کالیبراسیون مدل هیدرولیکی شبکه وضع موجود آب (مطالعه موردی شهر برازجان)

بنیامین جاودانی یکتا[1*]، سیاوش کلاهدوزیان[2]، شادی ربانی[3]، شیما قلی بیکی[4]

۱- پژوهشگر مرکز پژوهشی مدیریت منابع محیط زیست ارم ، مدیر پروژه شرکت مهندسی مشاور طوس آب، کارشناسی ارشد عمران دانشگاه فردوسی مشهد (ben.javdani@gmail.com)

۲- پژوهشگر مرکز پژوهشی مدیریت منابع محیط زیست ارم، مدیر پروژه شرکت مهندسی مشاور طوس آب، کارشناسی ارشد مکانیک داشنگاه آزاد اسلامی مشهد (siavash.kolahdoozian28@gmail.com)

۳- مدیر پروژه شرکت مهندسی مشاور طوس آب، کارشناسی ارشد مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد (shadi.Rabbani276@gmail.com)

۴- کارشناس عمران شرکت مهندسی مشاور طوس آب، کارشناسی ارشد عمران دانشگاه صنعتی شاهرود (shima.gholibeiki@gmail.com)

چکیده

مدل های هیدرولیکی به طور گسترده‌ای به عنوان ابزار حیاتی برای تسهیل طراحی، بهره برداری و مدیریت سیستم های توزیع آب استفاده می شود. به منظور مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب، کالیبراسیون مدل هیدرولیکی صورت می‌پذیرد. کالیبراسیون یک مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب به عنوان فرآیند تنظیم پارامترهای شبکه تعریف می شود، به طوری که خروجی از مدل کامپیوتری با اندازه گیری‌های میدانی مطابقت داشته باشد که معمولاً فشارها و دبی جریان در مکان‌های خاص در شبکه است. در عمل واقعی، تفاوت زیادی بین رفتار پیش بینی شده توسط مدل و نتایج میدانی واقعی وجود دارد. این شبکه باید به گونه ای کالیبره شود تا بتوان از آن برای هر کاربرد عملی به طور قابل اعتماد استفاده کرد. در این مطالعه به صورت موردی کالیبراسیون شبکه توزیع وضع موجود آب شهر برازجان انجام پذیرفته است. از روش دیمند مبتنی بر فشار جهت بالا بردن دقت مدلسازی استفاده شده است. لوله‌ها بر اساس جنس، قطر و سن به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند و مقدار مشترکی از ضریب زبری لوله برای همه لوله‌های یک گروه در نظر گرفته می‌شود. پایش جریان در مخازن و فشارها در ۱۱ نقطه در بازه یک ماهه انجام شد. مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مدل شده برای مقادیر فشار به حداقل می رسد و درصد خطا در کالیبراسیون محاسبه می شود. دقت کالیبراسیون فشاری نقاط بین ۱ تا ۷ متر ستون آب فشار بود که مناسب بوده و تایید گردیده است.

واژه‌های کلیدی فارسی: شبکه توزیع آب، فشار سنجی، کالیبراسیون مدل هیدرولیکی، دیمنددهی مبتنی بر فشار

۱– مقدمه

مدل های هیدرولیکی به طور گسترده‌ای به عنوان ابزار حیاتی برای تسهیل طراحی، بهره برداری و مدیریت سیستم های توزیع آب استفاده می شود (Mendez et al. 2013). به منظور مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب، کالیبراسیون مدل هیدرولیکی صورت می‌پذیرد. کالیبراسیون یک مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب به عنوان فرآیند تنظیم پارامترهای شبکه تعریف می شود، به طوری که خروجی از مدل کامپیوتری با اندازه گیری‌های میدانی مطابقت داشته باشد که معمولاً فشارها و دبی جریان در مکان‌های خاص در شبکه است (Shamir & Howard, 1977). تعدادی از مطالعات قبلی نشان داده‌اند که بسیاری از سیستم‌ها و عوامل عملیاتی مانند تقاضای گره (Huang et al. 2017) و زبری لوله (Duan et al. 2010) می‌توانند بر دقت کالیبراسیون مدل‌های هیدرولیکی شبکه توزیع آب تأثیر بگذارند.

کالیبراسیون یک سیستم توزیع آب یک کار چالش برانگیز است زیرا تعداد زیادی پارامتر ورودی مانند تراز ارتفاعی، تقاضای گره، تلفات آب، طول لوله، قطر لوله، ضرایب زبری لوله، سطح آب در مخازن، مشخصات پمپ‌ها، تنظیمات شیرآلات و ... بر آن تاثیر گذار است. اکثر این پارامترها به طور دقیق در طول مشاهدات میدانی اندازه گیری شوند به طوری که تعداد کمی از پارامترهای نامشخص نیاز به تنظیمات در طول کالیبراسیون داشته باشند. بررسی میدانی، داده‌های قابل اعتمادی را در مورد طول لوله، کد ارتفاعی زمین، تنظیمات شیرآلات و سطح آب در مخازن آب ارائه می‌دهد. به طور کلی، داده های مربوط به مصرف گره و ضرایب زبری لوله کمتر قابل اعتماد هستند و بنابراین ممکن است در طول کالیبراسیون نیاز به تنظیم داشته باشند. در عمل واقعی، تفاوت زیادی بین رفتار پیش بینی شده توسط مدل و نتایج میدانی واقعی وجود دارد. این شبکه باید به گونه ای کالیبره شود تا بتوان از آن برای هر کاربرد عملی به طور قابل اعتماد استفاده کرد (Walski, 1986).

چندین روش برای کالیبراسیون شبکه‌های توزیع آب در مقالات موجود است (Bhave & Gupta, 2006; Kand & Lansey, 2011; Sanz & Perez, 2015; Do et al. 2016). یک گروه از روش ها هر دو ضریب لوله و تقاضای گره را نامطمئن در نظر می‌گیرند و آنها را به طور همزمان در حین کالیبراسیون تنظیم می کنند، در حالی که گروه دیگر از روش‌ها فرض می‌کنند تقاضاهای گره نسبتاً دقیق هستند و نیازی به تنظیم ندارند و فقط ضرایب زبری لوله تنظیم می‌شود.

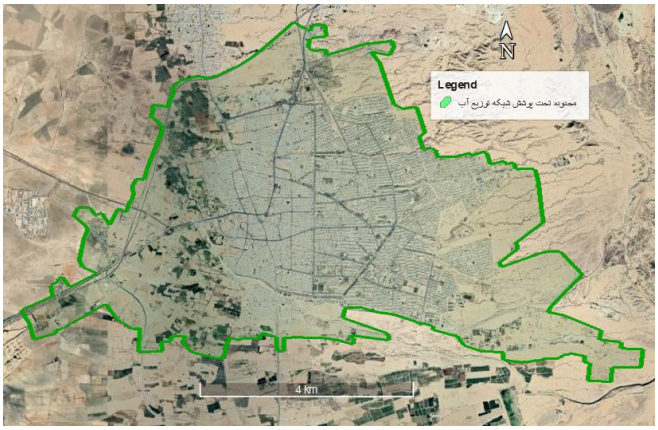
یک توافق معقول بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده فشار باید در طول کالیبراسیون حاصل شود. اختلاف میانگین ۱٫۵± متر با حداکثر مقدار ۵٫۰ ± متر را در فشارهای میدانی مشاهده شده و محاسبه شده برای یک مجموعه داده خوب و مقادیر متناظر ۳± و ۱۰± متر را برای یک مجموعه داده ضعیف می‌توان پیشنهاد کرد (Walski, 1983). دقت ۳٫۵-۷٫۰ متر نیز به عنوان یک هدف معقول توصیه می‌شود (Cesario & Davis, 1984).

در این مطالعه لوله‌ها بر اساس جنس، قطر و سن به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند و مقدار مشترکی از ضریب زبری لوله برای همه لوله‌های یک گروه در نظر گرفته می‌شود. پایش آنلاین جریان در مخازن و فشارها در ۱۱ نقطه انجام می شود و از داده های جریان ساعتی و فشار برای کالیبراسیون استفاده می‌شود. مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مدل شده برای مقادیر بهینه ضرایب لوله به حداقل می رسد و درصد خطا در کالیبراسیون محاسبه می شود. مدلسازی هیدورلیکی شبکه توزیع با نرم افزار Watergems V8i انجام گردید.

۲– محدوده طرح

شهر برازجان مرکز شهرستان دشتستان واقع در استان بوشهر در ایران می‌باشد. این شهر در ۶۵ کیلومتری شمال شرقی

بندر بوشهر و در ارتفاع ۸۰ متری از سطح دریا و بر سر راه ارتباطی و بازرگانی شیراز به بوشهر و شیراز به عسلویه واقع شده است. بر اساس نتایج آخرین سرشماری (سال ۱۳۹۵) جمعیت شهر برازجان ۱۱۰،۵۶۷ نفر می‌باشد. در شکل ۱ محدوده شبکه توزیع آب شهر برازجان ارائه شده است.

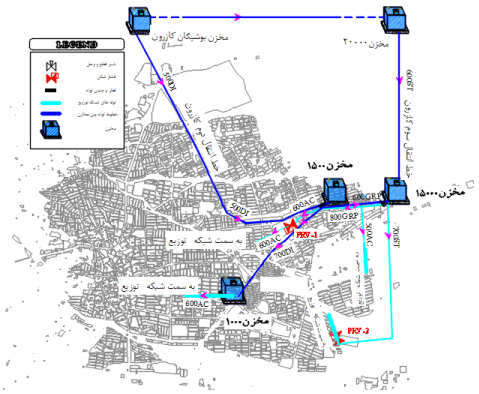


شکل ۱: محدوده شبکه توزیع آب شهر برازجان

۳- وضع موجود شبکه توزیع آب

۳-۱- منابع تامین و تاسیسات وضع موجود

در حال حاضر آب مورد نیاز شهر برازجان از مخزن بوشیگان شهر کازرون تامین می‌شود و مخازن اصلی موجود شهر دو مخزن با ظرفیت‌های ۱۵۰۰ و ۱۵۰۰۰ مترمکعب با رقوم کف ۱۳۶، ۱۶۳ متر می‌باشد (شکل ۲). مخزن ۱۵۰۰ مترمکعبی شهر مستقیماً از مخزن بوشیگان کازرون توسط خط انتقال دوم کازرون (لوله چدنی به قطر ۵۰۰ میلیمتر) و مخزن ۱۵۰۰۰ مترمکعبی به صورت غیر مستقیم و توسط مخزن ۲۰۰۰۰ مترمکعبی (با رقوم کف ۲۱۲ متر) از مخزن بوشیگان کازرون توسط خط انتقال سوم کازرون (لوله فولادی به قطر ۶۰۰ میلیمتر) آبگیری می‌شود. طبق آمار تولیدات سال ۱۳۹۸، مخزن بوشیگان کازرون به طور متوسط ۳۸۳ لیتر در ثانیه آب را توسط دو خط فوق برای شهر برازجان تامین می‌نماید. همچنین مخزن ۱۰۰۰ مترمکعبی با رقوم کف ۸۹ متر داخل شهر موجود می‌باشد که توسط خط ۷۰۰ چدنی از مخزن ۱۵۰۰ مترمکعبی آبگیری شده و در واقع به عنوان مخزن فشارشکن عمل می‌کند.



شکل ۲: نقشه تاسیسات و مخازن تامین آب وضع موجود شهر برازجان

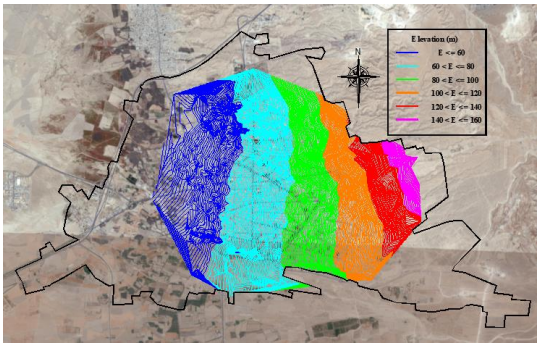
در مواقع اضطراری و کمبود آب، تعداد ۴ حلقه چاه مطابق مشخصات جدول ۲ جهت تامین آب شرب شهر وارد مدار شده و توسط خط لوله آزبست به قطر ۳۰۰ میلیمتر به مخزن ۱۰۰۰ متر مکعبی انتقال می‌یابد.

جدول ۱: مشخصات چاه‌ها

شهر	نام چاه	عمق چاه	نوع پمپ	نوع حفاری	مشخصات
برازجان	چاه شماره ۵	۱۳۰ متر	293/10/38kw	عمیق	شناور KSB مدل ۲۹۳- ۱۸ کیلووات. قطر لوله مکش: ۳اینچ قطر لوله رانش: ۶اینچ
	چاه شماره ۶	۱۳۰ متر	293/10/38kw	عمیق	
	چاه شماره ۷	۱۳۰ متر	293/10/38kw	عمیق	
	چاه شماره ۸	۱۳۰ متر	293/10/38kw	عمیق	

۳-۲- توپوگرافی شهر

شیب عمومی شهر برازجان از شرق به غرب بوده و مرتفع‌ترین نقطه در شرق و پست‌ترین نقطه در غرب شهر به ترتیب با اختلاف ارتفاع ۱۴۵ و ۴۰ متر نسبت به سطح آب‌های آزاد می‌باشد. تصویر هوایی و خطوط ارتفاعی شهر برازجان در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳: توپوگرافی شهر برازجان

۳-۳- وضعیت بهره برداری

امور بهره‌برداری شهر برازجان جهت پر شدن مخزن ۱۵۰۰۰ مترمکعبی در ساعات ۱۷-۱۸ شیر خروجی مخزن را تا حدودی بسته (فقط ۳ دور از ۲۷ دور شیر باز می‌باشد) و در ساعت ۵-۶ صبح این شیر را جهت آبرسانی به سطح شبکه کاملا باز می‌نماید. از اینرو اغلب مشترکین آب را بصورت اتصال مستقیم پمپ به شبکه تامین کرده که فشار شبکه را به شدت دچار اختلال می‌نماید. ضمناً شیر ورودی به مخزن ۱۰۰۰ متر مکعبی بر روی لوله آزبست ۳۵۰ میلیمتر (ورودی از شهرک آزادگان) در ساعت ۲۰ باز شده و در ساعت ۶ صبح بسته می‌شود. همچنین با توجه به فرم بالانس آب سال ۱۳۹۸ شهر برازجان، حدود ۱۴،۸ درصد مصرف شبکه برازجان مربوط به انشعابات غیرمجاز می‌باشد.

۴- مدل سازی شبکه توزیع آب

ابتدا نقشه وضع موجود شبکه توزیع آب به همراه تمامی تاسیسات تهیه و توسط امور آب شهر برازجان تایید گردید.

سپس وضعیت بهره برداری بر روی آن مشخص گردید. در ادامه نیز با استفاده از توپوگرافی شهر، کد ارتفاعی نقاط مختلف شبکه تعیین گردید.

۴-۱- ضریب زبری لوله ها

شبکه توزیع آب شهر برازجان دارای قدمت بالایی بوده، از اینرو از ضرایب زبری لوله کهنه برای انواع لوله‌های وضع موجود استفاده شد که براساس نتایج حاصله از فشارسنجی نیز این مقادیر کالیبره شده و مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲: ضرایب کالیبره هیزن ویلیامز لوله های شبکه وضع موجود شهر برازجان

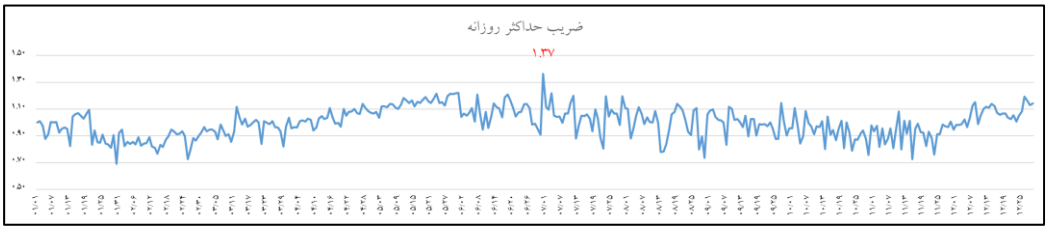
ردیف	جنس لوله		ضریب هیزن ویلیامز
۱	AC	آزبست سیمان	۹۰
۲	DI	چدن داکتیل	۹۰
۳	ST	فولاد	۹۰
۴	GI	فولاد گالوانیزه	۹۰
۵	PE	پلی اتیلن	۱۰۰
۶	GRP	فایبرگلاس	۱۰۰
۷	UPVC	پی وی سی سخت	۱۰۰

۴-۲- ضریب حداکثر مصرف روزانه (C1)

نسبت مصرف آب در پرمصرف‌ترین روز سال را به مصرف متوسط روزانه، ضریب حداکثر مصرف روزانه می‌نامند. نوسانات روزانه که تغییرات مصرف آب در روزهای مختلف سال را نشان می‌دهد عمدتا بستگی به درجه حرارت و نیازهای آبی ساکنین شهر در فصول مختلف دارد. مناسب‌ترین روش محاسبه ضریب مزبور استفاده از آمار تولید و مصرف روزانه شهر و تلفیق اطلاعات حاصل با شرایط فرهنگی، بافت اجتماعی و صنعتی و شرایط آب و هوایی شهر است.

مطابق صورتجلسه مورخ ۱۳۹۱/۰۷/۱۰ شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ضریب حداکثر مصرف روزانه شهر برازجان معادل ۱,۷ مصوب شده است.

با استفاده از اطلاعات تولید روزانه آب در سال ۱۳۹۸ اخذ شده از شرکت آب و فاضلاب استان بوشهر، مقدار ضریب روزانه در تمامی روزهای سال محاسبه شده است. شکل ۴، نسبت تغییرات مصرف هر روز به متوسط مصرف سال (ضریب روزانه) را برای شهر برازجان سال ۱۳۹۸ نمایش می‌دهد.



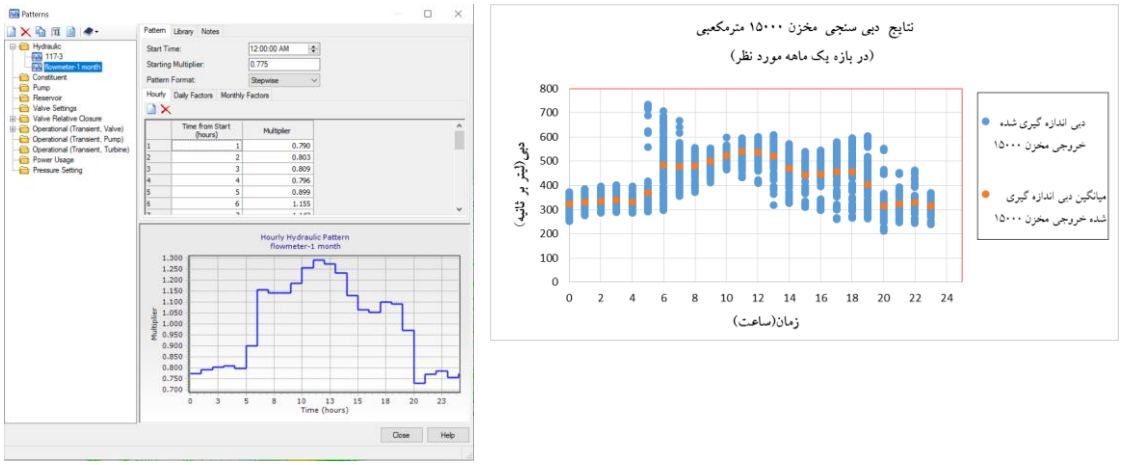
شکل ۴: نسبت تغییرات مصرف هر روز به متوسط مصرف سال (ضریب روزانه) را برای شهر برازجان سال ۱۳۹۸

براساس نتایج تولیدات روزانه سال ۱۳۹۸، ضریب مصرف روزانه هر روز تعیین گردید. ضریب حداکثرمصرف روزانه معادل ۱,۳۷ در روز ۳۱ شهریور محاسبه شده است.

نوسانات روزانه آب، با تغییر در ظرفیت برداشت از منابع تامین آب جبران می‌گردد. برای گذر از فصول گرم و برون رفت از تنش آبی، ظرفیت برداشت از منابع تامین می‌بایست افزایش یابد. تامین آب شهر عمدتاً (معادل ۹۶ درصد کل منابع تامین) از خط انتقال دوم و سوم کازرون انجام می‌گیرد و در فصول گرم سال نیز از حداکثر ظرفیت آب چاه‌ها نیز بهره برداری می‌شود. این امر بیانگر عدم توانایی منابع این شهر جهت پاسخگویی به نوسانات مصرف در شرایط اوج مصرف می‌باشد و عدد محاسبه شده برای ضریب حداکثر روزانه (بر اساس آمار تولیدات) در این شرایط نمی‌تواند به درستی بیانگر نوسانات روزانه باشد.

۴-۳- الگوی مصرف ساعتی

با توجه به بررسی نتایج دبی سنجی خروجی مخزن ۱۵۰۰۰ متر مکعبی در بازه متناظر فشار سنجی سطح شبکه (۱۱ اردیبهشت لغایت ۹ خرداد ۱۴۰۰)، در برخی ساعات در بعضی از روزها نتایج دبی سنجی ثبت نشده بود. همچنین در اکثر موارد دبی خروجی مخزن در یک ساعت و در روزهای مختلف تقریبا مشابه بود. از اینرو جهت کاهش خطای احتمالی، ضریب مصرف ساعتی (الگوی مصرف ساعتی) بر اساس دبی متوسط در هر ساعت شبانه روز تعیین گردید. در شکل ۵ نمودار دبی خروجی مخزن در ساعات مختلف شبانه روز در بازه مورد نظر ارائه شده است. همچنین دبی خروجی مخزن و ضریب مصرف ساعتی در جدول ۳ نشان داده شده است.



الف ب

شکل ۵: الف- نتایج دبی سنجی مخزن ۱۵۰۰۰ مترمکعبی در بازه یک ماهه، ب- الگوی مصرف ساعتی براساس میانگین دبی خروجی مخزن ۱۵۰۰۰ مترمکعبی

جدول ۳: دبی و ضرایب مصرف ساعتی

زمان (ساعت)	دبی متوسط (لیتر در ثانیه)	ضریب مصرف ساعتی	زمان (ساعت)	دبی متوسط (لیتر در ثانیه)	ضریب مصرف ساعتی
0	325	0.78	12	534	1.27
1	331	0.79	13	517	1.23
2	337	0.80	14	473	1.13
3	339	0.81	15	446	1.06
4	334	0.80	16	442	1.05
5	377	0.90	17	461	1.10
6	484	1.16	18	458	1.09
7	479	1.14	19	407	0.97
8	479	1.14	20	306	0.73
9	497	1.19	21	323	0.77
10	526	1.25	22	329	0.79
11	541	**1.29**	23	317	0.76

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود ضریب حداکثر مصرف ساعتی در ساعت ۱۱ صبح و برابر ۱,۲۹ می‌باشد. مطابق صورتجلسه مورخ ۱۳۹۱/۰۷/۱۰ شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ضریب حداکثر ساعتی شهر برازجان در اکثر مناطق شهر معادل ۱,۷۵-۱,۹۲ مصوب شده است. دلیل این تفاوت در وضع موجود با صورتجلسه عدم تامین مناسب آب معادل نیاز آبی شهر می‌باشد.

۴-۴- دیمنددهی

به منظور دیمند دهی از نتایج مصرف مشترکین طی دوره‌های مختلف سال ۱۳۹۸ استفاده شد. موقعیت و درصد نسبی مصرف هر مشترک به کل مصرف بر روی مدل بارگذاری شد.

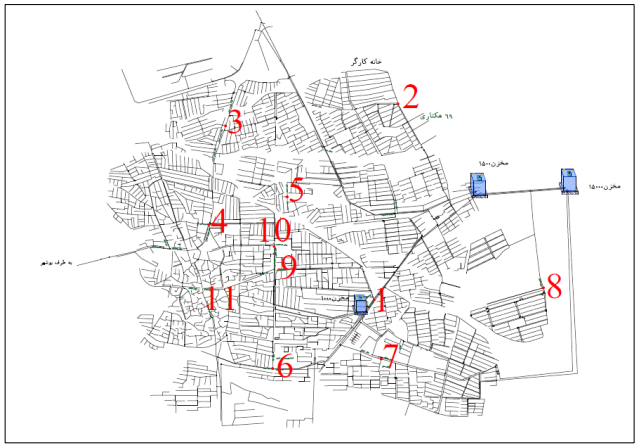
در ابتدا با استفاده از روش دیمند ثابت (FD) تحلیل انجام شد که با توجه به دبی زیاد و در نتیجه افت فشار زیاد در شبکه توزیع، در برخی قسمت های شبکه فشار منفی ایجاد می‌شد که عملا منطبق بر واقعیت نمی‌باشد. با توجه به پایین بودن فشار شبکه به منظور دقت بیشتر از روش دیمند وابسته به فشار (PDD) برای مدلسازی استفاده شده است. با توجه به این موضوع که آمار تولیدات روزانه مربوط به سال ۱۳۹۸ می‌باشد، لذا به منظور تدقیق مدل با واقعیت، دبی متوسط خروجی مخزن در بازه زمانی مورد نظر (۱۱ اردیبهشت الی ۹ خرداد سال ۱۴۰۰) مبنای تحلیل هیدرولیکی وضع موجود شبکه توزیع آب شرب شهر برازجان قرار گرفت.

۴-۵- موقعیت نقاط فشار سنجی

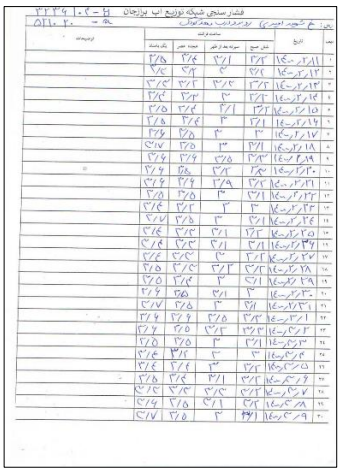
با توجه به عدم وجود نتایج فشارسنجی نقاط مختلف شبکه ، ۱۱ نقطه جهت نصب فشارسنج در سطح شبکه به شرح جدول ۴ و شکل ۷ از طرف این مشاور پیشنهاد گردید و مقرر شد به مدت ۱ ماه روزی ۴ مرتبه نتایج آن قرائت و ثبت گردد.

جدول ۴: موقعیت فشارسنج‌های نصب شده شهر برازجان (۱۱ ایستگاه)

شماره فشارسنج	آدرس محل نصب فشارسنج	موقعیت استقرار فشار سنج بر روی لوله
۱	خیابان مولوی، محدوده میدان کوثر، نرسیده به مخزن ۱۰۰۰	لوله ۳۵۰ آزبست بعد از اتصال لوله ۲۰۰ چدن داکتیل (غرب اتصال)
۲	مجاور محدوده ۶۹ هکتاری	لوله ۲۰۰ آزبست قبل از اتصال لوله ۱۱۰ پلی اتیلن (جنوب اتصال)
۳	بلوار جمهوری اسلامی (داخل پیاده رو-روبروی تعمیرگاه مدرن)	لوله ۱۵۰ آزبست
۴	تقاطع خیابان جمهوری اسلامی و خیابان سیزده آبان	لوله ۴۰۰ آزبست قبل از اتصال لوله ۲۰۰ آزبست (جنوب اتصال)
۵	خیابان شهید حیدری (پارک کمال آباد)	لوله ۱۵۰ آزبست قبل از اتصال لوله ۱۱۰ پلی اتیلن (شمال اتصال)
۶	خیابان شهید امیری (روبروی درب مهدکودک)	لوله ۱۵۰ آزبست موجود در خیابان شهید امیری قبل از اتصال لوله ۱۵۰ آزبست بلوار طالقانی (غرب اتصال)
۷	بلوار دانشگاه، مقابل بهزیستی	لوله ۲۵۰ آزبست طرف شرقی اتصال لوله ۱۱۰ پلی اتیلن
۸	خیابان اشراق (فرهنگ شهر)	لوله ۵۰۰ آزبست قبل از اتصال لوله ۱۱۰ پلی اتیلن
۹	خیابان فردوسی نرسیده به بلوار طالقانی	انتهای لوله ۲۰۰ چدن داکتیل قبل از اتصال لوله ۱۱۰ پلی اتیلن
۱۰	بلوار طالقانی، میدان هفده شهریور	لوله ۳۵۰ آزبست واقع شده در غرب بلوار طالقانی قبل از اتصال لوله ۱۱۰ پلی اتیلن (جنوب اتصال)
۱۱	خیابان امام خمینی نرسیده به بلوار شریعتی	لوله ۲۰۰ پلی اتیلن قبل از اتصال لوله ۱۵۰ آزبست



الف

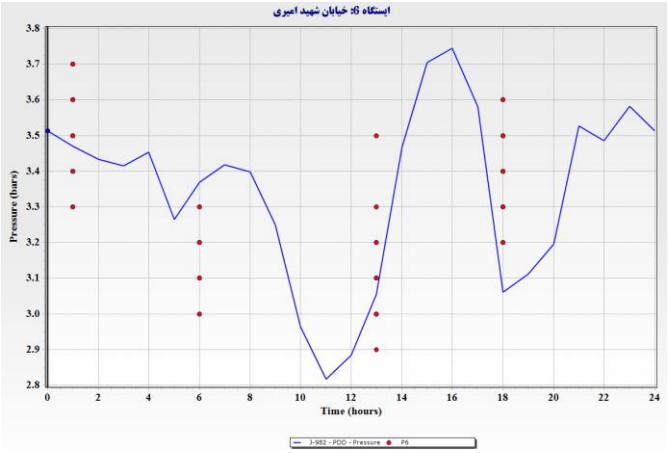


ب

شکل ۷: الف-موقعیت نقاط نصب فشار سنج، ب- نتایج فشار سنجی بازه یک ماهه در ایستگاه شماره ۶ به عنوان نمونه

۵- نتایج و بحث

پس از تهیه مدل و دیمنددهی، به منظور تدقیق مدل هیدرولیکی وضع موجود، از اطلاعات فشارسنجی انجام گرفته در سطح شبکه استفاده شده است. به عنوان نمونه، مقایسه نقاط فشارسنجی در شبکه توزیع آب شهر برازجان در زمان فشارسنجی در ساعات یک، شش، سیزده و هجده با نتایج مدل هیدرولیکی در ایستگاه فشار سنجی شماره ۶ در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: مقایسه نتایج فشارسنجی و مدل هیدرولیکی در ایستگاه شماره ۶

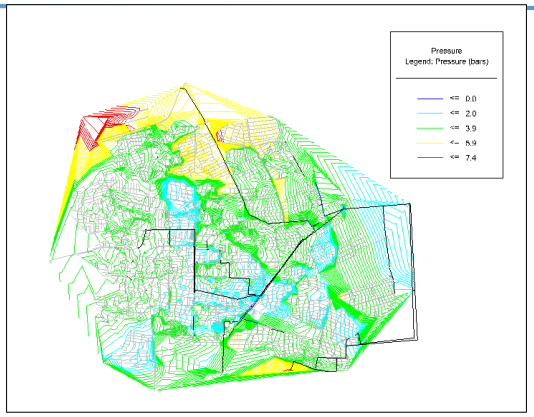
ذکر این موضوع ضروری بوده که علاوه بر شرایط بهره‌برداری شبکه توضیع آب و اعمال آن در مدل هیدرولیکی، به علت استفاده اکثر مشترکین شهر برازجان از پمپ بصورت مستقیم پس از کنتور در برخی ساعات شبانه روز و در برخی نقاط اختلاف کمی بین نتایج فشارسنجی و مدل هیدرولیکی بوجود خواهد آمد که مطابق جدول ۵ میانگین مربعات خطا در هر ایستگاه فشارسنجی محاسبه شده و مورد تایید قرار گرفت.

جدول ۵: مقایسه نتایج فشارسنجی و مدل هیدرولیکی

ردیف	شماره فشار سنج	آدرس	میانگین نتایج فشارسنجی در ساعات مختلف شبانه روز (bar)				نتایج فشار مدل هیدرولیکی در ساعات مختلف شبانه روز (bar)				میانگین مجذور مربعات خطا در هر ایستگاه فشار سنجی (bar)	میانگین مجذور مربعات خطا ر هر ایستگاه فشار سنجی (mH2O)
			۱ بامداد	۶ صبح	۱۳	۱۸	۱ بامداد	۶ صبح	۱۳	۱۸		
			Q=331 (l/s)	Q=484 (l/s)	Q=517 (l/s)	Q=458 (l/s)	Q=331 (l/s)	Q=484 (l/s)	Q=517 (l/s)	Q=458 (l/s)		
۱	۱	خیابان موسوی- محدوده میدان کوثر نرسیده به مخزن ۱۰۰۰ مترمکعبی	۱.۵	۱.۸	۱.۹	۲	۱.۷	۲	۱.۸	۱.۵	۰.۱۵	۱.۵
۲	۲	انتهای خیابان انتظام- مجاور محدوده ۶۹ هکتاری	۱.۶	۳.۲	۲.۹	۲.۴	۲.۸	۳.۷	۳.۶	۲.۴	۰.۳۷	۳.۸
۳	۳	بلوار جمهوری اسلامی داخل پیاده رو - روبروی تعمیرگاه مدرن	۲	۳.۳	۲.۲	۱.۶	۳	۲.۸	۲.۷	۲.۷	۰.۴۱	۴.۲
۴	۴	تقاطع خیابان جمهوری اسلامی و خیابان سیزده آبان (کارخانه یخ)	۲.۸	۳.۲	۳	۲.۹	۲.۸	۲.۷	۲.۶	۲.۷	۰.۱۷	۱.۷
۵	۵	خیابان شهید حیدری (پارک کمال آباد)	۱.۸	۳	۲.۱	۲	۳.۱	۲.۹	۲.۶	۲	۰.۳۵	۳.۶
۶	۶	خیابان شهید امیری- روبروی درب مهدکودک	۳.۵	۳.۲	۳.۱	۳.۴	۳.۵	۳.۴	۳.۱	۳.۱	۰.۰۹	۰.۹
۷	۷	بلوار دانشگاه- مقابل بهزیستی (خیابان فنی حرفه ای)	۰.۲	۳	۳	۲.۹	۱.۷	۳.۴	۳.۳	۳.۴	۰.۴۱	۴.۲
۸	۸	خیابان اشراق (فرهنگ شهر)	۰.۱	۱.۸	۱.۸	۰.۲	۰.۳	۱.۷	۱.۷	۰.۳	۰.۰۷	۰.۷
۹	۹	خیابان فردوسی نرسیده به بلوار طالقانی (کوچه کنار بستی کنار تخته)	۱.۴	۲.۹	۲.۴	۲.۳	۳.۱	۳.۳	۳.۱	۲.۹	۰.۴۹	۵.۰
۱۰	۱۰	بلوار طالقانی- میدان هفده شهریور (فلکه بیمارستان)	۰	۱	۱	۰.۲	۱.۹	۱.۸	۱.۸	۱.۸	۰.۶۸	۷.۰
۱۱	۱۱	خیابان امام خمینی- نرسیده به بلوار شریعتی (حوضچه فعله)	۱.۵	۲.۱	۱.۹	۱.۷	۲.۶	۲.۳	۲.۲	۲.۳	۰.۳۳	۳.۳

مطابق جدول ۵، صرفاً در ایستگاه شماره ۱۰ (بلوار طالقانی- میدان هفده شهریور جنب بیمارستان ۱۷ شهریور) تا حدودی اختلاف بین نتایج وجود دارد. دیمنددهی مدل بر اساس نتایج دریافتی امور مشترکین در سال ۱۳۹۸ بوده که با توجه به این موضوع که این بیمارستان در پایان سال ۱۳۹۹ افتتاح شده است و نیز با توجه به شرایط بحرانی کرونا و مصرف آب بیمارستان که بسیار متفاوت با آمار مصرف مشترکین سال ۱۳۹۸ بوده، این اختلاف بین نتایج مدل و فشارسنجی را توجیه می‌نماید.

در پایان با مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی با نتایج فشارسنجی انجام گرفته در سطح شهر، مشاهده می شود که مدل هیدرولیکی با تقریب بسیار مناسبی نتایج فشارسنجی را پوشش می‌دهد. همچنین شکل ۹ خطوط هم تراز فشار در سطح شبکه آب شهر برازجان را در ساعت پیک مصرف (ساعت ۱۱ صبح) نشان می دهد.



شکل ۹: خطوط هم تراز فشار در سطح شبکه توزیع وضع موجود شهر برازجان– روش دیمند وابسته به فشار-در ساعت حداکثر مصرف(ساعت ۱۱)

۶– جمع بندی

به منظور مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب، کالیبراسیون مدل هیدرولیکی صورت می‌پذیرد. در عمل واقعی، تفاوت زیادی بین رفتار پیش بینی شده توسط مدل و نتایج میدانی واقعی وجود دارد. شبکه باید به گونه ای کالیبره شود تا بتوان از آن برای هر کاربرد عملی به طور قابل اعتماد استفاده کرد. در این مطالعه به صورت موردی کالیبراسیون شبکه توزیع وضع موجود آب شهر برازجان انجام پذیرفت. پس از مقایسه نتایج مدل با نتایج فشارسنجی در ۱۱ نقطه مشخص، دقت کالیبراسیون فشاری نقاط بین ۱ تا ۷ متر ستون آب فشار بود که مناسب بوده و تایید گردیده است. نکاتی که می‌بایست جهت بالا بردن دقت د کالیبراسیون مدل هیدرولیکی مطابق مطالعه حاضر رعایت گردد به شرح زیر می‌باشد:

- مدل هیدرولیکی تهیه شده کاملا منطبق بر نقشه اجرایی باشد.
- وضعیت بهره برداری در بازه کالیبراسیون کاملا در مدل هیدرولیکی منعکس گردد.
- بازه فشار سنجی نقاط مختلف شبکه کاملا مطابق بازه دبی سنجی مخازن باشد.
- حتی الامکان نقاط فشار سنجی متناسب وسعت شبکه باشد.
- در صورت استفاده از مصرف مشترکین، نتایج دقیق‌تر خواهد بود.
- از روش PDD جهت دیمنددهی نقاط مصرف استفاده شود.

۷– مراجع

Bhave P. R, Gupta R., (2006), “Analysis of Water Distribution Network”, Narosa Publication House Pvt. Ltd, New Delhi, India.

Cesario A. L, Davis J. O., (1984), “Calibrating water system models”, *Journal of American Water Works Association*, 76 (7), 66–69.

Duan H. F., Tung Y. K., Ghidaoui M. S., (2010), “Probabilistic analysis of transient design for water supply systems”, *Journal of Water Resources Planning and Management* 136 (6), 678–687.

Do N. C., Simpson A. R., Deuerlein J. W., Piller O., (2016), “Calibration of water demand multipliers in water distribution systems using genetic algorithms”, *Journal of Water Resources Planning and Management* 142 (11), 04016044.

Huang Y., Duan H. F., Zhao M., Zhang Q., Zhao H., Zhang K., (2017), "Probabilistic analysis and evaluation of nodal demand effect on transient analysis in urban water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management* 143 (8), 04017041.

Kang D. S., Lansey K., (2011), "Demand and roughness estimation in water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management* 137 (1), 20–30.

Mendez M., Araya J. A., Sánchez L. D., (2013), "Automated parameter optimization of a water distribution system", *Journal of Hydro Informatics* 15 (1), 71–85.

Sanz G., Pérez R., (2015), "Sensitivity analysis for sampling design and demand calibration in water distribution networks using the singular value decomposition", *Journal of Water Resources Planning and Management* 141 (10), 04015020.

Shamir U., Howard C. D., (1977), "Engineering analysis of water-distribution systems", *Journal of American Water Works Association* 69 (9), 510–514.

Walski T. M., (1986) "Case study: pipe network model calibration issues", *Journal of Water Resources Planning and Management* 112 (2), 238–249.

Walski T. M., (1983), "Technique for calibrating network models", *Journal of Water Resources Planning and Management* 109 (4), 360–372.

Calibration of hydraulic model of existing water distribution network (case study of Borazjan city)

Benyamin Javdani Yekta[*], Siavash Kolahdoozian[2], Shadi Rabbani[3], Shima Gholibeiki[4]

1- Researcher of Eram Environmental Resource Management Research Center - Project Manager of Toossab Consulting Engineering Company, Master of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad(ben.javdani@gmail.com)
2-Researcher of Eram Environmental Resource Management Research Center - Project Manager of Toossab Consulting Engineering Company, Master of Mechanics, Azad University of Mashhad (siavash.kolahdoozian28@gmail.com)
3- Project Manager of Toossab Consulting Engineering Company, Master of Mechanics, Ferdowsi University of Mashhad(shadi.Rabbani276@gmail.com)
4- Civil Engineering Expert of Toossab Consulting Engineering Company, Master of Civil Engineering, Shahrood university of technology (shima.gholibeiki@gmail.com)

Abstract

Hydraulic models are widely used as vital tools to facilitate the design, operation and management of water distribution systems. In order to manage the exploitation of water distribution networks, hydraulic model calibration is done. Calibration of a hydraulic model of a water distribution network is defined as the process of adjusting network parameters, so that the output from the computer model matches field measurements, usually pressures and flow rates at specific locations in the network. In actual practice, there is a large difference between the behavior predicted by the model and the actual field results. This network must be calibrated so that it can be used reliably for any practical application. In this study, the calibration of the water distribution network of the city of Borazjan has been done as a case study. PDD method has been used to increase the modeling accuracy. Pipes are divided into groups based on gender, diameter, and age, and a common value of pipe roughness coefficient is considered for all pipes in a group. Monitoring of flow in reservoirs and pressures was done at 11 points in a period of one month. The sum of squares of the difference between the observed and modeled values for the pressure values is minimized and the percent error in the calibration is calculated. The accuracy of pressure calibration of points between 1 and 7 meters of pressure water column was suitable and confirmed.

Keywords: water distribution network, Pressure measurement, hydraulic model calibration, Pressure Dependent Demand