‌های فشاری نصب می‌شوند. تاریخ و زمان آزمون نیز باید ثبت شود؛ زیرا شرایط تقاضای شبکه در طول یک روز و فصل تغییر می‌کند.

اندازه‌گیری‌های جریان آتش‌نشانی در شبکه‌های بزرگ در مدل‌های واسنجی‌شده ارزش زیادی ندارند. از آنجایی که بخش اصلی افت فشار، در ناحیه نزدیک شیر آتش‌نشانی برداشت رخ می‌دهد، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های جریان آتش‌نشانی تنها برای واسنجی بخش محدودی از منطقه شیر آتش‌نشانی توصیه می‌شود و این واسنجی لزوماً بر دقت مدل کلی دلالت نمی‌کند. رویکرد پیشرفته دیگر برای اندازه‌گیری جریان آتش‌نشانی، با توجه به حداقل زمان و بازده عملیات، استفاده از ثبات‌های فشار مستمر است؛ در حالی‌که همزمان آب از چندین شیر آتش‌نشانی برداشت می‌شود (که گاهی اوقات آزمایش تنش شبکه نامیده می‌شود). در مقایسه با مقررات معمول برای انجام اندازه‌گیری‌های جریان، این روش را با حداقل نیروها و با سرعت بالاتر می‌توان انجام داد. همچنین داده‌های بیشتری برای واسنجی مدل می‌توان استفاده نمود (Garyman et al. ۲۰۰۶). با این‌حال، هنگام جانمایی ثبات‌های فشار و انتخاب شیرهای آتش‌نشانی برای ثبت جریان، باید دقت شود تا بدون نیاز به داده‌های اضافی در نواحی مورد آزمون، واسنجی به‌درستی انجام شود. در شکل‌های ۳-۲ تا ۳-۴ اطلاعاتی مربوط به آزمون دبی آتش نشانی ارائه شده است.

شکل ۳-۲- نمونه دبی‌سنج پیتو دستی در حال استفاده

34. Check valves

شکل ۳-۳- پخش‌کننده [۳۵] با ثبات فشار



شکل ۳-۴- نمونه گزارش ثبت اطلاعات فشار در طول آزمایش دبی آتش‌نشانی

35. Diffuser

۳-۳-۲- آزمون زبری لوله

آزمون زبری را برای تعیین ضریب زبری رابطه هایزن-ویلیامز یا ضریب زبری رابطه دارسی-ویسباخ می‌توان انجام داد البته در این بخش فقط در خصوص رابطه هایزن-ویلیامز بحث خواهد شد. ضریب C در معادله هایزن-ویلیامز زبری نسبی لوله را نشان می‌دهد. مدل‌های هیدرولیکی از معادله هایزن- ویلیامز یا سایر روابط افت هد، برای ارتباط دبی با افت هد در لوله‌ها استفاده می‌کنند. اگرچه رابطه هایزن-ویلیامز نیز مانند سایر روابط، تجربی است اما دقت کافی را در محدوده تغییرات سرعت و دمای متعارف یک شبکه آبرسانی دارد. اگر ضریب C براساس سرعت‌های بسیار زیاد (بیش از ۳ متر بر ثانیه) بدست آید، خطای قابل‌توجهی در هنگام استفاده از این ضریب برای پیش‌بینی افت فشار در سرعت‌های پایین رخ می‌دهد (Walski et al. ۲۰۰۷). بنابراین، هنگام آزمون باید سرعت را در زیر حد آستانه توصیه شده (۳ متر بر ثانیه) حفظ کرد.

اندازه‌گیری ضریب C برای تمام لوله‌های شبکه توزیع عملی نیست؛ از این‌رو تمام فرضیات براساس نمونه ضرایب محاسبه‌شده می‌باشد. آزمون باید برای ترکیبی از تمام اقطار و جنس‌های لوله‌ها و همچنین لوله‌های قدیمی و جدید باشد. بعضی شرکت‌ها ضریب C را در نواحی مختلف شبکه توزیع به‌صورت سالانه اندازه‌گیری کرده و یک پایگاه داده براساس قطر، نوع و جنس لوله ایجاد می‌نمایند. با استفاده از مدل‌های برازشی[۳۶] بر روی این داده‌ها، پیش‌بینی خوبی از ضریب Cدر شبکه توزیع هنگام توسعه مدل بدست می‌آید.

لوله‌هایی با عمر بالای ۳۰ سال، باید با دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرند. لوله‌های چدن خاکستری بدون پوشش داخلی، نیز باید در نمونه‌ها قرار داده شوند؛ زیرا با توجه به عمر لوله و کیفیت آب، ضریب C این لوله‌ها در دامنه وسیعی (از کمتر از ۲۵ تا بیشتر از ۱۰۰) تغییر می‌نماید. اگر مشخص نباشد که آیا لوله پوشش داخلی دارد یا خیر، می‌توان به سوابق نصب لوله‌ها رجوع کرد. معمولا لوله‌های قدیمی پوشش داخلی ندارند. همچنین اندازه‌گیری ضریب C در نزدیکی تصفیه‌خانه آب، به دلیل امکان ایجاد پوشش داخلی در لوله‌ها ناشی از فرآیندهای تصفیه آب اهمیت دارد.

معمولاً ضریب C مورد استفاده در مدل‌ها، افت هد در زانویی، شیرآلات و سایر اتصالات را نیز دربر می‌گیرد. در نظر گرفتن افت موضعی زانویی‌ها، شیرالات و سایر اتصالات در تعیین ضریب C، ایجاد و نگهداری مدل را ساده می‌نماید. افت هد این اتصالات ممکن است در سرعت‌های معمولی در سامانه‌های آبرسانی اندک باشد؛ اما درنظر گرفتن افت‌های موضعی، منجر به کاهش ضریب C می‌شود.

هنگام آزمون، قطر، دبی، افت فشار و طول لوله تعیین شده و ضریب C با استفاده از رابطه هایزن-ویلیامز محاسبه می‌شود. رابطه ضریبC در یک لوله تحت فشار با مقطع دایره‌ای، به‌صورت ذیل می‌باشد:

$$C = 3.582 \times Q \times D^{-2.63} \times L^{0.54} \times H^{-0.54}$$

C: ضریب زبری لوله

Q: دبی در لوله انتخاب شده (مترمکعب بر ثانیه)

D: قطر داخلی لوله (متر)

36. Regression Analyses

L: طول لوله ای که میزان افت هد اندازه گیری می شود (متر)

H: افت هد (متر آب)

با اندازه‌گیری افت فشار در دو سرعت متفاوت و مقایسه مقدار ضرایب C، نتایج آزمون‌های میدانی تایید می‌شود. اختلاف ضرایب C بدست‌آمده، نباید بیشتر از ۱۰ درصد باشد. در روشی دیگر دو آزمون بر روی یک لوله یکسان انجام، که در هر آزمون از تجهیزات متفاوتی استفاده می‌شود.

معمولاً برای اندازه‌گیری دقیق، جریان باید به‌طور دستی (توسط بهره‌بردار) به‌نحوی تنظیم شود تا سرعت و افت فشار لازم ایجاد گردد. در لوله‌های با قطر ۳۰۰ میلی‌متر و کوچک‌تر، با بازکردن یک یا چند شیر آتش‌نشانی جریان کافی ایجاد می‌شود. در لوله‌های با قطر بزرگ‌تر، برای افزایش جریان در لوله‌ها لازم است تا چندین شیر آتش‌نشانی را باز نمود و یا از روش‌های دیگری استفاده شود که مهم‌ترین این روش‌ها، عبارتند از باز کردن شیرهای تخلیه، کنترل یا قطع جریان در لوله‌های اصلی موازی و سایر لوله‌ها، استفاده از پمپ‌ها و افزایش تراز آب مخازن.

قطر لوله‌های مورد استفاده در محاسبات ضریب C همان قطرهای مورد استفاده در مدل است که معمولاً قطرهای داخلی لوله‌ها هستند. طول لوله مورد استفاده برای محاسبه ضریب C، فاصله بین دو نقطه فشارسنجی است. از آزمون‌هایی که شامل بیش از یک لوله با مشخصات متفاوت بین دو ثبات فشار است، باید اجتناب شود. همچنین انتخاب لوله با حداقل برداشت آب در حد فاصل دو ثبات فشار، ارجحیت دارد تا از برقراری یک جریان دائم[37] در طول لوله مورد آزمایش اطمینان حاصل شود.

افت فشار اندازه‌گیری شده، معادل افت خط شیب هیدرولیکی (HGL) بین ابتدا و انتهای (نقاط نصب حسگرهای فشار) طول لوله مورد آزمایش است. در این روش، افت‌های موضعی در شیرهای آتش‌نشانی، شیرهای هوا، انشعابات یا شیرهای دیگر از افت هد کل باید کسر شود. انتخاب روش‌های اندازه‌گیری بستگی به شرایط میدانی و میزان افت فشار اندازه‌گیری‌شده دارد.

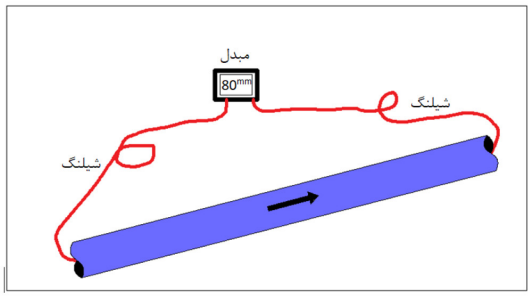
۳-۳-۲-۱- روش شیلنگ موازی: روش شیلنگ موازی با استفاده از شیلنگ یا لوله‌ای انجام می‌شود که انتهای قسمت لوله آزمون را به فشارسنج تفاضلی یا فشارسنج متصل کرده و افت هد را اندازه‌گیری می‌کند. همان‌طور که در شکل (۳-۵) نشان داده شده است، این روش بدون اعمال تراز دو سر لوله آزمون، میزان افت هد را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کند. تجهیزات قابل‌حمل آزمون شامل لوله و شیلنگ‌های لاستیکی با قطر (۴یا ٦ میلی‌متر) می‌باشد.

برای دستیابی به نتایج دقیق آزمون، روش شیلنگ موازی به حداقل ۰/٦ متر افت هد نیاز دارد؛ به‌شرطی‌که دقت اندازه‌گیری فشارسنج تفاضلی حداقل ۰/۰۳ متر باشد. طول لوله‌ها و دبی‌ها باید طوری انتخاب شوند که سرعت و افت هد قابل‌اندازه‌گیری را در محدوده دقت حسگر فشار [38] ایجاد کنند.

روش شیلنگ موازی برای آزمایش برخی از لوله‌های کوتاه مناسب نیست؛ زیرا در صورتی‌که طول لوله‌های انتخابی کوتاه باشد، برای تولید افت هد قابل‌اندازه‌گیری، به سرعت جریان بسیار بالایی نیاز است؛ لذا طول‌های کوتاه لوله، می‌توانند این روش را غیرعملی کنند. حداقل طول موردنیاز برای انجام این آزمون یک کیلومتر توصیه شده است.

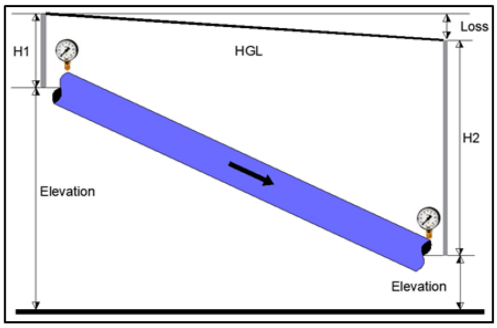
37. Consistent
38. Pressure Transducer

منابع ایجاد خطا، شامل نشت در لوله و یا وجود هوا در شیلنگ است. در صورت امکان، یک شیر فلکه بلافاصله در پایین‌دست محدوده آزمون کار گذاشته شود. این بخش از لوله باید در دبی صفر، افت هد نداشته باشد.



شکل ۳-۵- روش شیلنگ موازی

۳-۳-۲-۲- روش استفاده از دو فشارسنج: در این روش از دو فشارسنج در نقاط ورودی و خروجی بخش انتخابی آزمون استفاده می‌شود. اندازه‌گیری فشار و ارتفاع در دو نقطه مذکور، شیب هیدرولیکی را تعیین می‌کند. مطابق شکل (۳-۶)، افت هد با تفاضل تراز هیدرولیکی نقطه خروجی و نقطه ورودی تعیین می‌شود. یک آزمون دقیق، به حداقل افت هد ۳ متر نیاز داشته و فشارسنج‌ها و ارتفاع‌سنج‌ها، باید دارای محدوده دقت ۰/۱۴± متر باشد. برای استفاده از نتایج آزمون برای یک مدل ممکن است نیاز به استفاده از برون‌یابی باشد؛ باید درنظر داشت که افت هدهای کم، باعث خطا شده و این خطا با انجام برون‌یابی[۳۹] می‌تواند به خطای قابل‌توجهی منجر گردد. این سطح از دقت، مستلزم واسنجی فشارسنج‌ها با دستگاه وزنی فشار و کنترل دقت ارتفاع‌سنج‌ها از روی نقاط مرجع [۴۰] است. یکی از مزایای این روش، امکان افزایش دقت از طریق افزایش طول لوله و در نتیجه افزایش افت هد می‌باشد. با این‌حال، جداسازی محدوده آزمون با طول زیاد نیاز به بستن شیرفلکه‌های زیادی دارد. از دیگر معایب این روش، نیاز به دانستن اطلاعات ارتفاع در نقاط ورودی و خروجی محدوده آزمون است. اگر برداشت ارتفاع نقاط مشکل باشد، با بستن شیر فلکه در پایین‌دست و اندازه‌گیری فشار در دبی صفر، اختلاف ارتفاع نقاط را می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۳-۶- روش دو فشارسنج

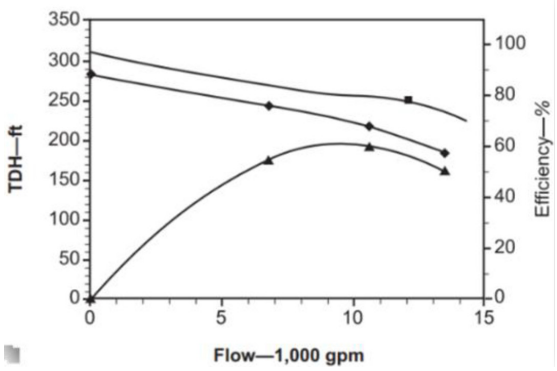
۳-۳-۲-۳- روش‌های دیگر: روش‌های دیگر اندازه‌گیری فشار و افت هد، تحت شرایط میدانی خاصی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور مثال، در برخی موارد، شیب هیدرولیکی توسط تراز آب مخازن تعیین می‌شود. ارتفاعی که آب در شیلنگ‌های شفاف متصل به لوله‌ها بالا می‌آید، به‌طور مستقیم نشانگر تراز فشار است. این روش، تنها در فشارهای

39.Extrapolated
40.Benchmark

نسبتاً کم کاربرد دارد. لوله‌های موازی بدون جریان، برای نشان دادن شیب هیدرولیکی فشار از یک انتهای محدوده آزمون به انتهای دیگر به‌کار می‌رود. در برخی از این روش‌ها با اندازه‌گیری متناوب فشار در دبی‌های مختلف، به برداشت اطلاعات ارتفاع نیاز نیست.

۳-۳-۳- آزمون پمپ

به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد هیدرولیکی و محاسبه هزینه‌های انرژی، اطلاعات دبی و هد جمع‌آوری‌شده از آزمون پمپ، به مدل معرفی می‌شود. آزمون‌های پمپ، به‌منظور تعیین منحنی مشخصه واقعی پمپ به‌صورت میدانی انجام می‌شود. این فرض که منحنی مشخصه طراحی به‌طور دقیق عملکرد میدانی آن را نشان می‌دهد، ممکن است خطای قابل‌توجهی را در مدل هیدرولیکی بوجود آورد. گاهی در عمل، عملکرد یک پمپ با مشخصه‌های اعلام‌شده از طرف کارخانه سازنده کاملاً متفاوت است. تفاوت بین عملکرد میدانی و ویژگی‌های اعلام‌شده از طرف کارخانه سازنده، می‌تواند ناشی از استهلاک تجهیزات، تغییر تجهیزات بدون مستندسازی یا دیگر شرایط میدانی باشد. همان‌طور که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است، آزمون‌های پمپ می‌توانند نشان دهند که چگونه هد کل دینامیکی (TDH) و بازده پمپ واقعاً با دبی تغییر می‌کنند. اکثر مدل‌ها از منحنی مشخصه پمپ که بر مبنای حداقل سه نقطه (دبی-هد)، استفاده می‌کنند. آزمون پمپ‌ها، معمولاً برای شرایط متعارف کارکرد، طراحی، دبی بالاتر از طراحی، دبی کمتر از طراحی (فلکه نیمه‌بسته) و شرایط حدی قطع دبی پمپاژ (فلکه بسته)، انجام می‌شود.



شکل ۳-۷- نمودار آزمون پمپ

در طول آزمون پمپ، معمولا برای سنجش جریان از دبی‌سنج‌های ثابت یا موقت استفاده می‌شود. برای کاهش دبی یا قطع جریان، از شیرفلکه پایین‌دست استفاده می‌شود. انسداد جریان، داده‌های ناحیه چپ نقطه عملکرد منحنی پمپ را فراهم می‌کند. بازکردن شیرهای آتش‌نشانی یا تخلیه، پر کردن مخزن یا تنظیم پمپاژ در ایستگاه‌های پمپاژ دیگر، منجر به شرایط دبی بالاتر از طراحی و داده‌هایی را برای ناحیه راست نقطه عملکرد منحنی پمپ فراهم می‌کند.

اگر پمپ‌ها دور متغیر باشند، دور پمپ‌ها را می‌توان تغییر داد تا نقاطی را در منحنی دیگر هد سامانه را مشخص کند. اما در حین ایجاد یک منحنی دور پمپ ثابت نگه داشته می‌شود.

هد دینامیکی (TDH)، مقدار انرژی لازم برای انتقال آب توسط یک پمپ تعریف می‌شود. رابطه محاسبه TDH برابر است با:

$$TDH = (P + V + Z)_{OUT} - (P + V + Z)_{IN}$$

TDH: هد دینامیکی کل (متر ستون آب)

P: هد فشار (متر ستون آب)

V : هد سرعت (متر ستون آب)

Z: ارتفاع ثبات فشار(متر ستون آب)

OUT: رانش پمپ

IN: مکش پمپ

مقدار سرعت با تقسیم دبی اندازه‌گیری‌شده به سطح مقطع لوله محاسبه می‌شود. مقدار هد سرعت ($V^2/2g$) به‌خصوص در دبی بیشتر از دبی طراحی می‌تواند قابل‌توجه باشد.

بازده پمپ، با تقسیم توان هیدرولیکی خروجی پمپ بر توان الکتریکی ورودی به موتور محرک به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E = 36.2\times10^{-8} \times Q \times TDH/KW$$

E: درصد بازده

Q: دبی (مترمکعب بر ثانیه)

TDH: هد دینامیکی کل (متر ستون آب)

KW: توان پمپ (کیلو وات)

توان الکتریکی، با استفاده از تجهیزات قابل‌حمل اندازه‌گیری می‌شود. توان الکتریکی با استفاده از اندازه‌گیری ولتاژ، آمپر و ضریب توان محاسبه می‌شود. برای تأیید دقت، مشخصه‌های توان نیز باید اندازه‌گیری شوند.

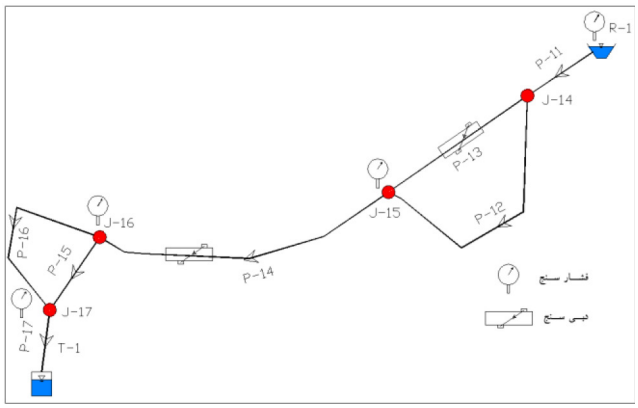
۳-۳-۴- آزمون شیب هیدرولیکی

با انجام آزمون شیب هیدرولیکی، مقدار تغییرات خط تراز هیدرولیکی (HGL) در طول لوله تعیین می‌شود. اطلاعات نقاط خط شیب هیدرولیکی، با افزودن فشار اندازه‌گیری‌شده (فشار پیزومتریک) به ارتفاع هر نقطه محاسبه می‌شود. نتایج آزمون شیب هیدرولیکی، در واسنجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. اغلب با ترکیب اطلاعات بدست آمده از این آزمون با مدل هیدرولیکی، می‌توان محل شیر فلکه‌های بسته و نیمه‌باز و محدوده لوله‌های اصلی با تقاضای بیشتر یا کمتر از میزان تخصیص داده‌شده را مشخص نمود و به تعیین نقاط مورد نیاز اصلاح در طول خطوط لوله کمک کرد.

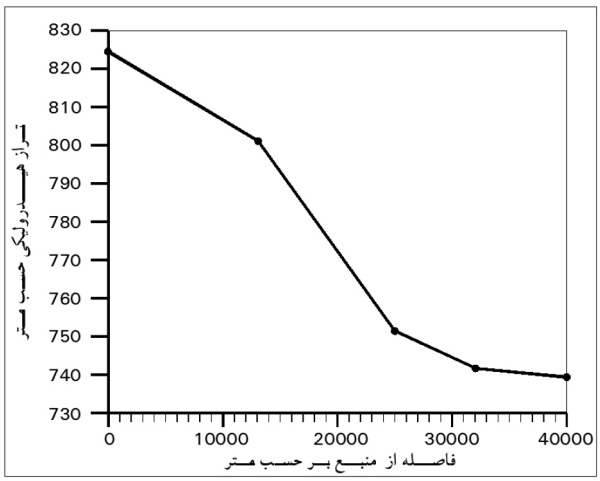
آزمون شیب هیدرولیکی شامل اندازه‌گیری همزمان دبی و فشار در طول مسیر لوله تحت شرایط دبی دائم است. همان‌طور که در شکل (۳-۸) نشان داده شده است، معمولاً فشار در امتداد مسیر لوله اصلی، مثلاً حد فاصل تصفیه‌خانه و مخزن آب اندازه‌گیری می‌شود. همچنین اطلاعات فشار در محل تصفیه‌خانه‌ها، نقاط تولید، تاسیسات کلیدی (مصرف‌کننده‌های عمده آب)، ورودی و خروجی ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن، تقاطع لوله‌های اصلی و محل تبدیل لوله‌ها، ثبت می‌شود. در مقاطع لوله‌های مهم، دبی نیز اندازه‌گیری می‌شود.

فشارهای اندازه‌گیری‌شده، به متر طول تبدیل شده و با اضافه کردن ارتفاع در هر نقطه، مقدار تراز هیدرولیکی بدست می‌آید. سپس خط تراز هیدرولیکی نسبت به فاصله (از یک مبدا انتخابی) طبق شکل (۳-۹) رسم می‌شود. نمودار شیب هیدرولیکی مقدار مجموع افت هد در امتداد لوله‌ها و مسیر انتخابی را نشان می‌دهد. شیب خط

تـراز هیدرولیکـی در بخش‌هـای بـا موانـع هیدرولیکـی قابل‌توجـه کـه افـت هد زیاد دارند، بیشـتر اسـت.
برای رسیدن به نتیجه مطلوب، آزمون‌های شیب هیدرولیکی باید با دبی زیاد انجام شود تا افت هد قابل‌توجهی ایجاد کند. در صورتی‌که دبی خط کم باشد، با روش‌هایی دبی را می‌توان افزایش داد. در شبکه‌های کوچک، یک راه ساده باز کردن شیرهای آتش‌نشانی است اما در شبکه‌های بزرگ ممکن است بازکردن شیرهای آتش‌نشانی کافی نباشد. در این حالت، آزمون را در زمان حداکثر مصرف، هنگام پر شدن مخازن یا با روشن کردن پمپ‌ها در مکان‌های مناسب می‌توان انجام داد.



شکل ۳-۸-چیدمان آزمون شیب هیدرولیکی



شکل ۳-۹-نتایج آزمون شیب هیدرولیکی

۳-۳-۵- سایر آزمون‌ها

برخی مدل‌ها، به انجام انواع دیگر آزمون‌ها نیاز دارند. واسنجی شیرهای تنظیم فشار، نیاز به اندازه‌گیری دقیق فشار در نقاط با ارتفاع معین، پایین‌دست (برای تایید تنظیمات) و احتمالا بالادست (برای تایید عملکرد) دارند. اندازه‌گیری فشار و دبی در مدل‌سازی سایر شیرهای کنترلی نیز مفید است. اندازه‌گیری فشار خط و تراز آب مخزن برای بررسی دقت داده‌های اخذ شده از سامانه‌های اسکادا نیز ضروری است.

۳-۳-۶- ملاحظات آزمون‌ها

زمان انجام یک آزمون در شبکه توزیع باید تاثیرات کلی آن بر شبکه درنظر گرفته شود و به مشترکینی که تحت تاثیر قرار خواهند گرفت، اطلاع‌رسانی گردد. زیرا در زمان انجام این آزمون‌ها فشار شبکه کاهش می‌یابد و یا به‌دلیل سرعت بالا، رسوبات در شبکه بهم خورده و موجب تغییر رنگ آب می‌شود. اگر انتظار چنین تغییراتی در حین آزمون به مشترکین اطلاع‌رسانی نشود، موجب نگرانی آنها می‌شود. وقتی شیرهای قطع و وصل و آتش‌نشانی در مراحل آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرند، بهره‌بردار باید مشکلات را پیش‌بینی کرده و در صورت نیاز، آماده انجام تعمیرات باشد. برای اطمینان از پوشش کافی داده‌ها در مکان‌های مختلف ، به‌خصوص زمانی که اطلاعات فشار اندازه‌گیری می‌شود در صورت امکان داده‌ها باید برای چند روز یا هفته جمع‌آوری و ثبت شوند. وقتی تجهیزات و منابع مالی محدود است، باید نقاط با اهمیت و یا تاسیساتی که به بهترین وجه اهداف آزمون را فراهم می‌کند، در الویت قرار گیرد.

مجریان آزمون، باید آمادگی لازم برای کنترل ترافیک، تمیز کردن رسوبات و جمع‌آوری زباله‌ها از معابر و حوضچه‌های آبگیر را داشته باشند. همچنین، مجریان باید برای تعمیر و بهسازی محیط اطراف تخریب‌شده در اثر حجم بالای آب خارج‌شده از شیرهای آتش‌نشانی آمادگی لازم را داشته باشند. این مسائل، در زمان برنامه‌ریزی پیش‌بینی شود.

برای محدوده مناطق که تحت تاثیر آب تخلیه‌شده در پایین‌دست قرار دارند و به منظور جلوگیری از تخریب باید از تدابیر و روش‌های انحراف جریان مانند کیسه‌های شن یا از تجهیزات تعبیه‌شده برای هدایت آب به داخل شبکه‌های زهکشی استفاده شود. سلامت کارکنان شرکت و عابرین، در طول آزمون باید نگرانی اصلی باشد. آزمون‌های دبی، ممکن است خطرات کاهش دید (به‌خصوص در شب)، ترافیک وسایل نقلیه، خطرات ناشی از سقوط (به‌عنوان مثال وقتی دریچه حوضچه‌های آبگیر و منهول‌ها جهت تسهیل جریان آب برداشته شود)، یخزدگی[41] و دیگر خطرات را دربر داشته باشد که باید پیش‌بینی و در صورت لزوم مدیریت شود. در هوای سرد به‌دلیل احتمال یخزدگی و شرایط خطرناک پایین‌دست، باید از انجام آزمون اجتناب کرد.

هدررفت آب مورد استفاده در هنگام آزمون جریان آتش‌نشانی نیز باید درنظر گرفته شود. برای جلوگیری از هدررفت بیش از اندازه آب و نیز مدیریت افکار عمومی باید تا حد امکان مدت‌زمان آزمون کاهش یابد لذا در دوره‌های کم آبی، تا حد ممکن از انجام آزمون باید اجتناب کرد. بعضی از شرکت‌های آب و فاضلاب در دوران خشکسالی، به‌منظور افزایش آگاهی عمومی از سیاست‌های مدیریت مصرف آب برای استفاده مجدد از آب آزمون آتش‌نشانی، روش‌های انتقال آب را در دستور کار قرار می‌دهند. به عنوان مثال، آب حاصل از آزمون آتش‌نشانی را در تانکرهای قابل‌حمل ذخیره کرده و به محل دیگری (مثل فضاهای سبز و پارک‌ها) به‌منظور آبیاری انتقال می‌دهند. استفاده از آب با این روش علاوه بر تحمیل هزینه‌های اضافی، مستلزم تایید ارگان‌های ذیربط است. با این‌حال در مناطقی که دچار خشکسالی یا کمبود آب هستند، تلاش در این زمینه برای شرکت‌های آب و فاضلاب ارزشمند خواهد بود.

۴-۳- کیفیت داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌منظور واسنجی مدل، باید دقیق‌تر از داده‌هایی باشد که به صورت روزمره برای بهره‌برداری و کنترل جمع‌آوری می‌شوند. داده‌های واسنجی، به‌منظور تدقیق مقادیر زبری و تقاضای آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است که افت هد در شبکه‌های توزیع آب تحت شرایط عادی بهره‌برداری، معمولا بسیار کم اما خطاهای اندازه‌گیری افت هد، هم مرتبه با اندازه‌گیری مقدار افت هد می‌باشند. چنین داده‌هایی برای بررسی هد مرزها و تراز نقاط ارتفاعی مفید است، اما برای تدقیق زبری مناسب نیست زیرا در چنین دبی‌های اندک، افت هد را به‌طور دقیق

41. Hypothermia

نمی‌توان محاسبه نمود.

شرط پذیرش داده‌های جمع‌آوری‌شده برای استفاده در واسنجی مدل هیدرولیکی، این است که اطمینان حاصل شود اندازه افت هد خیلی بیشتر از خطای اندازه‌گیری باشد. این امر با به حداقل رساندن خطاها در اندازه‌گیری‌های افت هد و یا با افزایش مقدار افت هد به‌دست می‌آید. افت هد در مواقع حداکثر مصرف و یا در آزمون‌های جریان آتش‌نشانی، به حداکثر می‌رسد. اگر شیرفلکه‌های نیمه‌باز که برای کاهش جریان به‌کار می‌رود شناسایی شده باشند، باید قبل آزمون باز شوند. شیرفلکه‌های نیمه‌باز، می‌توانند افت هد موضعی بالا و غیرقابل‌شناسایی ایجاد کنند.

اندازه‌گیری هد، شامل اندازه‌گیری فشار و ارتفاع است. فشارها با فشارسنج‌های با دقت حداقل ۰/۳۵ متر برداشت شوند. ارتفاع هم تا حد ممکن باید دقیق باشد. هنگام برداشت اطلاعات از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱/۲۰۰۰ و با فواصل منحنی تراز ۵ متر، ممکن است در ساخت مدل‌های هیدرولیکی مقبول باشد، اما ارتفاع نقاط مرجع (بنچ مارک‌ها) به میزان قابل‌توجهی باید دقیق‌تر باشند. اگر نقشه‌های با دقت ۰/٦ تا ۰/۹ متر در دسترس نباشد، نقشه‌برداری محل فشارسنج‌ها (به‌جای ارتفاع زمین) معمولا دقیق‌ترین روش برای تعیین تراز ارتفاعی است. از GPS می‌توان برای تعیین تراز ارتفاع محل حسگر فشار استفاده کرد، اما باید از دقت بالاتری برخوردار باشد. همچنین GPS با نزدیکترین نقطه مرجع (بنچ مارک) شناخته‌شده واسنجی شود.

تخصیص و تدقیق مقادیر تقاضا و زبری لوله‌ها، شیب خط هیدرولیکی را تغییر می‌دهند، بنابراین هنگام جمع‌آوری اطلاعات واسنجی، آگاهی از هد فشار مناطق مرزی (منظور از مناطق مرزی مناطق تغییر تاسیسات شبکه است) ضروری است. به‌عنوان مثال، فقط اطلاع از مقدار فشار در نقطه‌ای از شبکه بدون داشتن اطلاعاتی نظیر تراز آب در مخازن مجاور، عملکرد و دبی خروجی پمپ‌های مجاور، وضعیت یا تنظیم شیرهای تنظیم فشار مجاور، برای تنظیمات واسنجی مدل کافی نیست. اگر تغییرات تدریجی باشد (مانند تغییرات تراز آب مخزن)، از اطلاعات سامانه اسکادا برای کمک به واسنجی می‌توان استفاده کرد؛ اما اگر در طول آزمون، تغییراتی نظیر خاموش و روشن شدن پمپ یا باز و بسته شدن شیر تنظیم فشار اتفاق بیافتد، این اطلاعات برای واسنجی مفید نخواهد بود. زیرا وقفه زمانی در برداشت اطلاعات سامانه اسکادا، ممکن است یک آزمون جریان آتش‌نشانی را نادیده بگیرد. این امر مستلزم استقرار نیروها در نقاط کلیدی شبکه در حین آزمون و یا نصب دیتالاگر برای ثبت نتایج آزمون است.

قرائت دبی‌سنج‌ها، باید با اندازه‌گیری فشار به‌طور همزمان انجام گیرد. اگر این احتمال وجود داشته باشد که دبی در طول آزمون جریان آتش‌نشانی متغیر باشد، بهتر است با استفاده از دبی‌سنج از تغییرات جریان اطلاع کسب نمود. گاهی مواقع، سوابق اندازه‌گیری دبی و فشار موجود بوده و توسط شرکت‌ها ارائه می‌گردد. برای استفاده از این داده‌ها به‌منظور ساخت و یا واسنجی مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب، تاریخ، زمان، مراحل انجام و شرایط حاکم بر آن مورد نیاز است.

فصل چهارم: واسنجی مدل

۴-۱ مقدمه

ارزش مدل‌های هیدرولیکی، به میزان دقت شبیه‌سازی شبکه توزیع آب بستگی دارد. واسنجی، بهترین راه اطمینان از تطابق نتایج مدل با شرایط واقعی شبکه توزیع در طیف وسیعی از شرایط بهره‌برداری است. این فصل، مراحل واسنجی مدل و انواع آن را تشریح می‌کند. همچنین مسائل و مشکلات معمولی که هنگام واسنجی یک مدل بوجود می‌آید را مورد بحث قرار می‌دهد.

مدل هیدرولیکی، در اصل یک مدل ریاضی از هیدرولیک سامانه آبرسانی است. برای بازتاب دقیق عملکرد شبکه توزیع، یک مدل باید شامل داده‌هایی با دقت مناسب باشد که میزان مصرف آب، مشخصات لوله‌ها و تاسیسات و همچنین تنظیمات کنترلی تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده در سامانه آبرسانی را مشخص کند. یک مدل هیدرولیکی، ممکن است شبیه‌سازی یک شبکه را براساس اطلاعات ارائه‌شده انجام دهد. با این‌حال اگر این اطلاعات دقت لازم را نداشته باشند، مدل حاصل ممکن است مزایای محدودی داشته باشد و منجر به نتایج نادرست شود. اگرچه واسنجی مدل ممکن است زمان‌بر باشد؛ اما برای اتخاذ تصمیمات دقیق مهندسی، مزایای بالقوه یک مدل واسنجی‌شده بسیار بیشتر از هزینه احتمالی اشتباهاتی است که ممکن است در استفاده از نتایج نادرست ایجاد شود. هنگامی که فرایند واسنجی تکمیل می‌شود، برای حفظ مدل به‌روزشده نگهداشت آن بسیار با اهمیت و ضروری است. برای کسب اطلاعات بیشتر در این خصوص به بخش نگهداشت مدل (بخش ۲-۶) مراجعه شود.

۴-۲- واسنجی چیست؟

واسنجی، فرآیند مقایسه نتایج مدل با داده‌های میدانی و ایجاد اصلاحات و تنظیمات پارامترهای مدل به‌منظور دستیابی به یک مطابقت مطلوب بین نتایج مدل هیدرولیکی و داده‌های اندازه‌گیری‌شده میدانی است. مشخصه‌های که مقایسه می‌شوند، معمولا شامل فشار، دبی و تراز آب مخزن هستند. یک مدل واسنجی‌شده مطلوب، مطابقت خوبی با اندازه‌گیری‌های میدانی در گستره وسیعی از شرایط بهره‌برداری خواهد داشت.

اختلاف بین نتایج مدل و داده‌های میدانی، می‌تواند ناشی از عوامل زیادی از جمله اطلاعات نادرست در ساختار مدل، اشتباه در گزارش داده‌های میدانی، قیود و کنترل‌های شناسایی‌نشده در شبکه توزیع و نیز تخصیص اطلاعات نادرست در مدل باشد. برخی از پارامترهای مرتبط با اجزای فیزیکی که در حین واسنجی نیاز به تصحیح دارد، عبارتند از هم‌بندی شبکه، قطر لوله‌ها، تراز ارتفاعی گره‌ها، تنظیمات شیرالات کنترلی، جهت شیرهای یک‌طرفه و مشخصات پمپ‌ها هستند. غالب داده‌های متغیر و یا تعریف‌نشده که ممکن است نیاز به تنظیم داشته باشند، عبارتند از پارامترهای مدل مثل افت موضعی، ضریب زبری لوله و ضریب حداکثر تقاضا است.

لازم به یادآوری است که داده‌های میدانی نیز، تا حدی عدم قطعیت دارند و ممکن است از دقت کافی برخوردار نباشند. اگر نتایج مدل با داده‌های میدانی مطابقت نداشته باشد، نباید فوراً تصور کرد که لزوماً مشکلی در مدل وجود دارد. تمام خطاها چه در مدل و چه در داده‌های میدانی باید با دقت بررسی شوند.

۴-۲-۱- واسنجی[۴۲] ، اصلاح[۴۳] و اعتبارسنجی[۴۴]

برخی از کلمه "واسنجی" این برداشت اشتباه را می‌کنند، که مدل هیدرولیکی دقیقاً مطابق با واقعیت شبکه باید شبیه‌سازی شود. اما در بسیاری از موارد شرایطی در سامانه وجود دارد که شبیه‌سازی آنها ممکن نیست. به‌عنوان مثال، می‌توان به یک شیر بسته شناسایی‌نشده در شبکه توزیع اشاره کرد. به همین دلیل، برخی پیشنهاد می‌دهند که اصطلاح "اصلاح مدل"، واژه‌ای بهتری از "واسنجی مدل" است. اما در این دستورالعمل، به‌طور کلی اصطلاح مرسوم واسنجی پذیرفته شده است. در واسنجی مدل، همواره بر این موضوع تاکید شده است که درجه واسنجی، بستگی زیادی به دقت داده‌های موجود و ناشناخته‌های احتمالی در شبکه توزیع دارد. اصطلاح اصلاح مدل نیز تاکید می‌کند که وقتی نتایج مدل با داده‌های میدانی ثبت‌شده مطابقت ندارد، داده‌های ثبت‌شده ممکن است نادرست باشند یا ممکن است قیود شناخته‌نشده‌ای مثل بسته بودن شیرفلکه‌ها در شبکه توزیع وجود داشته باشد.

درک این موضوع که یک مدل دارای محدودیت‌های ذاتی است، می‌تواند مانع از استفاده نامناسب از مدل شود. بدون درنظر گرفتن و شناسایی محدودیت‌های ذاتی مدل، امکان تطبیق داده‌های ورودی برای دستیابی به یک سطح بالاتری از واسنجی یا بهترین تناسب بین نتایج مدل و داده‌های میدانی وجود ندارد. استفاده مکرر از مدل به همراه آشنایی بیشتر با شبکه توزیع، بهترین روش برای تایید اعتبار[۴۵] مدل هیدرولیکی است و به کاربر کمک خواهد کرد تا محدودیت‌های یک مدل واسنجی‌شده را درک کند.

اصطلاح "اعتبارسنجی"، اغلب برای فرایند بررسی نتایج یک مدل پس از به‌روزرسانی و به‌منظور درک دقت مدل استفاده می‌شود. این اصطلاح همچنین ممکن است، برای مقایسه یک مدل با مجموعه‌ای از داده‌های میدانی به‌کار رود. این داده‌ها، متفاوت از داده‌هایی هستند که برای واسنجی استفاده می‌شوند. به‌عنوان مثال، واسنجی مدل برای شرایط روز متوسط در ۲۱ مرداد و سپس اعتبارسنجی مدل در شرایط ۲۳ شهریور انجام می‌شود. برخی معتقدند که اعتبارسنجی، به اندازه فرایند واسنجی رسمی نیست و این اعتبارسنجی، ممکن است شامل بررسی نتایج برای تأیید این موضوع باشد که آیا فشارها و دبی‌ها در محدوده مورد انتظار و پذیرفته‌شده قرار دارد یا خیر. اصطلاح اعتبارسنجی، با مفاهیم مختلفی توسط شبیه‌سازان استفاده می‌شود؛ اما به اندازه اصطلاح واسنجی، تعریف مشخصی ندارد.

۴-۲-۲- اصلاح مغایرت داده‌های اندازه گیری شده و نتایج مدل

نتایج مدل و داده‌های میدانی، باید در قالب جداول و نمودارها جمع‌آوری شوند تا به‌راحتی قابل‌مقایسه باشند. برای درک اینکه مدل هیدرولیکی تا چه حد وضع موجود شبکه را نشان می‌دهد، باید تفاوت بین نتایج و داده‌های میدانی تجزیه و تحلیل گردند. اگر تعداد زیادی اختلاف قابل‌توجه وجود داشته باشد، ممکن است مشکلی در تهیه مدل یا خطاهایی در هم‌بندی خطوط شبکه ایجاد شده باشد. اگر اکثر اختلافات اندک باشند، شبیه‌ساز باید بر روی نقاطی متمرکز شود که تفاوت‌های عمده وجود دارد. اصلاح این تفاوت‌ها، نیاز به صبر و مهارت دارد. گاهی اصلاحات و تغییراتی در مدل، داده‌های میدانی و نتایج مدل را بهم نزدیک می‌کند و گاهی هم مذاکره با بهره‌بردار مشخص می‌کند که برخی از اطلاعات در مدل به‌درستی ثبت نشده است. واسنجی یک فرایند تکراری است که مدل‌ساز باید

42.Calibration
43.Reconciliation
44.Validation
45. Validity

در مفروضات دقت بیشتری کند؛ زیرا واسنجی لزوماً به معنای به حداقل رساندن تفاوت‌ها نیست، بلکه رسیدن به مدلی است که شبکه توزیع را به‌درستی شبیه‌سازی کند.

شرایط شناسایی‌نشده در شبکه توزیع، اغلب منجر به عدم‌دقت در واسنجی می‌شود. هرگونه فرضی در فرایند تخصیص داده‌ها، باید در نتیجه یافته‌های واضح و منطقی در شبکه باشد. به‌عنوان مثال، نشتی بزرگ یا بسته بودن اشتباهی یک شیرفلکه ممکن است باعث اختلاف فشار قابل‌توجهی شود که باید در شبکه اصلاح شده و در مدل لحاظ شود.

نکته کلیدی در واسنجی مدل درک کامل دلایل عدم‌همخوانی نتایج مدل و داده‌های میدانی است. پس از درک این تفاوت‌ها، شناسایی و اعمال تنظیمات آسان‌تر می‌شود.

۴-۲-۳- انواع واسنجی

واسنجی مدل را می‌توان به‌طور خلاصه به روش‌های زیر طبقه‌بندی کرد:

- واسنجی مدل کیفی آب
- شبیه‌سازی حالت پایدار و شبیه‌سازی دوره‌ای (EPS)[۴۶]
- واسنجی بزرگ و واسنجی کوچک

در حال حاضر، اکثر مدل‌ها فقط براساس مشخصه‌های هیدرولیکی واسنجی می‌شوند تا بتوانند فشارها، دبی‌ها و سطح آب مخازن را به‌طور دقیق شبیه‌سازی کنند. با این‌حال، واسنجی پارامترهای کیفی نیز در حال توسعه است. کلر باقیمانده[۴۷] و محصولات جانبی گندزدایی[۴۸]، دو پارامتر معمول در واسنجی کیفی آب به‌شمار می‌روند. واسنجی کیفی آب، نیاز به اطلاعات اضافی دارد که باید در مدل هیدرولیکی وارد کرد. به‌عنوان مثال، واسنجی کلر باقی‌مانده نیاز به وارد کردن غلظت اولیه کلر، منحنی‌های زوال حجمی کلر[۴۹] و ضرایب زوال دیواره[۵۰] دارد.

واسنجی‌های حالت پایدار مدل، از جمله واسنجی‌های هیدرولیکی است. حالت‌های پایدار مدل، عملکرد هیدرولیکی شبکه توزیع را در یک لحظه معین شبیه‌سازی می‌کنند. زمان معین، معمولاً شرایطی با تقاضای بالا مثل تقاضای ساعت اوج مصرف یا دبی آتش‌نشانی است. شبیه‌سازی دوره‌ای را می‌توان هم برای هیدرولیک شبکه و هم برای کیفیت آب انجام داد. شبیه‌سازی دوره‌ایEPS، مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌های حالت پایدار هستند که با هم پیوند خورده‌اند تا رفتار یک شبکه را در یک دوره زمانی تقریبی نشان دهند. تجزیه و تحلیل دوره‌ای، نشان‌دهنده تغییرات در مقدار تقاضا، کنترل‌های عملیاتی برای پمپ و شیرها و همچنین سطح آب مخازن است. برای شبیه‌سازی کیفی آب، تجزیه و تحلیل دوره‌ای مورد نیاز است که این شبیه‌سازی، باید با مدلی انجام شود که تحت شرایط EPS به‌صورت هیدرولیکی واسنجی شده است.

واسنجی کلان[۵۱] (تمام شبکه)، به‌طور کلی به واسنجی کل شبکه یا کل یک منطقه فشاری اشاره دارد که داده‌های آن معمولاً از طریق سامانه اسکادا اخذ شده است. واسنجی کلان شبکه توزیع، بر تفاوت‌های بزرگ بین مقادیر

46.Steady-State Versus Extended-Period Simulation
47.chlorine residuals
48.Disinfection By-Products (DBPs)
49. Chlorine Bulk Decay Curves
50. Wall Decay Coefficients
51. Macrocalibration

مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده تمرکز می‌کند و به شناسایی خطاهای بزرگ مدل، مانند شرایط مرزی اشتباه، خطا در اتصالات خطوط شبکه، ارتفاعات گره یا تنظیمات بهره‌برداری کمک می‌کند.

واسنجی خرد[52] (ناحیه‌ای از شبکه)، معمولاً به تجزیه و تحلیل‌هایی اشاره دارد که دقت شبیه‌سازی شرایط محلی یک منطقه خاص را تایید می‌کند. واسنجی خرد، در واقع تنظیم دقیق مدل برای یک منطقه خاص است. واسنجی خرد متعارف، شامل شبیه‌سازی اطلاعات میدانی دبی شیر آتش‌نشانی برای تأیید صحت بسته شدن لوله‌ها و شیرفلکه‌های موضعی است. در شبکه‌های کوچک‌تر و در شبکه‌هایی با حداقل سوابق ثبت داده‌ها، نتایج آزمون شیر آتش‌نشانی ممکن است به‌عنوان مبنایی برای واسنجی کلان مدل باشد. واسنجی کلان، معمولاً زمانی انجام می‌شود که یک مدل برای اولین‌بار ساخته یا به‌روزرسانی شده است. با این‌حال، اگر مدل برای طراحی یا مطالعه قسمت خاصی از شبکه استفاده شود، بهتر است منطقه مورد نظر بررسی و یک واسنجی خرد با آزمون جریان آتش‌نشانی به‌عنوان بررسی دقت مدل در منطقه مورد مطالعه انجام شود.

۴-۲-۴- اهداف واسنجی

هدف واسنجی براساس استفاده مورد نظر از مدل تعیین می‌شود؛ به‌عنوان مثال، مدلی که به‌طور مطلوب برای طرح جامع آبرسانی واسنجی شده است، ممکن است واسنجی آن برای تجزیه و تحلیل کیفیت آب کافی نباشد. در نهایت برای تعیین اینکه آیا یک مدل به‌طور مناسب واسنجی شده است یا خیر، نتایج مدل باید توانایی کافی برای کمک به تصمیم‌گیری‌ها را داشته باشد. زمانی که هزینه‌های واسنجی بیشتر از مزایای پشتیبانی از تصمیم‌گیری شد یا زمانی که واسنجی به اهداف تعیین‌شده رسید، واسنجی باید متوقف شود. در واقع در چنین حالتی واسنجی به اهداف تعیین شده دست یافته است و واسنجی مدل بیش از این حد به لحاظ اقتصادی به صرفه نیست.

سطح مورد نیاز و تمرکز واسنجی، بستگی به استفاده مورد نظر از مدل، کیفیت مدل و تغییرپذیری شبکه دارد. اگر هدف از مدلسازی تعیین اندازه قطر لوله باشد، مقایسه دبی آتش‌نشانی، اما اگر هدف، مطالعات کیفی آب باشد، اختلاط مخزن و زوال کلر بسیار با اهمیت است.

استانداردهای متفاوتی برای واسنجی مدل هیدرولیکی وجود دارد. با این‌حال، معیارهای واسنجی توسط چندین نهاد منتشر شده که در بخش‌های بعدی توضیح داده شده است. ذکر این نکته ضروری است که این مراجع استاندارد نبوده و فقط دستورالعمل‌های پیشنهادی می‌باشند. همچنین مهم است که بدانیم این اهداف در ابتدا برای واسنجی هیدرولیکی در حالت پایدار توسعه داده شدند.

همه مدل‌های هیدرولیکی، تقریبی از واقعیت شبکه‌های در حال بهره‌برداری هستند. در یک مدل شبکه، هم معادلات ریاضی مورد استفاده و هم پارامترهای خاص مدل صرفاً تقریب‌های عددی هستند. هدف واسنجی، کاهش عدم قطعیت در پارامترهای مدل به سطحی است که در آن دقت مدل با تصمیمات اتخاذشده براساس نتایج مدل متناسب باشد.

هیچ استاندارد بین‌المللی ثابتی برای واسنجی مدل وجود نمی‌تواند داشته باشد؛ زیرا سطح مورد نیاز واسنجی به استفاده مورد انتظار از مدل، کیفیت داده‌های میدانی و منابع موجود برای انجام کار (مدل سازی) بستگی دارد.

52. Microcalibration

۴-۲-۴-۱- پیش‌نویس‌های راهنمای واسنجی (ECAC[۵۳]): در سال ۱۹۹۹ میلادی، کمیته مهندسی و کاربرد کامپیوتر انجمن آب ایالات متحده، پیش‌نویس گزارشی تحت‌عنوان "دستورالعمل واسنجی مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب" را منتشر کرد که شامل مجموعه‌ای از معیارهای واسنجی مدل هیدرولیکی بود. اما این معیارها با توجه به ماهیت بحث برانگیزشان، توسط کمیته تایید نشدند. به همین دلیل در اینجا این معیارها مورد بحث قرار نگرفته و فقط به نتایج آنها اشاره می‌شود.

۴-۲-۴-۲- دستورالعمل‌های عمومی: موارد زیر مجموعه‌ای از دستورالعمل‌هایی هستند که معمولاً به آنها ارجاع می‌شود:

- اختلاف خط شیب هیدرولیکی مدل و داده‌های میدانی، نباید بیشتر از ۱/۵ الی ۳ متر باشد.
- اختلاف سطح آب مخازن مدل و داده‌های میدانی ، نباید بیشتر از ۰/۹ الی ۱/۸ متر باشد.

بر اساس این دو معیار، دستورالعمل‌های واسنجی برای موارد زیر قابل استفاده است:

- طرح جامع آبرسانی برای شبکه‌های کوچک
- طرح جامع آبرسانی برای شبکه‌های بزرگ
- تعیین قطر خطوط لوله شبکه توزیع
- تجزیه و تحلیل دبی آتش‌نشانی
- طراحی پهنه‌بندی (و زیر پهنه‌ها)
- مطالعه نوسازی شبکه توزیع
- تحلیل شبکه‌های روستایی بدون درنظر گرفتن دبی آتش‌نشانی
- برنامه‌ریزی (به‌منظور کنترل) حوادث و اتفاقات

برای دو مورد آخر، دقت پیشنهادی خط گرادیان هیدرولیکی (HGL) ۳ تا ٦ متر است که دو برابر محدوده مجاز دیگر موارد یاد شده است.

دستورالعمل با دقت بیشتر از ۵± فوت (۱/۵ متر) برای خط تراز هیدرولیکی، معمولاً برای مدل‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به‌منظور طراحی و ارزیابی‌های بهره برداری تهیه شده‌اند. دستورالعمل با دقت کمتر از ۱۰ ± فوت (۳ متر) برای خط تراز هیدرولیکی، معمولاً در مدل‌هایی با هدف برنامه‌ریزی بلندمدت (یا همان طرح جامع آبرسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۲-۴-۳- دستورالعمل‌های انگلستان: معیارهای واسنجی برای حالت پایدار در سال ۱۹۸۹ توسط انجمن متخصصین آب و شرکت تحقیقاتی مستقل WRC[۵۴] (مرکز تحقیقات جهانی سابق) در انگلستان منتشر شد. این معیارها در زیر خلاصه شده است:

53. Engineering and Computer Applications Committee
54. World Research Centre

- واسنجی دبی‌های مدل‌شده در محدوده‌های زیر قابل‌قبول هستند:

» ۵ درصد دبی ثبت‌شده وقتی که دبی لوله بیشتر از ۱۰ درصد کل تقاضا باشد (معمولا این حالت در لوله‌هایی با قطر بزرگ‌تر از ۴۰۰ میلی‌متر و بدون انشعاب اتفاق می‌افتد).

» ۱۰ درصد دبی ثبت‌شده وقتی که دبی‌ها کمتر از ۱۰ درصد کل تقاضا باشد (معمولاً برای شبکه‌های توزیع با قطر کوچک‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر با انشعاب).

- واسنجی فشارهای میدانی مدل‌شده در محدوده‌های زیر قابل‌قبول است:

» ۰/۵ متر یا ۵ درصد افت هد ثبت‌شده (هر کدام که بزرگتر باشند) برای ۸۵ درصد از فشارهای اندازه‌گیری‌شده

» ۰/۷ متر یا ۷/۵ درصد افت هد ثبت‌شده (هر کدام که بزرگتر باشند) برای ۹۵ درصد از فشارهای اندازه‌گیری‌شده

» ۲ متر یا ۱۵ درصد افت هد ثبت‌شده (هر کدام که بزرگتر باشند) برای ۱۰۰ درصد از فشارهای اندازه‌گیری‌شده

۴-۲-۴-۴- واسنجی خودکار: تنظیم پارامترهای مدل به‌طوری‌که مدل نتایج را همانند آنچه که در شبکه واقعی اندازه‌گیری‌شده، ارائه کند، معمولا یک فرایند تکراری یا آزمون و خطا است که زمان قابل‌توجهی را دربر می‌گیرد. در حال حاضر، واسنجی‌های خودکار در بسته‌های تجاری مدل‌سازی در دسترس بوده که در آینده استفاده از آنها افزایش می‌یابد. با این‌حال، روش‌های خودکار ممکن است بر روی اشتباهات سرپوش بگذارد؛ درحالی‌که این اشتباهات با انجام یک روش سعی و خطا به‌طور کامل آشکار می‌شوند. از این‌رو در صورت استفاده از روش‌های خودکار، باید دقت شود چنین وضعیتی پیش نیاید. در مواقعی که منبع خطاها مشخص است، واسنجی خودکار به‌خوبی عمل می‌کند. اگر مشخص شود که خطاهای تخصیص زبری در لوله باعث عدم دقت واسنجی می‌شوند، روش‌های واسنجی خودکار می‌توانند تا حد زیادی به اصلاح مقادیر زبری تخصیص‌یافته کمک کنند. با این‌حال، اگر خطا ناشی از بسته بودن شیرفلکه، تنظیم نادرست شیر فشارشکن (PRV) یا مغایرت منحنی پمپ باشد، روش‌های واسنجی خودکار نمی‌توانند این مغایرت‌ها را پیدا کنند و ممکن است خطاهای قابل‌توجهی در ضرایب زبری لوله‌ها ایجاد گردد که باعث تداوم خطاهای دیگر شود. تفسیر نتایج باید منتقدانه باشد تا از تخصیص مقادیر غیرمعقول جلوگیری شود. تنظیم پارامتر اشتباه (به‌عنوان مثال، تنظیم ضریب زبری‌ها با وجود خطای ناشی از سطح مخزن نادرست)، می‌تواند منجر به بدتر شدن عملکرد مدل شود حتی وقتی که نتایج خوب به‌نظر برسد که گاهی اوقات از آن به‌عنوان "جبران خطاها"[55] یاد می‌شود.

دقت یک مدل را که به‌صورت مکرر واسنجی شده است، با استفاده از روش‌های واسنجی خودکار می‌توان افزایش داد. با این‌حال، برای تایید باید دقت کرد که پیش از استفاده از روش‌های واسنجی خودکار، نه تنها لازم است تا ناهنجاری‌های شبکه به اندازه کافی شناسایی شده باشند، بلکه باید نتایج واسنجی مدل نیز از لحاظ منطقی بودن بررسی شود.

۴-۲-۴-۵- گزارش دقت واسنجی: افزایش دقت نظارتی بر کیفیت آب در یک شبکه توزیع، ارزش مدل با توانایی تجزیه و تحلیل سن و ردیابی منبع آب را افزایش می‌دهد. یک مدل EPS ابزار موثری برای ارزیابی کیفیت آب سامانه توزیع است.

55. calibration by compensating errors

اطلاعـات دقـت واسـنجی، می‌توانـد بـه روش‌های مختلفـی ارائه گردد تا مانع از مقایسـه مسـتقیم مدل‌ها شـود. تمام نتایج تحلیل‌هـای آمـاری، بایـد بـه انـدازه کافی برای شناسـایی روش‌های آماری و فرضیات ایجادشـده مسـتند و همچنین شـامل بحـث در مـورد انحرافـات باشـد. داده‌هـای اجبـاری کـه خـود کاربـر بـه مـدل وارد می‌کنـد (مانند شـیرهای کنترل دبـی و یا چاه‌هـای مدل‌سازی‌شـده، به‌عنـوان تقاضـای منفـی) نبایـد در ارزیابـی دقت واسـنجی درنظر گرفته شـوند.

بسـیار مهـم اسـت کـه کارشـناس مدل‌سـازی و شرکت‌هـا، محدودیت‌هـای اطلاعـات موجـود را موردتوجـه قرار دهنـد. دقت واسـنجی را می‌تـوان بـا آزمون‌هـای اضافـی میدانـی و شناسـایی ناهنجاری‌هـا بهبـود بخشـید. هزینه‌های کسـب داده‌های میدانـی مـازاد و دقیق‌تـر و همچنیـن هزینه‌هـای فعالیت‌هـای اضافی به‌منظور بهبود دقت واسـنجی مدل، بایـد مدنظر قرار گیـرد و ایـن هزینه‌هـا با مزایای دقت بهبودیافته واسـنجی، مقایسـه شـود.

۴-۲-۵- منابع داده‌ها و خطاها

به‌طـور کلـی بـرای سـاخت و واسـنجی یـک مـدل هیدرولیکـی شـبکه توزیـع، سـه دسـته داده نیـاز اسـت. ایـن سـه دسـته، عبارتند از داده تاسیسـات فیزیکی، داده تقاضاها و داده بهره‌برداری که در فصل ۲ تشریح شـده اسـت. داده‌های تاسیسـات فیزیکـی، به‌طور کلی شـامل نقشـه‌های پایه و نقشـه‌های شـبکه توزیع می‌باشـند. اطلاعـات توپوگرافی (کدهـای ارتفاعی)، نقشـه‌های ایسـتگاه‌های پمپاژ، شـیرهای کنترل، مخازن ذخیره و اطلاعات پمپ‌ها از این دسـته‌اند. داده‌های تقاضا به‌طور کلـی شـامل اطلاعـات فـروش از کنتورهای مشـترکین، اطلاعات آب بدون درآمد و محاسـبه تقاضا براسـاس اندازه‌گیری دبی ورودی شـبکه‌ها و سـطح مخـازن می‌باشـد. داده‌هـای بهره‌بـرداری و نگهـداری، عمدتـا شـامل زمان‌هـای روشـن-خاموش و کنترل‌هـای پمپ‌هـا، دبـی ورودی مخـازن (در صورت نیاز) و تنظیمات شـیرهای کنترل اسـت. داده‌های تکمیلی نیز ممکن اسـت موجـود باشـد. ایـن داده‌هـا، می‌تواند شـامل آزمون‌های میدانـی برای ارزیابـی زبری لوله‌هـا (جزء داده‌هـای فیزیکی) یـا اطلاعـات ثبت‌شـده دبی مصـارف بزرگ (جـزء داده‌های تقاضا) باشـد.

منابـع داده‌هـا بـرای واسـنجی مدل ممکن اسـت بـرای هر شرکت، با شرکـت دیگر متفاوت باشـد. برخـی از شرکت‌ها، منابع داده‌های الکترونیکی سـازمان‌یافته و سـامانه اسـکادا سـطح بالا و به‌روز و سـایر تجهیزات پایش لحظه‌ای دارند؛ در حالی‌که دیگـر شرکت‌هـا ممکن اسـت اطلاعات کم و یا تجهیزات با سـطح اعتماد پایین داشـته باشـند.

شرکت‌هـای آب و فاضـلاب، به‌منظـور افزایـش توانایی‌هـای خـود در تهیـه داده‌های واسـنجی دقیق با توسـعه اسـتراتژی‌ها، کار را بـرای واسـنجی‌های آتـی مـدل هیدرولیکی آسـان‌تر می‌کننـد. در بخش‌های بعـدی، منابع داده‌های بالقـوه، به همراه بحـث در مـورد بهتریـن شـیوه‌ها و ملاحظات ارائه شده‌اسـت.

۴-۲-۵-۱- پایـگاه داده نقشـه‌های شـبکه توزیـع و دارایـی هـا: وجـود نقشـه‌های دقیـق شـبکه توزیـع بـا جزئیـات قطـر، طول و هم‌بندی لوله‌ها بسـیار مهم و ضروری اسـت. در گذشـته، اکثر نقشـه‌های شـبکه توزیع در فرمت ترسـیم‌های سـاده و بـدون پایـگاه داده اصولـی و در برخـی محل‌هـا به‌خصـوص در شـبکه‌های قدیمی، نقشـه‌ها ناقـص و غیرقابل اعتـماد بود. امـروزه بسـیاری از شرکت‌هـا، سـامانه نقشـه‌ها را بـا GIS ترکیـب می‌کننـد. سـامانه GIS، به‌عنوان مثال ممکن اسـت شـامل اطلاعاتـی نظیـر قطـر لوله‌ها، سـال نصـب، جنس و جانمایی موقعیت شـیرالات و تاسیسـات همـراه با مختصات آنها باشـد. اکـثر نرم‌افزارهـای مدل‌سـازی تجـاری، بـه گونـه‌ای طراحی شـده‌اند کـه فرایند سـاخت و ایجاد مدل با اسـتفاده نقشـه‌های GIS را راحت‌تـر از گذشـته می‌کننـد. بـا این‌حـال، باید توجه داشـت کـه اطلاعات الکترونیکـی ذخیره‌شـده در GIS اغلب بر

پایه نقشه‌های قدیمی ایجاد می‌شود و ممکن است در مواردی ناقص و غیر قابل‌اعتماد باشد.

۴-۲-۵-۲- داده‌های تراز ارتفاع: به‌منظور حصول نتیجه دقیق توزیع فشار در گره‌ها، باید به هر گره ارتفاع متناسب در شبکه توزیع اختصاص داده شود. داده‌های ارتفاع در قالب الکترونیکی، به‌راحتی قابل‌دسترس بوده و در نرم‌افزارهای مدل‌سازی برای تخصیص ارتفاع به گره‌های مدل استفاده می‌شوند. با این‌حال، دقت و محدودیت داده‌های ارتفاعی در دسترس باید شناسایی شوند. تمام مکان‌هایی که اطلاعات فشار برای مقایسه برداشت می‌شوند، مانند تراز ارتفاعی در ایستگاه‌های پمپاژ، شیرهای کنترل و مخازن آب، باید براساس اطلاعات دقیق‌تر با جزئیات بیشتر مثل نقشه‌های ساختمانی مقیاس بزرگ و یا براساس نقشه‌برداری واقعی (ترازیابی با دوربین) باشند.

آگاهی از میزان دقت داده‌های ارتفاعی مهم است؛ چراکه براساس این منابع، نقشه‌های توپوگرافی و مدل‌های ارتفاع دیجیتالی ممکن است خطای قابل‌توجهی داشته باشند. از GPS برای بدست آوردن داده‌های ارتفاع می‌توان استفاده کرد اما دانستن سطوح دقت آن ضروری است؛ زیرا این مقادیر می‌توانند گمراه‌کننده باشند. داده‌های ارتفاع براساس تصویربرداری LIDAR[۵۶] ، عموماً بسیار دقیق هستند.LIDAR یک روش نقشه‌برداری هوایی است که برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی استفاده می‌شود. در طول واسنجی مدل برحسب داده‌های فشار مشاهده‌شده، بسیار مهم است که ارتفاع عنصر مدل که نشان‌دهنده فشار مشاهده‌شده است با ارتفاع گیج فشار میدانی مطابقت داشته باشد. از طرف دیگر مقایسه بین نتایج مدل و مشاهدات میدانی، باید با استفاده از خط شیب هیدرولیکی انجام شود که اطلاعات ارتفاع و فشار را در یک عدد واحد ترکیب می‌کند. به‌عنوان مثال، فشار در راس یک شیر آتش‌نشانی حدود ۰/۷ متر آب کمتر از فشار روی زمین خواهد بود (ارتفاع شیر آتش‌نشانی ۰/٦ تا ۰/۹ متر است). دقت‌های مشابهی باید در مورد تنظیمات شیر تنظیم فشار (PRV) انجام شود. ارتفاع گره شیر کنترل در مدل، باید با ارتفاع گیج فشار در فشارشکن موجود در شبکه توزیع مطابقت داشته باشد. همچنین به تفاوت عمق کارگذاری لوله‌ها و تاسیسات با تراز زمین توجه شود.

۴-۲-۵-۳- مدیریت کنترل و گردآوری داده‌ها (SCADA): منبع داده بهره‌برداری سامانه اسکادا بر سایر منابع داده مقدم است. این سامانه، معمولاً داده‌هایی در مورد دبی پمپ‌ها، فشار رانش پمپ، ارتفاع آب در مخازن و در برخی موارد حتی دبی شیرهای فشارشکن (PRV) را می‌تواند ارائه نماید. این داده‌ها، هنگام تنظیم مدل برای سناریوهای خاص واسنجی بسیار مفید هستند؛ زیرا اطلاعات مورد نیاز فوری معمولاً به‌صورت لحظه‌ای در دسترس است. همچنین اطلاعات سامانه‌های اسکادا، به بهبود ضریب تقاضای روزانه کمک می‌کند. این کار با انجام تحلیل موازنه آب بر مبنای دبی ورودی به شبکه و بررسی تغییرات سطح آب در مخازن ذخیره (بررسی تغییرات سطح مخزن) انجام می‌شود. لازم است تشخیص داده شود که دقت داده‌های سامانه‌های اسکادا، در مقایسه با دقت مورد نظر برای مدلسازی چگونه است. دقت سنسورها و هرگونه مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال نیز باید بررسی شود. وقتی داده‌های اسکادا در دسترس نباشد، ممکن است از اطلاعات گزارش‌های ساعتی بهره‌بردارها یا اطلاعات ثبت‌شده کاغذی استفاده کرد. هنگام استفاده از داده‌های اسکادا، باید به دقت بررسی شود که آیا تنظیمات ساعت شبانه‌روز بر شرایط سنجش منطبق است یا نه. بسیاری از سامانه‌های اسکادا، از تنظیمات ساعت جهانی استفاده می‌کنند و با شرایط محلی متناسب نیستند.

۴-۲-۵-۴- ثبات‌های فشار: داده‌های فشار، ممکن است در قالب جداول خروجی ثبات‌های فشار قابل‌دسترس باشند و یا ممکن است به‌صورت الکترونیکی از طریق سامانه اسکادا، جمع‌آوری و ذخیره شوند. برای اهداف واسنجی مدل، داشتن

56. Light Detection and Ranging

دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار که به‌طور دقیق واسنجی شده باشند، لازم و ضروری است. فشارسنج‌های الکترونیکی به‌دلیل عدم‌دقت در ثبت داده‌ها و تنظیم نامناسب مبدل‌های فشار ممکن است از محدوده واسنجی‌شده خود خارج شوند. این مبدل‌ها، فشار مکانیکی را به سیگنال الکترونیکی قابل‌تفسیر توسط سامانه اسکادا تبدیل می‌کنند. لازم به ذکر است که سامانه اسکادا، می‌تواند به صورتی برنامه‌ریزی شود تا فشار را (در هر ارتفاع) متفاوت از فشار واقعی ثبت‌شده گزارش کند یعنی آن‌را تصحیح کند. به‌عنوان مثال، فشار اندازه‌گیری‌شده در محل که به سامانه اسکادا ارسال می‌شود، قبل از اینکه در بانک داده ثبت شود، یک مقدار ثابت به فشار اندازه‌گیری‌شده می‌توان اضافه کرد. گاهی اوقات این کار برای ثبت فشار تقریبی در ارتفاعی متفاوت از محل ثبت‌شده انجام می‌شود.

ارتفاع هر ثبات فشار باید مشخص و سطح دقت آن نیز، متناسب با سطح دقت قرائت دستگاه فشار سنج مربوطه باشد. برای مثال، یک فشارسنج با دقت ۰/۷ متر همراه با یک ارتفاع‌سنج با دقت تنها ٦ متر، منتج به گرادیان هیدرولیکی می‌شود که دقت آن کمتر از ٦ متر است. ارتفاع عناصر مدل هیدرولیکی که به‌منظور واسنجی مرتبط با فشارسنج‌ها هستند، باید همان دقت فشارسنج را داشته باشند.

دستگاه‌های ثبت فشار لحظه‌ای پیشرفته‌ای هم اکنون در دسترس است. ثبت نمودارهای فشار در انواع قدیمی، با استفاده از جوهر بر روی کاغذ انجام می‌شد. دیتالاگرهای فشار الکترونیکی امروزی (ثبت‌کننده‌های فشار) را می‌توان به شیر آتش‌نشانی و یا سایر نقاط در دسترس در شبکه توزیع (مانند حوضچه شیرآلات) نصب کرد. این دستگاه‌ها اطلاعات فشار را در بازه زمانی که توسط کاربر تعریف می‌شود، قرائت و ثبت می‌کنند. از این داده‌ها، می‌توان حداکثر، حداقل و میانگین فشار را در بازه زمانی تعریف‌شده بدست آورد. این ثبات‌ها برای واسنجی حالت شبیه‌سازی دوره‌ای (EPS) مفید هستند؛ زیرا فشار را در طول زمان ثبت می‌کنند. این ثبات‌ها برای واسنجی حالت پایدار نیز مفید هستند؛ زیرا فشار استاتیک و دینامیک را در مکان‌های پایش بیشتر بدون نیاز به قرائت توسط انسان ثبت می‌کنند. علی‌رغم قیمت بالای این دستگاه‌ها، در صورت استفاده مکرر، می‌توانند هزینه‌های نیروی انسانی را کاهش دهند. همچنین ممکن است لازم باشد این ثبات‌ها با گیج‌های فشار ارزان‌تری ترکیب شوند. در واسنجی مدل به‌جای مقایسه فشارها، بهتر است قبل از انجام مقایسه، تمام فشارهای اندازه‌گیری‌شده به تراز هیدرولیکی تبدیل شوند.

۴-۲-۵-۵- ثبات‌های دبی: اطلاعات دبی ممکن است از طریق ثبات‌های آنالوگ قابل دسترس باشد یا به‌صورت الکترونیکی از طریق یک سامانه اسکادا جمع‌آوری و ذخیره شوند. در بسیاری از ایستگاه‌های پمپاژ، دبی ثبت می‌شود. با این‌حال، باید توجه داشت دستگاه‌های ثبت دبی ممکن است به دلیل عدم دقت در دستگاه ثبت فشار و یا تنظیم نادرست سیگنال‌دهی الکترونیکی تفسیرشده توسط سامانه اسکادا، واسنجی نشده باشند.

ثبات‌های دبی، برای پایش موقت مورد نیاز اهداف واسنجی به اندازه ثبات‌های فشار قابل‌انطباق و متحرک نیستند. در بسیاری از موارد تغییرات دبی را تنها با استفاده از ابزارهای نصب‌شده می‌توان تخمین زد که البته نصب آنها همیشه آسان نیست. دبی‌سنج‌های اولتراسونیک برای لوله‌های با قطر بزرگ معمولاً دقیق‌تر هستند اما نصب آنها نیاز به فضا دارد و تجهیزات آن نیز معمولاً گران است. دقت دبی‌سنج‌های اولتراسونیک برای لوله‌های با قطر کوچک‌تر، به‌ویژه زمانی که برای اندازه‌گیری دبی‌های کم استفاده می‌شود ممکن است مورد قبول نباشد.

۴-۲-۵-٦- منحنی مشخصه پمپ: سطح اطمینان در نتایج مدل، به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر داده‌های منحنی مشخصه پمپ است. دسترسی به منحنی مشخصه پمپ بستگی به قدمت شبکه و تأسیسات دارد و ممکن است در دسترس نباشد یا به

سختی بدست آید. بهترین اطلاعات منحنی مشخصه پمپ، با نصب و آزمون پمپ بر روی تاسیسات موجود و اخذ داده بدست می‌آید. اگرچه ممکن است تاسیسات موجود منحنی‌های تایید شده‌ای داشته که در زمان نصب، دقیق بوده باشند، اما ممکن است در حال حاضر عملکرد پمپ را نشان ندهند. بهره‌بردارها گاهی اوقات پروانه پمپ‌های آب را اصلاح یا تعویض می‌کنند که این امر، بر عملکرد پمپ تأثیر خواهد گذاشت. در این گونه موارد، آزمون پمپ برای ارزیابی عملکرد فعلی آن مورد نیاز است. در صورت عدم امکان انجام آزمون پمپ، منحنی‌های مشخصه استاندارد ارائه‌شده توسط تولیدکننده، بهترین منبع است.

منحنی‌های استاندارد ارائه‌شده توسط تولیدکنندگان، اغلب به‌جای منحنی‌های آزمایش‌های پمپ واقعی برای اهداف مدل‌سازی استفاده می‌شود. زمانی که نتوان منحنی مشخصه پمپ را تعیین کرد، اغلب از حالت یک نقطه‌ای منحنی پمپ در شرایط بهره‌برداری (دبی طراحی و هد طراحی) استفاده می‌شود. اکثر بسته‌های نرم‌افزاری مدل‌سازی، امکاناتی برای تخمین منحنی‌های مشخصه پمپ براساس داده‌های طراحی نقاط بهره‌برداری دارند. با این‌حال منحنی تخمینی ایجادشده توسط نرم‌افزار مدل‌سازی، ممکن است به‌طور دقیق مشخصات پمپ واقعی را نشان ندهد.

از داده‌های دبی، فشار مکش و رانش ثبت‌شده در سامانه اسکادا نیز، برای ایجاد منحنی‌های پمپ می‌توان استفاده کرد. هنگامی که تنها یک پمپ در حال کار باشد، تعیین نقاط واقعی در منحنی پمپ و مقایسه آنها با منحنی اصلی (استاندارد) نسبتا آسان است. با این کار، به‌راحتی می‌توان تشخیص داد که آیا منحنی اصلی معتبر است و آیا به انجام آزمون اضافی نیاز است یا خیر. برای اطلاعات بیشتر در مورد روش‌های آزمون پمپ به فصل ۳ مراجعه کنید.

هنگام تنظیم منحنی پمپ در حین واسنجی، باید بین هدی (ارتفاع) که توسط پمپ به تنهایی ایجاد می‌شود و هدی که به همراه تاسیسات (لوله و اتصالات متصل به پمپ) در پمپاژ ایجاد می‌شود، تفاوت قائل شد. مورد دوم، شامل تمام افت هدهایی است که در تاسیسات پمپاژ رخ می‌دهد. هد ایجادشده به همراه تاسیسات، معمولاً از هد پمپ کوچکتر است مخصوصا اگر منحنی مشخصه پمپ توسط سازنده پمپ ارائه شده باشد (منحنی از آزمون پمپ بدست نیامده باشد).

۴-۲-۵-۷- شیرهای کنترل: شیرهای کنترل شرایطی را فراهم می‌کنند که پارامترهای بهره‌برداری نظیر دبی، فشار بالادست و پایین‌دست تثبیت شود. برخی شرکت‌های آب و فاضلاب، آب را از یک شرکت تامین‌کننده آب به‌صورت عمده دریافت می‌کنند. شرکت‌های تامین‌کننده هر دو پارامتر فشار و دبی را برای شرایط تامین، تنظیم می‌کنند. انواع دیگر شیرهای کنترل، شیرهای کاهنده فشار (PRV) و نگه‌دارنده فشار (PSV) که تبادل آب بین نواحی فشاری را انجام می‌دهند و شیرهای شناور[57] که دبی آب ورودی به مخزن ذخیره را بعد از خالی شدن مخزن تنظیم می‌کنند، را می‌توان نام برد. شیرهای انسداد[58]، ممکن است به دلایل مختلف برای ایجاد افت هد، نظیر پر کردن مخزن ذخیره زمینی در یک شبکه مورد استفاده قرار گیرند؛

بدون آنکه افت بیش از حد در شبکه توزیع اتفاق بیافتد. در این حالت ممکن است بهره‌بردار درصد باز بودن شیر را براساس حفظ فشار بالادست در حد قابل‌قبول در شبکه توزیع تنظیم کند. ضروری است تا حد ممکن، اطلاعات تنظیمات شیرهای کنترل در حین واسنجی به‌منظور شبیه‌سازی دقیق عملکرد واقعی شبکه توزیع جمع‌آوری گردد. اکثر شیرهای کنترل، قطر کمتری نسبت به لوله‌های مجاور دارند و ممکن است نیاز باشد که افت هدهای موضعی در مدل گنجانده شوند تا بتوان به‌طور دقیق شرایط واقعی را زمانی که شیر کاملا باز است، شبیه‌سازی کرد. در برخی از حوضچه‌های شیر فشارشکن PRV، هیچ روشی برای اخذ و گزارش اطلاعات فشار و جریان وجود ندارد. نقطه تنظیم یک PRV، ممکن است به دقت ثبت نشده باشد

57. storage facility fill valves
58. throttle valve

و یا ممکن است تنظیمات در عمل بدون مستندسازی تغییر یافته باشد. تنظیمات انجام شده بر روی شیرهای کنترل، تا حد امکان باید در واسنجی مدل مورد توجه قرار گیرند. به‌خصوص ارتفاع گره‌های کنترل در مدل، با ارتفاع گیج‌های فشار متناظر در شبکه توزیع باید مطابقت داشته باشد. یک روش دیگر این است که یک مدل PRV به‌جای تنظیم براساس فشار از تنظیم براساس تراز هیدرولیکی (مجموع فشار و ارتفاع) استفاده کند. در محل‌هایی که شیرهای فشارشکن ثانویه یا پشتیبان برای سرویس‌دهی در دوره‌های پر مصرف و یا کاهش قابل‌توجه فشار نصب می‌شوند، ممکن است لازم باشد یک ثبات فشار در بالادست نصب شود تا عملکرد را نشان دهد.

باید درنظر داشت که تنظیم میدانی و اندازه‌گیری نقاط تنظیم PRV، می‌تواند غیر دقیق یا متناقض باشد. فرایند تنظیم یا بررسی صحت و سقم تنظیمات PRV، معمولا شامل باز و بسته کردن مهره تنظیم هم‌زمان با گوش دادن به صدای حرکت قسمت متحرک (دیافراگم) و یا حرکت پیچ تنظیم است که تمام این کارها، درجاتی از عدم قطعیت و تفسیر را دارد. بسته به اینکه کدام اپراتور و با چه سطح از آموزش تنظیم شیر فشار شکن را انجام می‌دهد، نتایج ممکن است چند متر متغییر باشد. دقت حاصل از شبیه‌سازی PRV در یک مدل هیدرولیکی، ممکن است گمراه‌کننده باشد. از این‌رو باید با بررسی خط شیب هیدرولیکی پایین‌دست، صحت و سقم عملکرد آن بررسی شود و از عملکرد انواع شیرهای کنترل موجود در مدل آگاهی داشته باشیم. یک شیر PRV تا زمانی که فشار بالادست آن بیشتر از تنظیمات شیر باشد، فشار پایین‌دست شیر را در یک فشار ثابت پایین‌تر از تنظیمات نگه خواهد داشت. یک شیر PSV به‌منظور جلوگیری از افت فشار مشترکین بالادست، از پایین آمدن فشار به زیر حدتنظیم آن جلوگیری خواهد کرد. یک راه نسبتاً آسان برای واسنجی این دستگاه‌ها در مدل هیدرولیکی، مقایسه فشار و هد بالادست و پایین‌دست شیر است. خطاهای رایج در مدل‌سازی شیرهای PRV، شامل تنظیم اشتباه ارتفاع یا فشار برای شیر است. اگر دبی در مجاورت شیر PRV اندازه‌گیری و ثبت شود، نتایج آن را با پیش‌بینی‌های مدل می‌توان مقایسه کرد. در حال حاضر، تولیدکنندگان شیرها، تجهیزاتی را ارائه می‌کنند که مجهز به دبی‌سنج بوده و دبی را به‌طور همزمان سنجش می‌کنند. با اینکه این تجهیزات به‌ندرت استفاده می‌شوند، اما این اطلاعات اضافی برای واسنجی مدل بسیار مفید است. در طول مدت واسنجی، باید توجه ویژه‌ای برای شیرهای کنترل دبی صورت گیرد. گاهی اوقات دستگاه‌های کنترل دبی، جریان آب را فقط در یک محدوده مشخص ثابت نگه می‌دارند. وقتی شبکه توزیع تحت تنش ناشی از عوامل مختلف نظیر آزمون دبی شیر آتش‌نشانی قرار گرفت، شیرهای کنترل دبی ممکن است جریان را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهند. اما در مدل هیدرولیکی شیرهای کنترل دبی همیشه تنظیمات دبی را حفظ می‌کنند. در چنین شرایطی، ممکن است بهتر باشد شیر کنترل دبی در مدل هیدرولیکی با یک شیر انسداد نمایش داده شود. تنظیمات شیر انسداد، به گونه‌ای است که در شرایط بهره‌برداری عادی دبی را محدود می‌کند؛ اما در شرایط تنش، عبور دبی بیشتر را ممکن می‌سازد.

۴-۲-۵-۸- دبی‌های اندازه‌گیری نشده: تخمین مقادیر دبی‌های اندازه‌گیری‌نشده دشوار است. دبی‌های اندازه‌گیری‌نشده در شیرهای فشارشکن در مرز بین پهنه‌های فشاری رایج است. اگر سنجش دبی در این نقاط صورت نگیرد، می‌توان دبی تبادل شده را از سوابق فروش آب پهنه‌ها تخمین زد. با این‌حال تبدیل سوابق فروش آب ماهانه در قالب دبی میانگین روزانه، نیاز به تنظیمات و مفروضاتی دارد. هنگام ارزیابی واسنجی مدل، عدم قطعیت در تخمین دبی‌های اندازه‌گیری‌نشده درنظر گرفته شود.

۴-۲-۵-۹- اطلاعات فروش (اندازه‌گیری‌شده): به‌طور کلی اساس تخصیص تقاضا به مدل، مصرف متوسط روزانه در طول سال است که با توزیع مکانی حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات فروش کنتورهای مشترکین تعیین می‌شود. روش‌های تحلیلی مختلفی برای تعیین توزیع مکانی تقاضای متوسط روزانه با استفاده از اطلاعات فروش کنتورها وجود دارد. ابزارهای

GIS، به‌طور فزاینده‌ای برای تعیین دقیق محل کنتورهای مشترکین درشبکه توزیع، برقراری ارتباط بین مصرف و محل مورد استفاده قرار می‌گیرد. عدم‌دقت در تعیین محل کنتورها باعث تولید خطا می‌شود.

۴-۲-۵-۱۰- آب بدون درآمد: آب بدون درآمد، اختلاف بین آب تحویلی به شبکه و مصارف مجاز دارای صورت‌حساب است. به‌طور کلی، آب بدون درآمد شامل هدررفت واقعی، هدررفت ظاهری و مصارف مجاز بدون درآمد می‌باشد. آب بدون درآمد، معمولا برای کل شبکه نسبتا دقیق برآورد می‌شود؛ اما ممکن است برای مناطق کوچک‌تر از شبکه یا هر ناحیه فشاری دشوار باشد. معمولاً برای تخصیص آب بدون درآمد، در شبکه توزیع، مفروضاتی لازم است. این مفروضات به جز در نشت‌های قابل‌توجه شبکه، ممکن است برای مناطق قدیمی با درصد بالای هدررفت و یا نشت‌های شناسایی‌نشده درست محاسبه نشود. در صورت امکان، آب بدون درآمد باید برای مناطق مجزا از جمله پهنه‌های فشاری تعیین شود؛ اما معمولا این امر ممکن نیست. روش معمول تخصیص آب بدون درآمد در شبکه، توزیع یکنواخت و یا متناسب با تقاضا در تمام گره‌ها است. یک روش دیگر، ممکن است توزیع آب بدون درآمد در شبکه براساس عمر و جنس لوله‌های شبکه توزیع باشد. به‌شرطی که توجیه داشته باشد، تخصیص آب بدون درآمد به‌عنوان یک پارامتر واسنجی می‌تواند درنظر گرفته شود.

۴-۲-۵-۱۱- ضرایب حداکثرتقاضا: برای شبیه‌سازی مقادیر تقاضای حداکثر که در طول دوره واسنجی رخ می‌دهد، ضرایب حداکثر، مقدار مصرف متوسط روزانه و مقدار آب بدون درآمد لازم است به مدل تخصیص‌داده‌شود. اطلاعات حداکثر واقعی تقاضاها، براساس نوع و مکان مشترک معمولاً ناشناخته است. با این‌حال، در برخی شرکت‌ها با توسعه زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته کنتورهای مشترکین با قابلیت ثبت داده (AMI)[۵۹]، این اطلاعات در دسترس قرار می‌گیرند. معمولاً برای شبیه‌سازی تقاضاهای حداکثر، باید مفروضاتی در نظر گرفته شود که ممکن است دقت واسنجی را تحت تاثیر قرار دهد.

برای تعیین الگوی معمول مصرف مشترکین بزرگ، مانند صنایع، بیمارستان‌ها و موسسات تجاری، اطلاعات مصرف آب را باید جمع‌آوری کرد. اکثر شرکت‌های آب و فاضلاب، اطلاعات بسیار خوبی در مورد تولید آب به همراه گزارش‌های بهره‌برداری از تاسیسات دارند. این داده‌ها برای تهیه خلاصه سوابق تقاضا و در تنظیم مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تنظیم داده‌های تولید برای مدل هیدرولیکی، باید میزان آب بدون درآمد را نیز لحاظ کرد. اگر گزارش‌ها براساس سال، ماه و روز جمع‌آوری شوند، ضرایب حداکثر را می‌توان تخمین زد. این ضرایب، بیانگر نسبت دوره‌های زمانی با تقاضای بالا به متوسط روزانه می‌باشد. رایج‌ترین ضرایب حداکثر، ضریب حداکثر روزانه و ساعتی می‌باشند که ضریب حداکثر روزانه، نسبت تقاضای روز حداکثر به تقاضای روز میانگین در طول سال است که تغییرات تقاضای فصلی را منعکس می‌کند و ضریب حداکثر ساعتی، نسبت تقاضای ساعت حداکثر به میانگین تقاضای ساعتی در طول روز می‌باشد که بیانگر تغییرات تقاضای آب در طول روز است.

۴-۲-۵-۱۲- ضرایب زبری لوله‌ها: ضریب زبری (C) در معادله هایزن-ویلیامز در طول شبکه توزیع، به‌طور دقیق مشخص نیست؛ زیرا بررسی و استخراج آن از طریق آزمون برای هر لوله ممکن نیست. هنگامی که یک مدل برای اولین بار ساخته می‌شود، مجموعه‌ای از ضرایب C اولیه برای همه خطوط لوله درنظر گرفته می‌شود. ضرایب C اولیه استفاده‌شده در مدل، مقادیر قراردادی است که براساس اعلام کارخانه سازنده، سن، جنس و قطر لوله تخمین زده می‌شود. برخی شرکت‌های آب و فاضلاب، سوابق اندازه‌گیری ضرایب لوله‌ها را دارند و با استفاده از تحلیل آماری این داده‌ها و همچنین براساس جنس و عمر، ضریب زبری تخمینی هر لوله را تعیین می‌کنند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد آزمون تعیین ضریب C، به فصل

59. Advanced Metering Infrastruture

سوم مراجعه شود.

صرف‌نظر از اینکه ضریب C اولیه چگونه درنظر گرفته شده است، ضریب C را به‌عنوان بخشی از فرآیند واسنجی برای بهبود تطابق بین نتایج مدل و مقادیر اندازه‌گیری‌شده واقعی می‌توان تنظیم کرد. این کار را می‌توان به‌صورت دستی برای همه لوله‌ها یا برای مناطق خاصی از شبکه و یا به‌طور خودکار با استفاده از ابزارهای واسنجی موجود در نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی انجام داد.

۴-۲-۵-۱۳- افت‌های موضعی: افت‌های موضعی اغلب در مدل‌های هیدرولیکی نادیده گرفته و یا با افت هد در طول خطوط لوله ادغام می‌شود. با این‌حال وقتی که یک ناحیه به‌طور خاص افت هد موضعی قابل‌توجهی داشته باشد، در این صورت باید این افت‌های را با تخصیص ضریب افت موضعی مناسب (K) به خط لوله شبیه‌سازی کرد. مثال بارز این موضوع، زمانی است که یک شیر فلکه شناخته‌شده به‌صورت نیمه‌باز باشد و یا اتصالات شناخته‌شده خاصی وجود داشته باشند که باعث ایجاد افت هد قابل‌توجهی در شبکه توزیع گردند. این موضوع، در ایستگاه‌های پمپاژ حائز اهمیت است زیرا اتصالات و شیرآلات زیادی در داخل ایستگاه پمپاژ وجود دارد و افت‌های اضافی ایجاد می‌کنند. برای مقایسه فشار مکش و رانش در ایستگاه‌های پمپاژ، محل قرارگیری فشارسنج بسیار مهم است که در حالت مطلوب، در مجاورت پمپ نصب می‌شود.

۴-۲-۵-۱۴- هم‌بندی: بررسی هم‌بندی شبکه توزیع، چه برای واسنجی حالت ماندگار (Steady) و شبیه‌سازی دوره‌ای (EPS) بسیار حائز اهمیت است؛ به‌خصوص زمانی که مدل هیدرولیکی با استفاده از اطلاعات GIS ساخته می‌شود. در بسیاری از موارد، GIS خطوط لوله شبکه توزیع را به‌صورتی نشان می‌دهد که از نظر هیدرولیکی صحیح نیست. به‌عنوان مثال، گره‌هایی که در GIS بسیار نزدیک به هم و به صورت منفصل تعریف شده‌اند اما در واقعیت یک گره متصل است. در مدل، لوله‌ها باید به همان گره متصل شوند تا ارتباط هیدرولیکی برقرار شود. نرم‌افزارهای مدل‌سازی فعلی، شامل ابزارهایی هستند که به شبیه‌ساز اجازه می‌دهند تا هم‌بندی شبکه را بررسی و از اتصال صحیح مدل، اطمینان حاصل کند. برای طلاعات بیشتر به فصل ۲ مراجعه شود.

۴-۲-۵-۱۵- موازنه حجمی: موازنه حجمی یکی دیگر از روش‌های بررسی خطا است. شبیه‌ساز باید تطابق کل تقاضاهای گره‌ها برای اجرای یک سناریوی خاص را بررسی کند. کل تقاضای آب باید با دبی ورودی به پهنه برابر باشد اگر سطح آب مخازن مسیر ثابت باشند.

۴-۳- واسنجی حالت جریان ماندگار[60]

شبیه‌سازی حالت جریان ماندگار، وضعیت شبکه توزیع را در یک پنجره زمانی[61] کوتاه نشان می‌دهد. رویکرد رایج این بود که ابتدا واسنجی حالت ماندگار و سپس از روی آن واسنجی شبیه‌سازی دوره‌ای انجام شود اما اگر یک مدل به‌صورت شبیه‌سازی دوره‌ای توسعه یابد، ممکن است مستقیما تحت همین شرایط واسنجی شود.

واسنجی‌های حالت ماندگار، براساس شبیه‌سازی سوابق با استفاده از اطلاعات اسکادا و داده‌های بهره‌برداری دیگر، معمولاً در روز و ساعت اوج تقاضا انجام می‌شوند؛ زیرا در این حالت تقاضا و در نتیجه افت هد در طول شبکه حداکثر است. رویکرد دیگر واسنجی حالت ماندگار، انجام آن با شبیه‌سازی جریان‌های زیاد از طریق باز کردن شیرهای آتش‌نشانی است. در این

60.Steady-State Calibration
61.Snapshot

بخش، هر دو نوع واسنجی حالت ماندگار مورد بحث قرار می‌گیرد.

خط شیب هیدرولیکی بدون افت هد قابل‌توجه، به خط تراز استاتیکی نزدیک می‌شود. در نتیجه، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده به حداقل می‌رسد. برای ارزیابی سطح دقت پیش‌بینی‌های مدل، ضروری است تا در عمل شبکه توزیع تحت تغییرات قابل‌توجه دبی قرار گیرد و تایید شود که تغییرات در تراز هیدرولیکی به‌درستی نشان داده خواهد شد. چنین شرایطی، با افت هد بالا مقایسه‌های معنی‌داری را بین اندازه‌گیری‌های میدانی و پیش‌بینی‌های مدل ایجاد می‌کند. برای ایجاد افت هدهای زیاد و واسنجی در شرایط تقاضای کمتر، می‌توان تقاضاهای مصنوعی را روی شبکه اعمال کرد. مانور در شیرهای آتش‌نشانی بر روی لوله‌های با قطر کوچک‌تر، نسبتا راحت است. جریان در شیرهای آتش‌نشانی، باعث ایجاد دبی بالا و افت هد قابل‌اندازه‌گیری می‌شود. همچنین، باز کردن شیرهای آتش‌نشانی فرصت اندازه‌گیری دبی در عمل را فراهم می‌کند. اگرچه انجام این کار در لوله‌های با قطر بالا، مستلزم تلاش بیشتری است؛ ولی با پر کردن کامل مخازن و استفاده از پمپ‌های قوی می‌توان این کار را انجام داد.

در طول یک فرآیند واسنجی حالت ماندگار، مهم‌ترین مقادیر، مقایسه مقادیر خط شیب هیدرولیکی (فشار و ارتفاع محاسبه شده درهر گره) در گره‌های انتخاب شده می‌باشد. اندازه‌گیری در یک دوره زمانی مشخص و بر روی گره‌های از پیش تعیین‌شده انجام می‌گیرد. بهتر است گره‌های انتخاب‌شده از نواحی و پهنه‌های فشاری مختلف بوده و دورتر از مخازن ذخیره باشند تا امکان ایجاد افت هد قابل‌توجه فراهم شود. در حالت ایده آل، باید در خصوص مسائل مربوط به مناطق مرزی با بررسی‌ها و بازدیدهای متعدد تمام جوانب امر سنجیده شود. بهتر است به‌منظور مقایسه، به‌جای فشار از گرادیان هیدرولیکی استفاده شود؛ زیرا گرادیان هیدرولیکی هر دو آیتم فشار و ارتفاع را دربر می‌گیرد. بعلاوه با استفاده از گرادیان هیدرولیکی، شناسایی داده‌های غیرعادی نسبتا راحت است.

۴-۳-۱- واسنجی ساعت حداکثر تقاضا

درصورتی که اطلاعات بهره‌برداری کافی در دسترس باشد، با استفاده از دبی خروجی مخازن یا در غیر این صورت دبی ورودی به سامانه آبرسانی (اطلاعات تولید) و تغییرات حجم مخازن ذخیره، می‌توان تقاضای ساعتی را بررسی کرد. اطلاعات سوابق تقاضا نیز، نسبت‌هایی را بین حداکثر تقاضای روزانه و ساعت حداکثر تقاضا ارائه می‌دهد. براساس این اطلاعات، مدل هیدرولیکی را می‌توان برای حالت حداکثر تقاضا شبیه‌سازی کرد و با فرض اینکه داده‌های میدانی برای این حالت موجود باشد، می‌توان مدل هیدرولیکی را واسنجی کرد.

ساعات مناسب واسنجی برای بررسی عملکرد شبکه توزیع، تحت شرایط مختلف بهره‌برداری انتخاب می‌شود. به‌عنوان مثال، ساعت حداکثر تقاضا برای ارزیابی شبکه توزیع در افت هد بالا و همچنین تایید ضرایب C هایزن-ویلیامز مفید است. دوره کمینه تقاضا را می‌توان برای بررسی دبی ورودی به مخازن در حین پر کردن مجدد مخازن و همچنین برای بررسی کل هد دینامیکی و دبی ایستگاه‌های پمپاژ استفاده کرد.

مدل هیدرولیکی در حین واسنجی، باید با وضعیت موجود شبکه توزیع مانند شرایط مرزی مطابقت داشته باشد؛ به‌طوری‌که هر اتفاقی در شبکه توزیع رخ دهد، باید در مدل هیدرولیکی گنجانده شود. اگر پمپ‌ها در شبکه توزیع خاموش باشند، در مدل هیدرولیکی نیز باید همین وضعیت باشد. همچنین، تنظیمات شیرهای فشارشکن در مدل نیز باید مطابق با شبکه توزیع باشد. لیست تاسیسات شامل شیرفلکه‌ها و شیرهای فشارشکن به همراه تنظیمات آنها،

معمولا در شرکت‌های آب و فاضلاب موجود است. سطح اولیه آب مخازن در حین واسنجی، باید با سطح آب مخازن در مدل هیدرولیکی مطابقت داشته باشد. این کار باعث کاهش سطح عدم قطعیت در مدل شده و به تمرکز بر روی واسنجی کمک خواهد کرد.

۴-۳-۲- واسنجی دبی آتش‌نشانی

واسنجی دبی آتش‌نشانی، شامل انجام آزمون‌های دبی شیر آتش‌نشانی است. این آزمون‌ها می‌توانند برای واسنجی بسیار مهم باشند؛ زیرا شبیه‌سازی با تقاضای بالا و افت هدهای قابل‌توجه، فرصت خوبی فراهم می‌کند تا به میزان مطابقت نتایج مدل با شرایط واقعی پی برد. این نوع آزمون، نه تنها به شناسایی ضرایب زبری نادرست کمک می‌کند، بلکه عملکرد و بازه تنظیمات تجهیزات و شیرآلات را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد (مانند شیرهای یک‌طرفه مناطق مرزی/تخلیه/شیر آتش‌نشانی، شیرهای فشارشکن پشتیبان/آماده به‌کار و پمپ‌های آتش‌نشانی). این آزمون، شیرفلکه‌های بسته و خطاهای هم‌بندی شبکه را نشان می‌دهد. همچنین، می‌تواند به تفکیک خطاهای ناشی از هیدرولیک و خطاهای ناشی از تقاضا کمک کند (Walski, ۱۹۸۳). برای کسب اطلاعات اضافی در مورد آزمون دبی آتش‌نشانی، به فصل ۳ مراجعه شود.

آزمون آتش‌نشانی هر دو شرایط فشار استاتیک و دینامیک را در حین اجرا فراهم می‌کند. انجام این آزمون در مدل هیدرولیکی، می‌تواند با روش‌های مختلفی انجام شود. ابتدا دبی‌های اندازه‌گیری‌شده در حین آزمون، به تقاضا گره‌های مربوطه به مدل اعمال می‌شوند. هرگونه تغییرات مشاهده‌شده در عملکرد تجهیزات شبکه مانند روشن یا خاموش بودن پمپ‌ها در طول آزمون، باید به مدل اعمال شود. سپس با تعدیل هرگونه اختلاف بین ارتفاع ابزار سنجنده (فشارسنج) در شبکه (به‌عنوان مثال، اتصال پورت شیر آتش‌نشانی و یا هر شیر دیگر) و ارتفاع گره متناظر در مدل (معمولاً سطح زمین)، مدل هیدرولیکی اجرا و فشارهای پیش‌بینی‌شده در مدل با فشارهای موجود درشبکه توزیع در حین آزمون آتش‌نشانی با هم مقایسه و تطابق آنها بررسی می‌شود. بهتر است به جای مقایسه فشارها، هد هر نقطه محاسبه و خط گرادیان هیدرولیکی هر نقطه باهم مقایسه شود. همچنین برای شرایط فشار دینامیک، افت خط شیب هیدرولیکی مشاهده‌شده در مدل هیدرولیکی باید با افت خط شیب هیدرولیکی اندازه‌گیری‌شده در عمل مقایسه شود. به‌عنوان مثال، اگر در شرایط استاتیک، مدل خط شیب هیدرولیکی را حدود ۱/۵ متر بیشتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده و در شرایط دینامیک حدود ۲ متر کمتر از خط شیب هیدرولیکی اندازه‌گیری‌شده پیش‌بینی کند، اختلاف افت فشار ۳/۵ متر است. با این‌حال در هر دو شرایط استاتیکی و دینامیکی، تفاوت خط شیب هیدرولیکی اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده کمتر ۳/۰ متر است و ممکن است اختلاف ۳/۵ متر قابل‌قبول نباشد.

اگر مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده با هم مغایرت داشته باشند، مدل‌ساز باید علت این مغایرت‌ها را پیدا کرده و برای کاهش آن تنظیمات لازم را انجام دهد. برای اطمینان از حصول نتیجه مطلوب این روش، تکرار آزمون و شناسایی شرایط حدی (به‌عنوان مثال، سطوح مخزن و عملکرد پمپ) در مدل هیدرولیکی بسیار با اهمیت است.

۴-۳-۲-۱- شناسایی شیرفلکه‌های بسته: واسنجی دبی آتش‌نشانی، می‌تواند ابزار مفیدی برای شناسایی شیرهای بسته یا نیمه‌بسته باشد. به‌عنوان مثال، اگر در منطقه‌ای با انجام تجزیه و تحلیل آزمون دبی آتش‌نشانی یک شیرفلکه مشکوک به انسداد کامل باشد، با تمرکز بر روی دبی آتش‌نشانی می‌توان با انجام یک سری تجزیه و تحلیل‌های تکراری در مدل هیدرولیکی و با فرض بسته بودن شیرفلکه مشکوک، نتایج مدل را با داده‌های میدانی آزمون مقایسه کرد. اگر

نتایج مشاهده‌شده و اندازه‌گیری‌شده مطابقت داشته باشند، با بازدید میدانی به‌طور دقیق می‌توان محل شیرفلکه بسته را در شبکه توزیع مشخص کرد.

همچنین برنامه‌های مانور بر روی شیرفلکه‌ها که به‌طور معمول توسط برخی از شرکت‌ها انجام می‌شوند، اطلاعات ارزشمندی را برای واسنجی مدل و عیب‌یابی ارائه می‌دهند.

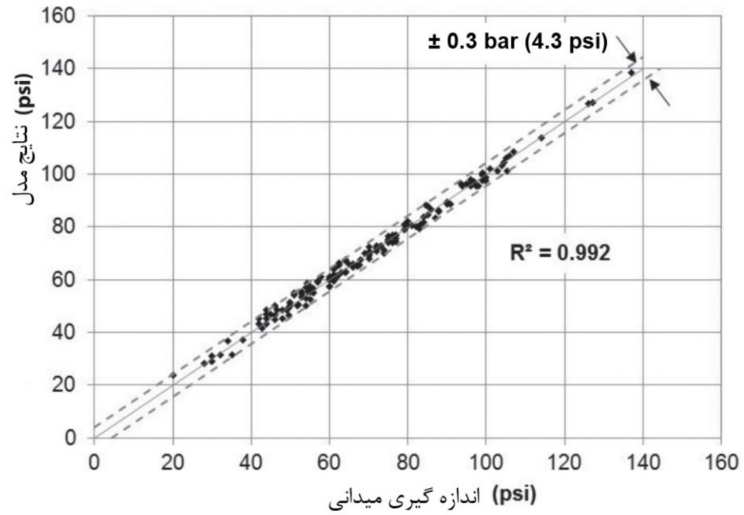
۴-۳-۲-۲- مدل‌های تمام لوله: در سال‌های اخیر، بسیاری از شرکت‌ها پایگاه‌های داده از جمله GIS را به‌منظور پیاده‌سازی مدل‌های تمام لوله‌ای در نظر می‌گیرند. این مدل‌ها برای طیف وسیعی از برنامه‌ها، از جمله تحلیل‌های کیفی آب مبتنی بر مقررات جدید کیفیت آب تا مدیریت دارایی‌ها استفاده می‌شوند. ممکن است برخی‌ها استدلال کنند که واسنجی یک مدل تمام لوله‌ای، به نقاط اندازه‌گیری بیشتری برای پوشش مناطق وسیعی از شبکه توزیع به‌منظور اطمینان از دقت واسنجی نیاز دارد. اما برخی نیز معتقد هستند که واسنجی یک مدل تمام لوله، ممکن است آسان‌تر باشد؛ زیرا نیازی به تنظیم ضرایب زبری برای جبران لوله‌های حذف‌شده نیست.

در مدل‌های تمام لوله، واسنجی دبی آتش‌نشانی را می‌توان یک گام فراتر برد؛ بدین ترتیب که شیرهای آزمایش‌شده را به‌عنوان یک برداشت آب در مدل هیدرولیکی درنظر گرفت. با این‌حال، یک شرکت نباید بیش از اندازه به این مسئله اعتمادکند؛ زیرا بیشترین افت هد در شیرهای آتش‌نشانی (lateral و barrel) است که منجر به واسنجی شیر آتش‌نشانی به جای مدل می‌شود. اگر از این روش استفاده شود، باید دبی شیر آتش‌نشانی و فشار دینامیک اندازه‌گیری‌شده با مقادیر پیش‌بینی‌شده در مدل مقایسه شود.

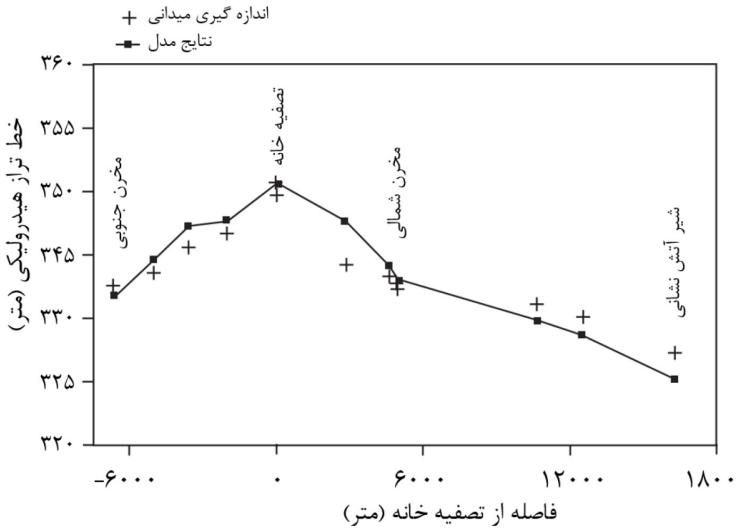
۴-۳-۳- گزارش نتایج واسنجی

نتایج واسنجی حالت ماندگار، معمولاً در قالب جداول و نقشه‌ها برای نشان دادن مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری‌شده برای هر نقطه ارائه می‌شود. همچنین ترسیم انحراف از معیار مقادیر (پیش‌بینی‌شده) بالا و پایین به‌منظور نشان دادن میزان اختلاف واسنجی با محدوده مجاز، مفید خواهد بود. برای گزارش تغییرات خطوط گرادیان هیدرولیکی، گره‌ها ممکن است به‌صورت فهرستی از نقاط به همراه توضیحات لازم دسته‌بندی گردد. همچنین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده و تفاوت بین آنها (هم به‌صورت عددی و هم به‌صورت درصدی)، می‌تواند گزارش شود. دبی ایستگاه‌های پمپاژ و شیرهای فشارشکن به همراه اطلاعات فشار بالادست و پایین‌دست شیرهای فشارشکن نیز ممکن است گزارش شود.

هدف از گزارش نتایج واسنجی، این است که کاربران تا حد ممکن از انعکاس وضعیت واقعی شبکه توزیع توسط مدل هیدرولیکی اطمینان حاصل کنند. اگر بعد از واسنجی تفاوتی بین مدل و شبکه توزیع باقی بماند، باید توضیح قابل‌قبولی در مورد دلایل اختلافات و محدودیت‌های مدل ارائه شود. شکل‌های زیر نتایج واسنجی حالت ماندگار برای فشار و گرادیان هیدرولیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱-واسنجی نتایج مدل)



شکل ۴-۱-واسنجی خط تراز هیدرولیکی حالت ماندگار

۴-۴- واسنجی شبیه‌سازی دوره‌ای [۶۲]

روش‌های واسنجی شبیه‌سازی دوره‌ای، شامل مقایسه نتایج مدل با اندازه‌گیری‌های میدانی در طول یک دوره زمانی و شبیه‌سازی آزمون ردیابی [۶۳] است. این آزمون‌ها مربوط به مدل‌سازی کیفیت آب می‌باشد. در این بخش واسنجی پارامترهای هیدرولیکی در شرایط تقاضا حداکثر روزانه توضیح داده شده است. برای اطمینان بیشتر، ممکن است در سایر شرایط تقاضا نیز واسنجی برای شبیه‌سازی عملکرد شبکه توزیع صورت گیرد. به‌عنوان مثال، در شرایط روز متوسط تقاضا برای ارزیابی هزینه‌های انرژی و در شرایط روز حداقل تقاضا برای ارزیابی‌های کیفی آب می‌توان واسنجی را انجام داد.

62. Extended-Period Simulation (EPS)
63. Tracer test

۴-۴-۱- واسنجی روز حداکثر تقاضا

به‌طور کلی واسنجی حالت EPS، روز حداکثر تقاضای شبکه توزیع را برای ۲۴ ساعت با تقاضای بالا را شبیه‌سازی می‌کند. سایر دوره‌های زمانی مانند ۴۸ ساعته یا ۷ روز، برای واسنجی متوسط مصرف روزانه استفاده می‌شود. واسنجی دوره چند روزه، برای شبیه‌سازی تغییرات روزانه الگوی مصرف و عملیات بهره‌برداری که در طول هفته یا اواخر هفته که ممکن است اتفاق بیفتد انجام می‌شود. همچنین، می‌توان از واسنجی دوره چند روزه برای تعیین توانایی مدل هیدرولیکی در نشان دادن عملکرد شبکه توزیع برای تعداد روزهای بیشتر استفاده کرد. معمولا شبیه‌سازی دوره‌ای برای بازه زمانی ۲۴ ساعته انجام می‌شود؛ زیرا تغییرات مقادیر شبیه‌سازی‌شده عرضه و تقاضا، در بازه زمانی ۲۴ ساعته روزهای بعد نیز تکرار می‌شود. اما ممکن است بعضی وقت‌ها، تکرار شرایط بهره‌برداری معمول بیشتر از ۲۴ ساعت طول بکشد که در این صورت، واسنجی با دوره طولانی‌تر قابل‌توجیه خواهد بود. مزایای واسنجی طولانی‌مدت باید با حجم عملیات مورد نیاز برای محاسبه، درج و کنترل داده‌های بهره‌برداری و تقاضا متعادل باشد. مشابه واسنجی ساعت اوج مصرف در حالت ماندگار، برای ایجاد تنش در شبکه توزیع و واسنجی بهتر به تقاضاهای بالایی در شبکه نیاز خواهد بود. یک واسنجی شبیه‌سازی دوره‌ای (EPS)، به‌طور معمول با همان امکانات مدل‌سازی و اختصاص تقاضای روز میانگین در یک سال به‌عنوان واسنجی حالت ماندگار شروع می‌شود و سپس اطلاعات اضافی برای شبیه‌سازی شبکه توزیع در طول دوره تعیین‌شده برای واسنجی مورد نیاز است.

۴-۴-۱-۱- کنترل‌های مدل: به‌منظور نشان دادن شرایط واقعی شبکه توزیع، در واسنجی حالت شبیه‌سازی دوره‌ای لازم است کنترل‌های مدل را اعمال نمود تا بتوان پیش‌بینی نمود که چه زمانی تجهیزات خاصی در شبکه فعال می‌شود. رایج‌ترین تجهیزات کنترل‌های بهره‌برداری شبکه توزیع، شیرهای کنترل و پمپ‌ها هستند. همچنین سطح اولیه آب در تاسیسات ذخیره و سطح آب منابع آب، باید به‌طور دقیق در مدل وارد شود.

کنترل‌های مدل برای پمپ‌ها و شیرها اغلب به‌صورت اولیه، برای ساعتی از روز یا مدت زمانی از دوره شبیه سازی درنظر گرفته می‌شود، این کنترل‌ها، زمان‌های ثبت‌شده واقعی عملکرد پمپ‌ها و شیرها را در طول دوره واسنجی نشان می‌دهند. در حالی‌که کنترل‌های منطقی که عملکرد یک تاسیسات را تنظیم می‌کنند، ممکن است براساس شرایط و موقعیت‌های خاص در برخی از تاسیسات شبکه توزیع وجود داشته باشند که عملیات واسنجی را دشوار می‌کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان به تنظیمات یک پمپ اشاره کرد که براساس سطح آب یک مخزن ذخیره عمل می‌کند. برخی از بهره‌بردارن، معمولا در ابتدا اطلاعات دقیقی از پارامترهای بهره‌برداری ندارند. استفاده از کنترل‌های زمانی برای واسنجی، یک پارامتر ناشناخته (مثلا جزییات عملکرد دقیق پمپ) را حذف می‌کند و به مدل‌ساز اجازه می‌دهد تا به جای تمرکز بر عملکرد کنترل‌ها، بر تغییرات دبی‌ها، فشارها و سطح آب مخازن تمرکز کند. به عبارت دیگر، کنترل‌های زمانی تضمین‌کننده شبیه‌سازی دقیق شرایط مرزی در حین واسنجی هستند. باید درنظر گرفت که واسنجی با استفاده از کنترل‌های زمانی، تعمیم نتایج مدل به موقعیت‌های جدید را دشوار می‌کند. بنابراین، باید کنترل‌های منطقی نیز به‌دنبال آن درنظر گرفته شوند تا توانایی‌های مدل در شبیه‌سازی شرایط گوناگون افزایش یابد.

کنترل‌های پمپ، ممکن است شامل وضعیت روشن و خاموش و سرعت پمپ باشد. باید دقت شود تا تمام پمپ‌های دور متغییر شناسایی شوند تا بتوان در صورت امکان، تغییرات سرعت پمپ را به‌عنوان درصدی از سرعت کامل در حین واسنجی بدست آورد. در حین واسنجی هر جا که پمپ‌های دور متغییر کار می‌کنند و سرعت پمپ‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، ممکن است نیاز باشد تا سرعت پمپ تخمین زده شود. تخمین سرعت، ممکن است براساس داده‌های دبی

ایستگاه‌های پمپاژ صورت گیرد.

شیرهایی که نیاز به کنترل دارند، عبارتند از شیرهای اتوماتیک که در شرایط بهره برداری عادی شبکه توزیع ممکن است تغییر وضعیت دهند (باز و بسته شوند)، شیر فلوترهای مخازن و تجهیزات انسداد که ممکن است تنظیم (تعدیل) شوند. شیرهای فشارشکن (PRV, PSV) و شیرهای کنترل ارتفاع (ارتفاع سطح آب مانند مخازن)، معمولا اعمال نمی‌شوند و به‌طور کلی نباید نقاط تنظیم متغییر داشته باشند. شیرهای تنظیم کننده را یا می‌توان به‌عنوان یک شیر کنترل دبی و یا به‌عنوان یک شیر انسداد با وضعیت مشخص (مثلاً درصد باز بودن)، مدل‌سازی کرد. در اکثر مواقع، وضعیت یک شیر تنظیم کننده در سوابق اطلاعات بهره‌برداری ثبت نمی‌شود. واسنجی EPS را می‌توان با شبیه‌سازی شیرفلکه‌ها به‌عنوان شیر کنترل دبی اعمال کرد و سپس با وارد کردن دبی ثبت‌شده یا محاسبه‌شده ساده‌ترکرد.

بعد از اینکه مدل هیدرولیکی، به اندازه کافی با شیرهای شبیه‌سازی‌شده به‌عنوان یک ابزار کنترل دبی واسنجی شد، مدل‌ساز ممکن است انتخاب کند که ویژگی‌های شیر انسداد (TCV) را واسنجی کند تا دبی‌های پیش‌بینی‌شده با دبی‌های ثبت‌شده در شیرفلکه‌های با موقعیت مشخص مطابقت داشته باشند. این کار زمانی ممکن است که هم موقعیت شیر و هم دبی عبوری مشخص باشد. دبی ورودی مخازن ممکن است ثبت نشود، اما می‌توان این دبی را براساس سطح آب در مخزن و یا هرگونه پمپاژ یا خروجی ثبت‌شده از مخزن محاسبه نمود.

سطح آب مخازن مورد نیاز برای واسنجی حالت EPS را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول سطوحی هستند که باید به‌عنوان شرایط مرزی در هر بازه زمانی تنظیم شود و دسته دوم سطوحی هستند که براساس سایر پارامترهای داخل مدل مجاز به نوسان هستند. سطوح آبی که باید در هر بازه زمانی تنظیم شوند، سطوحی هستند که تغییرات گرادیان‌های هیدرولیکی را در شبکه ایجاد می‌کنند. به‌عنوان مثال، سطح آب تاسیسات ذخیره خروجی تصفیه‌خانه و حوضچه‌های نگهدارنده آب که ارتفاع مکش پمپ برای انتقال آب به شبکه توزیع را فراهم می‌کند. این موارد ممکن است به‌عنوان یک منبع با هد و الگوی ورودی متغیر برای تغییر سطح آب منبع به‌منظور تقلید داده‌های ثبت‌شده در حین واسنجی مدل شود. اگر اطلاعات تغییرات سطح آب ثبت نشده باشد، ممکن است مدل‌سازی این موقعیت با هد ثابتی که منعکس‌کننده سطح متوسط یا معمولی منبع است، مورد قبول باشد.

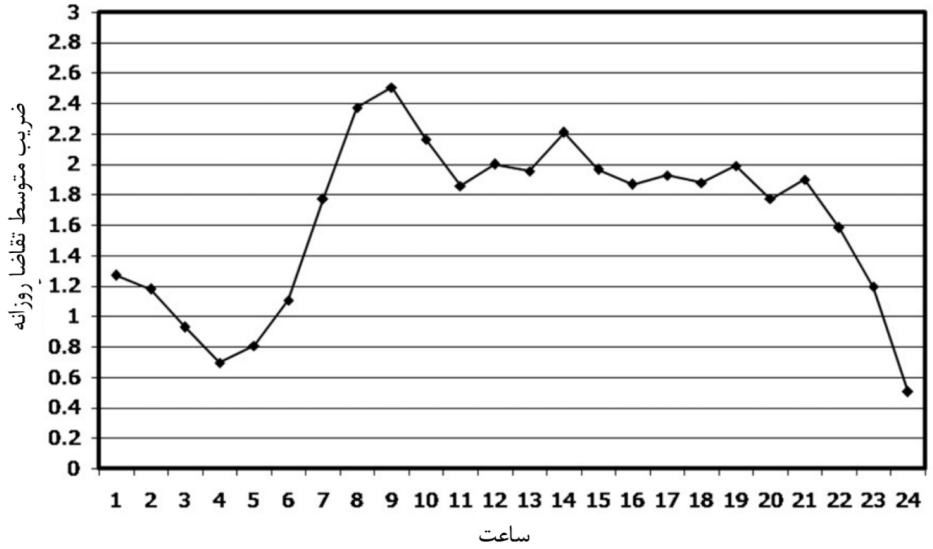
چاه تامین آب، مثال دیگری است که تغییرات سطح آن برای شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در هر ساعت باید مشخص باشد. در هر دو مثال، اطلاعات سطوح آب برای ایجاد شرایط شروع عرضه آب برای تحلیل مدل هیدرولیکی ضروری است.

به‌طور کلی به جز تاسیساتی که نیاز به ایجاد شرایط شروع عرضه آب (شرایط اولیه مدل) دارند، سایر تاسیسات ذخیره مجاز به نوسان سطح آب هستند. این موضوع، شامل تمام تاسیسات ذخیره آب[64] است که از طریق شیرهای انسداد پر و در صورت لزوم دوباره پمپ می‌شوند. در این مخازن، فقط ارتفاع سطح اولیه آب در مدل هیدرولیکی درج می‌شود. زمانی که سطح آب پیش‌بینی‌شده با سطح آب اندازه‌گیری‌شده مقایسه می‌شود، نوسان سطح آب در این تاسیسات به‌طور کلی یک پارامتر واسنجی است .

۴-۴-۱-۲- ضریب حداکثر تقاضا: برای اینکه مدل هیدرولیکی بتواند در حالت EPS شرایط متغیر تقاضا را شبیه‌سازی کند، اطلاعات اضافی مورد نیاز است. این اطلاعات عمدتا شامل الگوهای تقاضا هستند. الگوها نشان‌دهنده یک ضریب حداکثر

64. Floating storage

متغیر هستند که به تقاضای تخصیص‌داده‌شده اعمال می‌شوند تا شرایط تقاضا مطابق با آن در مدل هیدرولیکی تغییر کند. برای هر نوع کاربری، ممکن است ضریب تقاضای متفاوتی ایجاد شود. اگرچه با استفاده از تجهیزاتی نظیر دبی سنجهای مجهز به ثبات و کنتورهای هوشمند (AMI)[65]، اطلاعات تغییرات حداکثر تقاضا براساس کلاس‌بندی مشترکین به‌راحتی در دسترس است، اما لازم است بدانیم که این داده‌ها در بیشتر موارد هنوز ناشناخته است. از این‌رو در برخی موارد برای دست‌یابی به یک واسنجی موفق، ممکن است نیاز باشد اطلاعات ضرایب متغیر حداکثر براساس کلاس تقاضا را وارد کنیم. به‌عنوان مثال، یک انشعاب فضای سبز بیشتر آب مورد نیاز خود را در ساعات خاصی از روز برداشت می‌کند یا یک انشعاب عمده که براساس مشخصات ویژه خود آب مصرف می‌کند و یا اینکه میزان برداشت ساعتی آن ممکن است در گزارش‌های بهره‌برداری ثبت شده باشد. شکل (۴-۳)، نمونه‌ای از ضرایب متوسط تقاضا یک انشعاب مسکونی را نشان می‌دهد که ممکن است در طول واسنجی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴-۳-نمونه‌ای از ضرایب حداکثر انشعاب مسکونی – (AAD[66])

به‌منظور درک بهتر از الگوی تقاضا و شبیه‌سازی دقیق، توصیه می‌شود که کنتور انشعابات صنایع بزرگ، مجهز به ثبات باشند تا بتوان داده‌های مبهم قابل‌توجه و منابع خطای احتمالی را حذف کرد.

۴-۴-۱-۳- دبی‌های آتش‌نشانی: یک واسنجی حالت EPS را می‌توان با یک دبی شیر آتش‌نشانی شبیه‌سازی‌شده در شبکه توزیع انجام داد. علت این واسنجی، می‌تواند همان دلایل واسنجی حالت پایدار باشد. همان‌طور که اشاره شد، در حالت ماندگار واسنجی دبی آتش‌نشانی به دو منظور تکمیل داده‌های بهره‌برداری و واسنجی جزئیات قسمتی از شبکه توزیع انجام می‌شود. دبی آتش‌نشانی برای واسنجی حالت EPS، به‌طور کلی با استفاده از الگوهای تقاضا شبیه‌سازی می‌شود. یک راه رسیدن به این هدف، اختصاص یک واحد تقاضای گره آتش‌نشانی است. وقتی دبی آتش‌نشانی برقرار نیست، الگوی تقاضا در این گره صفر است و اگر جریان آتش‌نشانی برقرار شود، الگوی تقاضا دارای یک ضریب مناسبی خواهد بود که مطابق با دبی ثبت‌شده در شیر آتش‌نشانی است.

65. Advanced Metering Infrastructure
66. Average daily demand

۴-۴-۲- تنظیمات مدل برای حالت EPS

انواع تنظیمات برای حالت EPS را می‌توان به مدل هیدرولیکی اعمال کرد. با این‌حال، انجام این تنظیمات ممکن است دشوار باشد. در زیر، برخی از ملاحظات به‌منظور واسنجی مدل هیدرولیکی در حالت دوره طولانی ارائه شده است.

۴-۴-۲-۱- منحنی مشخصه پمپ‌ها: دلایل زیادی وجود دارد که چرا دبی خروجی ایستگاه‌های پمپاژ نشان داده‌شده در سامانه اسکادا، به‌طور قابل‌توجهی با نتایج مدل هیدرولیکی مغایرت دارد. تفاوت در افت فشار در لوله مکش یا لوله تخلیه، می‌تواند بر دبی خروجی پمپ تأثیر بگذارد. این موضوع، به‌خصوص در افت هد لوله‌های داخل ایستگاه پمپاژ صادق است. این افت هدها، اغلب دست‌کم گرفته می‌شوند؛ در حالی‌که در سرعت‌های بالا، افت هد بسیار زیادی در لوله رانش ایجاد می‌شود. بدین ترتیب اگر افت هدهای محاسبه‌شده در شبکه صحیح باشد، منحنی مشخصه پمپ‌ها می‌توانند اشتباه باشد. در برخی موارد، پروانه‌های پمپ‌ها با گذشت زمان مستهلک شده و به‌طور بالقوه دبی خروجی را کاهش می‌دهند. تنظیم منحنی مشخصه پمپ، می‌تواند منجر به تطابق نتایج مدل هیدرولیکی با سامانه اسکادا گردد.

۴-۴-۲-۲- موقعیت شیرآلات: تایید مشخصه افت (مقدار و محل) موضعی شیرآلات به‌خصوص شیرالات نیمه‌باز، بسیار مهم است. یک شیر کنترل دبی، براساس تطبیق فشار پایین‌دست و بالادست با ایجاد افت هد برای یک دبی تنظیم‌شده عمل می‌کند. وضعیت شیرهای انسداد، معمولا به دقت تنظیم نمی‌شود. در این نوع شیر وقتی انسداد قابل‌توجهی ایجاد می‌شود، یک اختلاف کوچک در وضعیت شیر باعث ایجاد یک تفاوت افت هد بزرگ توسط این شیر می‌شود. علاوه بر این، تنظیمات شیرهای فشارشکن بعضی وقت‌ها با گذشت زمان از نقاط تنظیم‌شده خود خارج می‌شوند، مخصوصا زمانی که به‌طور معمول بررسی و تنظیم مجدد نشوند.

۴-۴-۲-۳- کنترل‌های منطقی: بعضی مواقع ممکن است یک کنترل منطقی که در مدل هیدرولیکی برنامه‌ریزی شده است، با آنچه که در اسکادا نشان داده می‌شود، همخوانی نداشته باشد. ممکن است زمان پاسخگویی برخی تجهیزات کنترلی (نظیر سطح‌سنج یک مخزن)، به‌حدی طولانی باشد که تغییر وضعیت واقعی یک پمپ یا یک شیرفلکه برقی از آنچه که در مدل هیدرولیکی نشان داده شده است، متفاوت باشد. تغییر وضعیت اکثراً در بین گام‌های زمانی مدل اتفاق می‌افتد. همچنین ممکن است در شرایط واقعی، فرمان‌های کنترلی در فاصله زمانی بین دو گام تحلیلی رخ دهد که این اتفاق، باعث اختلاف شرایط واقعی با مدل می‌شود.

۴-۴-۲-۴- الگوهای تقاضای روزانه: همان‌طورکه قبلا اشاره شد، یک انشعاب بزرگ فضای سبز، یک انشعاب فروش عمده آب و یا یک انشعاب بزرگ صنعتی ممکن است تاثیر قابل‌توجهی بر عملکرد واقعی شبکه توزیع داشته باشد. از این‌رو برای رسیدن به یک واسنجی قابل‌قبول، ممکن است نیاز به تنظیم الگوی تقاضا برای مشترکین ویژه یا یک منطقه محلی خاص باشد. این الگوهای ویژه ممکن است به‌صورت تخمینی وارد مدل هیدرولیکی شود.

۴-۴-۲-۵- موقعیت لوله‌ها: اگر تنظیمات اشاره شده در واسنجی موثر به‌نظر نرسد یا بررسی ناهنجاری‌های محلی در واسنجی دشوار باشد، ممکن است تنظیم ضریب C لازم باشد. در تنظیمات واسنجی حالت ماندگار، ممکن است مناطقی که تحت تاثیر شیرهای آتش‌نشانی نیستند، نادیده گرفته شوند. این امر می‌تواند بر عملکرد سایر قسمت‌های شبکه تاثیرگذار باشد. این موضوع به خصوص در خطوط انتقال و قسمت‌های اصلی شبکه توزیع با قطر بزرگ، بیشتر

از سایر قسمت‌های شبکه توزیع با قطر کوچک مؤثر خواهد بود.

۴-۴-۲-۶- شیر فلکه‌های بسته: عدم وجود اطلاعات کافی در مورد شیر فلکه‌ها و بسته شدن نامناسب آنها، ممکن است یکی از دلایل واسنجی ضعیف باشد. برای رسیدن به یک واسنجی قابل‌قبول، ممکن است نیاز باشد تا در بعضی قسمت‌های شبکه شیرفلکه‌ها را بسته فرض کرد. اگر شیرفلکه‌ها در مدل بسته فرض شوند، باید صحت و سقم آن در شبکه توزیع بررسی شود. بدین ترتیب ممکن است آزمون‌های اضافی برای بررسی و شناسایی محل شیرفلکه‌های بسته احتمالی در شبکه توزیع نیاز باشد.

۴-۴-۲-۷- خطاهای اسکادا: امکان ایجاد خطا در سامانه اسکادا را نباید به‌عنوان یک دلیل عدم توافق مدل هیدرولیکی نادیده گرفت و احتمال وقوع خطا در سامانه‌های اسکادا ممکن است باعث عدم تطابق مدل هیدرولیکی با شرایط واقعی گردد. تجهیزات قدیمی مانند یک پروتکل ارتباطی ۴-۲۰ میلی‌آمپر، در قرائت دستخوش خطا می‌شوند؛ به‌طوری‌که ممکن است نتایج مدل دقیق‌تر از اطلاعات اسکادا باشد. بعضی مقادیر در سامانه اسکادا، ممکن است از تجمیع مقادیر ابزار مختلف باشد. این نوع ابزارها، بیشتر از سایر ابزار در معرض خطاهای محاسباتی قرار دارند.

۴-۴-۳- گزارش نتایج واسنجی حالت EPS

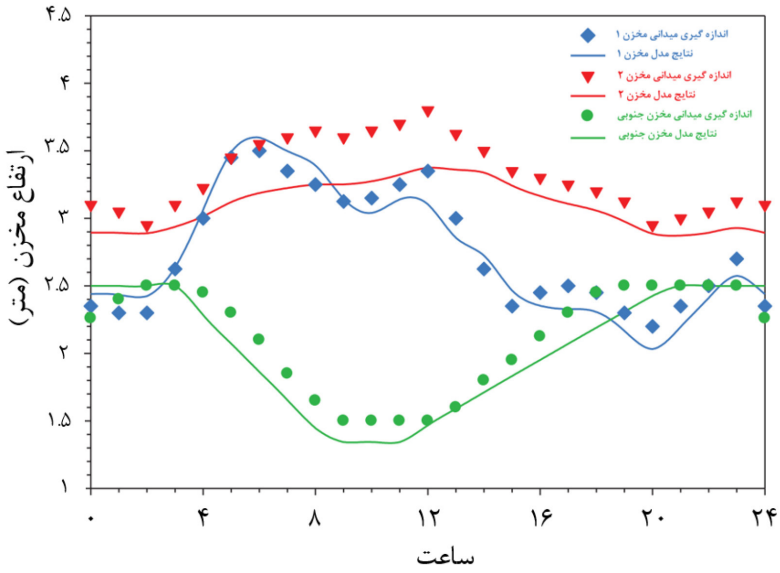
نتایج واسنجی حالت EPS مدل هیدرولیکی، معمولا به‌صورت نمودارهایی گزارش می‌شود که مقادیر پیش‌بینی مدل و مشاهدات میدانی را برای هر نقطه اندازه‌گیری نشان می‌دهند. مقادیری که معمولا مقایسه می‌شوند، شامل دبی، فشار و سطح آب در مخازن هستند. از دستورالعمل‌های ارائه‌شده در این فصل، می‌توان برای ارزیابی کیفی نتایج واسنجی استفاده کرد. شکل (۴-۴)، یک نمونه از گزارش واسنجی حالت EPS است که به‌صورت نمودار، تغییرات سطح آب مخزن در شبکه توزیع را با سطح آب مدل‌شده مقایسه می‌کند.

در ارزیابی آماری واسنجی، باید دقت زیادی صورت گیرد. به‌طور مثال در بسیاری از موارد، یک ایستگاه پمپاژ فقط چند ساعت در طول روز کار می‌کند. وقتی ایستگاه پمپاژ خاموش است و پمپ‌ها براساس کنترل‌های مبتنی بر زمان در مدل هیدرولیکی کنترل می‌شوند، در این صورت داده‌های مدل دقیقا منطبق بر داده‌های عملیاتی است و ممکن است عملکرد پمپ‌ها از آمار واسنجی حذف شوند. دبی در ایستگاه‌های پمپاژ پنوماتیک نیز، نباید مشمول ارزیابی واسنجی شود. ایستگاه‌های پمپاژ هیدروپنوماتیکی به طور منظم برای افزایش فشار مناطق کوچک‌تر شبکه توزیع، استفاده می شوند.

دقت واسنجی را به روش‌های مختلف می‌توان محاسبه کرد. به‌منظور شناسایی روش‌های آماری مورد استفاده، مفروضات درنظر گرفته‌شده و بحث در مورد انحراف نتایج، باید تمام تحلیل‌های آماری به اندازه کافی مستند شوند. داده‌های اجباری، مانند استفاده از شیرهای کنترل جریان یا چاه‌هایی که به‌عنوان تقاضاهای منفی مدل شده‌اند، نباید شامل این تحلیل‌ها شوند. به‌عنوان مثال، واسنجی می‌تواند براساس واریانس متوسط تعیین شود، یا واریانس بین نتیجه مدل‌سازی شده و داده‌های میدانی را می‌توان در هر مرحله زمانی محاسبه کرد.

در واسنجی حالت EPS برای مقایسه تکرار و سرعت چرخه پر و خالی شدن مخازن، بهتر است تغییرات سطح مخازن نسبت به زمان برای داده‌های اسکادا و مدل در یک نمودار ترسیم شود. بازه زمانی شبیه‌سازی، باید به اندازه‌ای باشد که چرخه پر و خالی شدن به یک حالت پایدار برسد. همچنین این مقایسه داده‌ها، به شناسایی و یا تشخیص یک

تقاضـای نامتعـادل کـه ممکن اسـت باعـث تخلیه کامل مخازن شبیه‌سازی‌شـده شـود، کمک می‌کنـد؛ در صورتی که چنین شرایطـی در عمـل اتفـاق نمی‌افتد.



شکل ۴-۴-نمونه‌ای از گزارش واسنجی حالت EPS (سطح آب مخزن)

اسامی گروه تدوین به ترتیب حروف الفبا

ردیف	نام و نام خانوادگی	شرکت
۱	محمدرضا جلیلی قاضی زاده	دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
۲	محسن داودی سرشت	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۳	رحیم رنجبریان	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی

اسامی کارگروه هدر رفت واقعی به ترتیب حروف الفبا

ردیف	نام و نام خانوادگی	شرکت
۱	محمدرضا جلیلی قاضی زاده	دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
۲	آذین چیت سازان	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۳	محسن داودی سرشت	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۴	علیرضا رحمت پناه	شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان
۵	رحیم رنجبریان	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی
۶	محمد سلطانی اصل	شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی
۷	علی سیدزاده	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۸	ستار صالحی	استادیار دانشگاه آزاد اسلامی
۹	محسن محتشم	شرکت آب و فاضلاب مشهد
۱۰	علی محرابی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۱۱	حسن مرادی	شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی
۱۲	علیرضا مقدم	شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی
۱۳	حامد منصف	شرکت آب و فاضلاب استان گیلان
۱۴	معصومه مهدی بادی	شرکت آب و فاضلاب استان تهران
۱۵	علی موسی خانی	شرکت آب و فاضلاب استان قزوین

مراجع:

Grayman, W.M., Maslia, M.L., and Sautner, J.B. 2006. Calibrating Distribution System Models With Fire-Flow Tests. Opflow, Vol. 32, No. 5

Walski, T.M., Chase, D.V, Savic, D.A., Grayman, W.M., Beckwith, S., and Koelle, E. 2007. Advanced Water Distribution Modeling and Management. Exton, Pa.: Bentley Systems.

Walski, T.M. 1983. Technique for Calibrating Network Models. Journal of Water Resources Planning and Management, 109:4:360–372.

تاریخ: موضوع:

تاریخ: موضوع:

تاریخ: موضوع:

https://ope.nww.ir