سیزدهمین کنگره ملّی مهندسی عمران
۲۰ و ۲۱ اردیبهشت ۱۴۰۱
دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

ارائه‌ی یک راهکار مؤثر برای تخمین الگوی ساعتی مصرف آب در شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه‌ی موردی: شهر زابل)

صادق میش‌مست نهی[۱]، علی عباسی[۲*]

۱- کارشناس ارشد مدیریت منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

aabbasi@um.ac.ir

خلاصه

یکی از مهم‌ترین مراحل در تهیه یک مدل هیدرولیکی قابل اعتماد برای تحلیل شبکه‌های توزیع آب شهری، تعیین و تخصیص الگوی ساعتی مصرف می باشد. وجود خطا در این الگوها نتایج مدل هیدرولیکی را تحت شعاع قرار می‌دهد. همچنین تهیه الگوی ساعتی مصرف مناسب برای کالیبراسیون دقیق‌تر شبکه، شبیه سازی زمانمند و همچنین کمک به تصمیم گیری درباره‌ی برنامه‌های توسعه شبکه توزیع آب ضروری می باشد. در این پژوهش یک رویکرد ساده و مؤثر برای تهیه الگوی ساعتی مصرف ارائه شده است. این روش مبتنی بر اصلاح مکرر یک الگوی پیش‌فرض و یا الگوی پیشنهادی نشریه شماره ۱۱۷، با استفاده از مقادیر اختلاف فشار بین داده‌های به دست آمده از سنسورهای اندازه‌گیری فشار موجود در شبکه و نتایج مدل هیدرولیکی می‌باشد. این روش به صورت یک کد MATLAB در برنامه EPANET پیاده‌سازی شده و بر روی داده‌های شبکه توزیع آب شهر زابل در استان سیستان و بلوچستان اعمال شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از این روش منجر به تدقیق تحلیل شبکه توزیع آب شهر زابل در مقایسه با نتایج حاصل از استفاده از الگوی مرسوم پیشنهادی در نشریه ۱۱۷ شده است.

کلمات کلیدی: شبکه‌های توزیع آب، کالیبراسیون، الگوی ساعتی مصرف، مدل‌سازی هیدرولیکی.

۱.مقدمه

برای تأمین نیازهای آبی در نقاط مختلف یک شبکه‌ی توزیع آب در طول مدت بهره‌برداری، استفاده از مدل‌های هیدرولیکی می‌تواند بسیار مفید باشد. یکی از اجزای مهم برای دستیابی به یک مدل هیدرولیکی قابل اتکا، تعریف الگوی ساعتی مصرف منطبق با واقعیت برای هر شبکه‌ی توزیع آب در مدل می‌باشد.

برای تعیین الگوهای ساعتی مصرف پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. یک مدل پیش‌بینی مبتنی بر سری زمانی برای میزان مصرف آب ۲۴ ساعت آینده در یک ناحیه شهری در شبکه تامین آب شهر ملبورن استرالیا توسط ژو[۱] و همکاران توسعه یافته است [1]. این مدل مشتمل بر دو بخش روزانه و ساعتی می‌باشد. بخش روزانه اثر عوامل فصل، اقلیم و سابقه‌ی مصرف را در قالب معادلاتی فرموله کرده و بخش ساعتی مدل، مصرف تخمینی روزانه را به صورت ساعتی توزیع می‌نماید. در پژوهش دیگری، هِررا[۲] و همکاران مجموعه‌ای از روش‌های مختلف را برای پیش‌بینی نیاز آبی، برای یک ناحیه‌ی شهری در جنوب شرقی اسپانیا مقایسه کرده‌اند [2]. این روش‌ها شامل: شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون جستجوگر تصویر، رگرسیون تطبیقی چند متغیره، جنگل‌های تصادفی و رگرسیون بردار پشتیبانی می‌باشند. علاوه بر این روش‌ها، یک مدل ساده مبتنی بر وزن‌های پروفیل نیاز آبی که از بررسی داده‌ها توسط محققین به‌دست آمده است نیز ارائه شده است. یک مدل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای دستیابی همزمان به میزان نشتی و الگوی مصرف در شبکه های توزیع آب توسط دی‌ناردو[۳] و همکاران ارائه شده است [3]. این روش بر روی سیستم توزیع آب بخش مونتروسسیلو در ایتالیا اعمال گردید. برگل[۴] و همکاران تاثیر تغییرات فصول را بر روی الگوهای ساعتی و روزانه‌ی مصرف در یک ناحیه‌ی روستایی بررسی کردند [4]. این مطالعه نشان داد که میزان حجم و نوسانات مصرف در بهار و تابستان بیشتر از پاییز و زمستان می‌باشد.

[1] Zhou
[2] Herrera
[3] Di Nardo
[4] Bergel

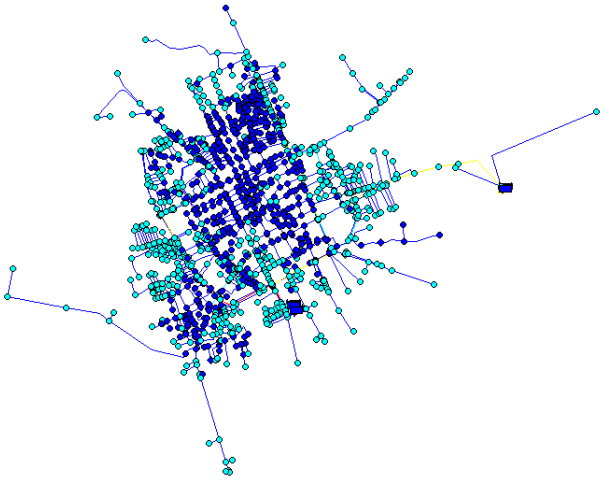
در روند تهیه مدل هیدرولیکی برای شبکه ی توزیع آب شهر زابل مشخص گردید که الگوهای مصرف ساعتی رایج منجر به نتایج خوبی نمی گردد و در برخی موارد اختلافات زیادی بین مقادیر اندازه گیری شده با نتایج به دست آمده از مدل هیدرولیکی وجود دارد. لذا برای تدقیق نتایج مدل هیدرولیکی نیاز به بازتعریف دقیق‌تری از مقادیر مصرف ساعتی در شبکه می‌باشد. در پژوهش حاضر سعی شده است تا با توجه به مقادیر اندازه گیری شده فشار در شبکه در محل فشارسنجها این الگوی ساعتی اصلاح شود. کد توسعه داده شده در روش حاضر با استفاده از EPANET و رابط آن در MATLAB فشارهای به‌دست آمده از مدل را با داده‌های میدانی مقایسه می کند. سپس بر اساس میزان تفاوت این مقادیر یک سری اصلاحات روی الگوی ساعتی مصرف اعمال شده و با تکرار این روند الگوی ساعتی مصرف برای شهر زابل اصلاح می گردد.

۲.روش و داده‌های مورد نیاز

مواد و داده‌های موردنیاز در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

۱.۲. مدل هیدرولیکی پایه

مدل هیدرولیکی شبکه‌ی توزیع آب شهر زابل برای استفاده با ابزار EPANET توسعه داده شده و با فرمت inp (فرمت فایل ورودی EPANET) در دسترس می‌باشد. این مدل در شکل ۱ نشان داده شده است. این مدل توسط مؤلفین این مقاله توسعه یافته است. برای سایر شبکه‌ها وجود مدل هیدرولیکی آن شبکه ضروری می‌باشد.



شکل ۱- مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر زابل در نرم‌افزار EPANET

۲.۲.برنامه‌ی کارکرد پمپاژ در روزهای موردنظر

دسترسی به برنامه‌ی ساعتی کارکرد پمپ‌ها برای اعمال در مدل هیدرولیکی به منظور مقایسه‌ی داده‌های سنسورها و مقادیر خروجی مدل هیدرولیکی ضروری می‌باشد. برای مدل حاضر برنامه‌ی ساعتی کارکرد پمپها از اداره آب و فاضلاب شهر زابل اخذ گردید. با توجه به نوسان مصرف در روزهای مختلف سال، این روش برای دو روز مختلف شامل یک روز در فصل تابستان (۱۸ شهریور ۱۳۹۹) و یک روز در فصل زمستان (۸ دی ماه ۱۳۹۹) اجرا گردید. برنامه کارکرد پمپ در روزهای انتخابی در جدول ۱ (۱۸ شهریور ۱۳۹۹) و جدول ۲ (۸ دی ماه ۱۳۹۹) نشان داده شده است.

جدول ۱- برنامه‌ی کارکرد پمپاژ در روز ۱۸ شهریور ۱۳۹۹(پمپ ۷ از نوع با دورمتغیر می‌باشد)

زمان (ساعت)	پمپ ۱	پمپ ۳	پمپ ۴	پمپ ۶	پمپ۷ (VSP)	پمپ ۹	پمپ ۱۰
1	0	0	1	1	0.79	0	1
2	0	0	1	1	0.00	0	1
3	0	0	1	1	0.00	0	1
4	0	0	1	1	0.00	0	1

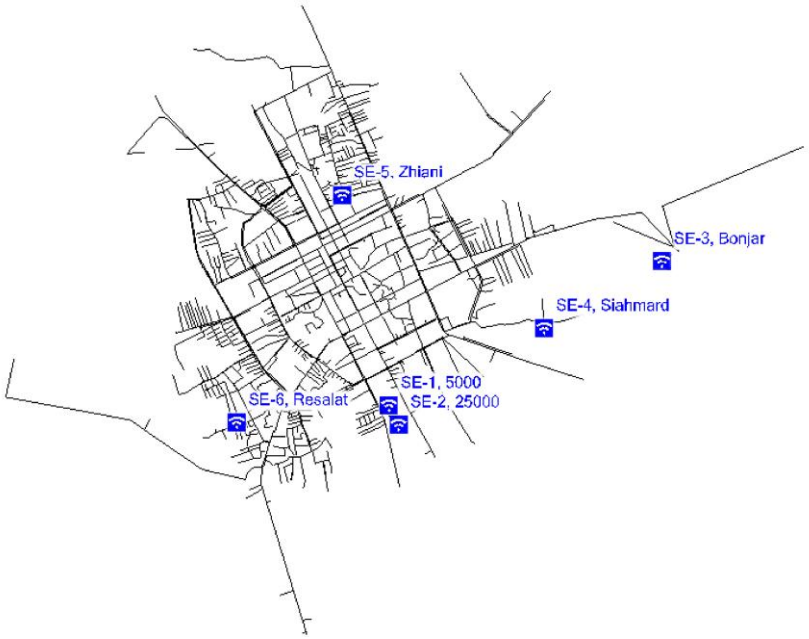
1	0	0.00	1	1	0	0	5
1	0	0.00	1	1	0	0	6
0	1	0.83	0	1	1	1	7
0	1	0.83	0	1	1	1	8
0	1	0.83	0	1	1	1	9
0	1	1.00	0	1	1	1	10
0	1	1.00	0	1	1	1	11
0	1	1.00	1	1	1	1	12
0	1	1.00	1	1	1	1	13
0	1	1.00	1	1	1	1	14
0	1	1.00	1	1	1	1	15
0	1	1.00	1	1	1	1	16
0	1	1.00	1	1	1	1	17
0	1	1.00	1	1	1	1	18
0	1	1.00	1	1	1	1	19
0	1	1.00	1	1	0	1	20
0	1	1.00	1	1	0	1	21
0	1	1.00	1	1	0	1	22
0	1	1.00	1	1	0	0	22.5
0	1	1.00	1	1	0	0	23
0	1	0.79	1	1	0	0	24

جدول ۲- برنامه‌ی کارکرد پمپاژ در روز ۸ دی ۱۳۹۹(پمپ ۷ از نوع با دورمتغیر می‌باشد)

پمپ ۱۰	پمپ ۷ (VSP)	پمپ ۴	پمپ ۱	زمان (ساعت)
1	0.00	1	0	1
1	0.78	0	0	2
1	0.78	0	0	3
1	0.78	0	0	4
1	0.78	0	0	5
1	0.78	0	1	6
1	0.78	0	1	7
1	0.62	1	1	8
1	0.62	1	1	9
1	0.83	1	1	9.5
1	0.83	1	1	11
1	1.00	1	1	12
1	1.00	1	1	13
1	0.83	1	1	14
1	0.83	1	1	15
1	0.69	1	1	16
1	0.55	1	1	17.5
1	0.55	1	1	18
1	0.55	1	1	19
1	0.55	1	1	20
1	0.76	1	0	20.5
1	0.76	1	0	21
1	0.76	1	0	22
1	0.00	1	0	23
1	0.00	1	0	24

۳.۲.سنسورهای فشارسنج

در شبکه توزیع آب شرب شهر زابل ۶ سنسور فشارسنج فعال وجود دارد که مقادیر اندازه‌گیر شده فشار را در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای به سرور اصلی ارسال می‌نمایند. علاوه بر این فشارسنج‌ها، از داده‌های فشارسنجهای نصب شده بر روی کلکتور خروجی ایستگاه‌های پمپاژ موجود در شبکه (۳ ایستگاه) نیز استفاده شده است. موقعیت این فشارسنج ها در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص می‌باشد، در نواحی مرکزی و شمالی شهر تعداد فشارسنجها کافی نمی‌باشد. داده‌های این سنسورها در بازه‌های ۳۰ دقیقه‌ای متوسط گیری گردید تا با داده‌های حاصل از شبکه قابل مقایسه باشند.



شکل ۲- محل قرارگیری سنسورهای فشار سنج در شبکه‌ی توزیع آب شهر زابل

۳.روش مورداستفاده

الگوریتم مورداستفاده برای اصلاح الگوی ساعتی مصرف در این پژوهش به شکل زیر قابل بیان می‌باشد:

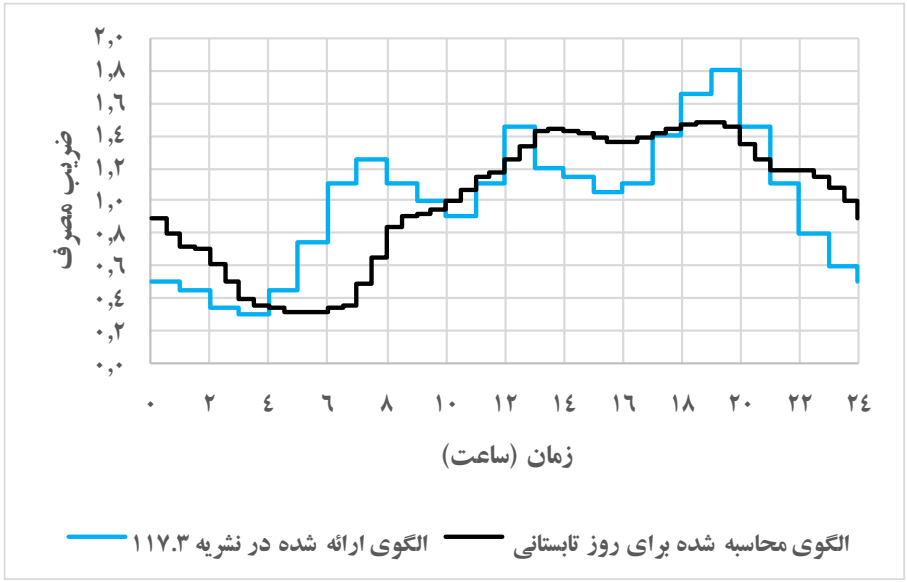
۱. خواندن فایل شبکه با فرمت inp و فراخوانی آن به عنوان ورودی در ابزار EPANET ؛
۲. اجرای شبیه‌سازی هیدرولیکی و محاسبه‌ی مقادیر فشار در نقاط موردنظر در شبکه؛
۳. خواندن اطلاعات سنسورها از فایل متنی؛
٤. محاسبه اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سنسورها و مقادیر مدلسازی شده در گره‌های دارای سنسور (تشکیل ماتریس deltas)؛
٥. محاسبه متوسط مقادیر اختلاف ها در هر گام زمانی و قرار دادن نتایج در ماتریس deltas_ave؛
٦. نرمالایز کردن داده‌های ماتریس deltas_ave با تقسیم کردن مقادیر بر ماکزیمم مطلق آن‌ها به منظور قرار گرفتن اعداد در بازه یک و منفی یک؛
۷. تقسیم کردن اختلاف ها بر یک عدد صحیح دلخواه به منظور کم کردن سرعت تغییرات و جلوگیری از واگرایی (در مدل از عدد ۳ استفاده شده است) و قرار دادن نتایج در ماتریس deltas_ave؛
۸. محاسبه‌ی ماتریس الگوی مصرف جدید با جمع deltas_ave و ماتریس الگوی مصرف فعلی در هر ساعت؛
۹. محاسبه میانگین متحرک ۳ دوره ای داده های مرحله‌ی قبل به منظور یکنواخت سازی الگو؛
۱۰. نرمالایز سازی الگوی جدید (به دلیل گام زمانی ۳۰ دقیقه‌ای، مجموع اعداد باید برابر ۴۸ گردد)؛
۱۱. اصلاح فایل مدل هیدرولیکی با فرمت inp به منظور ثبت الگوی جدید؛
۱۲. تکرار کل مراحل بالا (مدل حاضر با ۱۰ تکرار به جواب رسیده است).

۴.نتایج

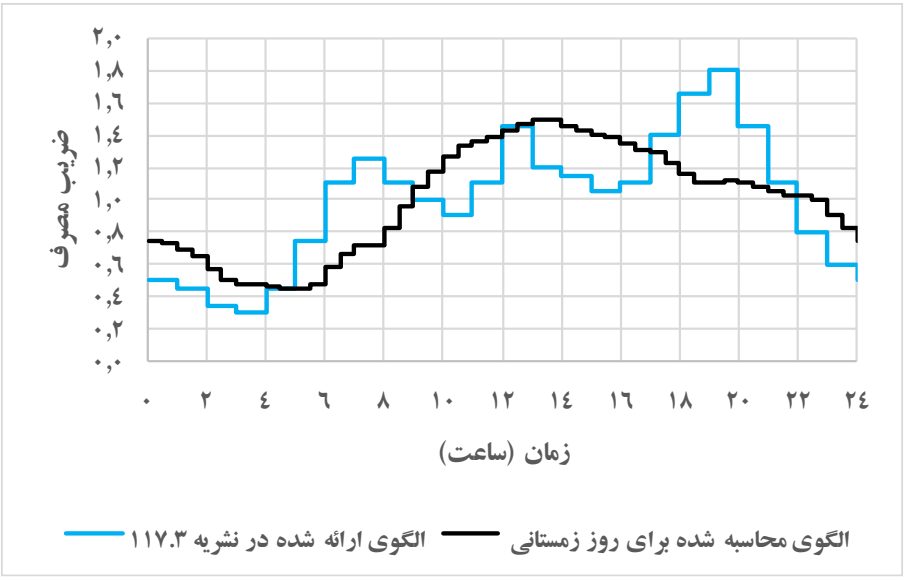
نتایج استفاده از الگوریتم تشریح شده در قسمت قبل در سه بخش ارائه شده است. ابتدا الگوهای ساعتی مصرف ارائه می‌شود، در ادامه پاسخ شبکه به الگوهای جدید ارائه شده و با نتایج قبلی مقایسه می‌گردد و نهایتا مقدار NRMSE برای الگوهای جدید ارائه می‌گردد.

۱.۴.الگوهای ساعتی مصرف

الگوهای ساعتی مصرف برای شبکه‌ی توزیع آب شرب شهر زابل با استفاده از روش ارائه شده تهیه گردید. این الگوها دارای فرمی منطقی می‌باشند و در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین الگوی ارائه شده توسط آیین‌نامه‌ی ۱۱۷.۳ نیز در همین شکل آورده شده است.



الف

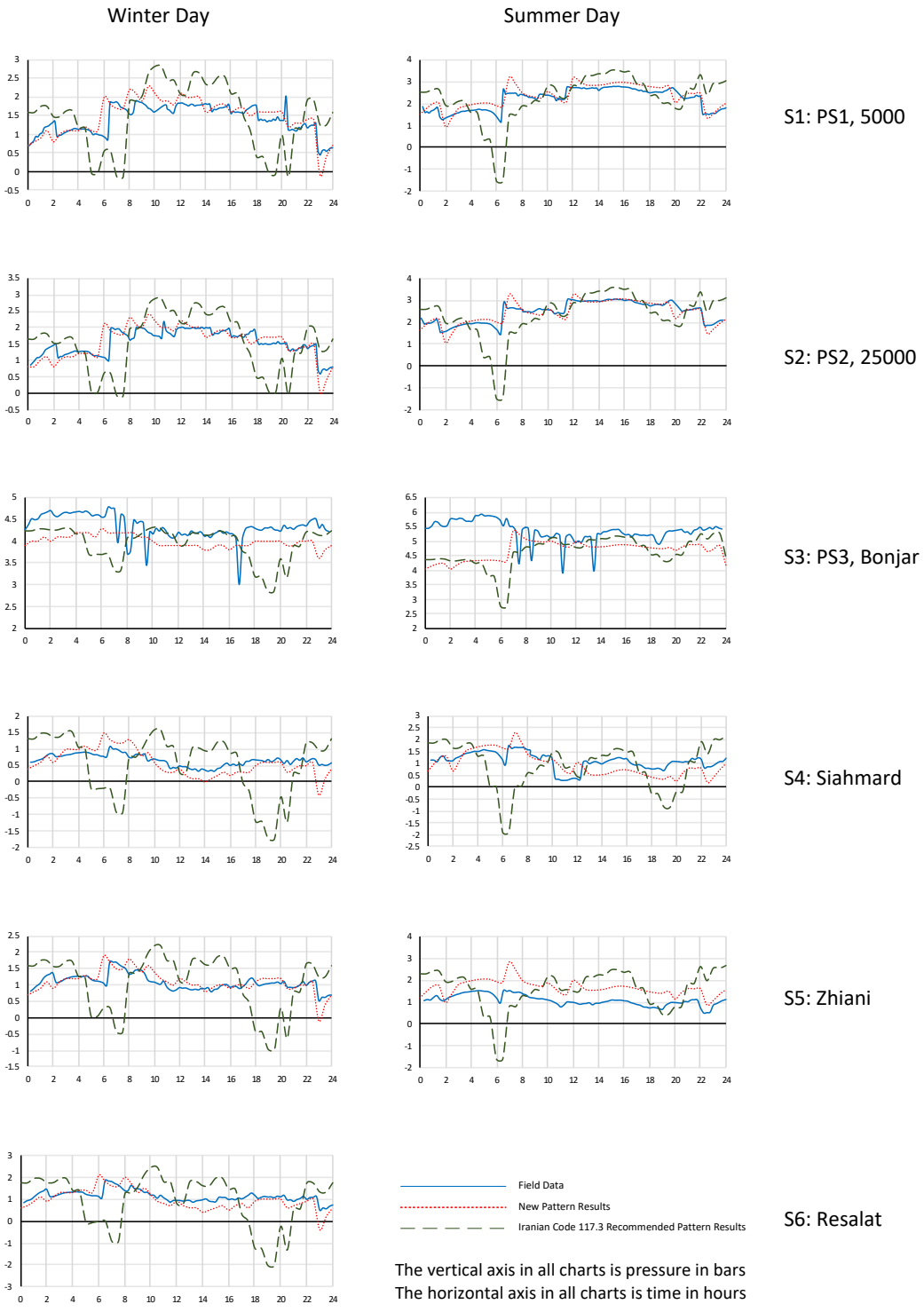


ب

شکل ۳- الگوهای ساعتی مصرف محاسبه شده، در مقایسه با الگوی ارائه شده در نشریه ۱۱۷.۳ [5]: الف) روز تابستانی، ب) روز زمستانی.

۲.۴.پاسخ شبکه

پاسخ شبکه به الگوهای ساعتی مصرف در ایستگاه‌های مختلف ثبت فشار شبکه در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها میزان انطباق فشار در ساعتهای مختلف با استفاده از الگوهای جدید کاملا مشهود می‌باشد.



شکل ٤- مقایسه‌ی فشار شبکه در گره‌های دارای فشارسنج در زمان شبیه‌سازی شده برای الگوهای مختلف

۳.۴.دقت الگوی مصرف ساعتی اصلاح شده

مقادیر نرمال‌شده‌ی خطای جذر میانگین مربعات (NRMSE) برای هر دو روز موردنظر محاسبه گردیده است. در مدل تابستانی میزان خطای جذر میانگین مربعات ۴۷.۲ درصد و در روز زمستانی ۶۷.۳ درصد کاهش یافت. مقادیر این خطا در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر این خطاها در ۶ گره از شبکه در روز زمستانی و ۵ گره در روز تابستانی محاسبه گردیده است. گام زمانی در این داده‌ها ۳۰ دقیقه می‌باشد.

جدول ۳- میزان خطای میانگین جذر مربعات برای الگوی اصلاح شده و استاندارد

	زمستان		تابستان	
پارامتر	الگوی استاندارد (نشریه ۱۱۷)	الگوی اصلاح شده (پژوهش حاضر)	الگوی استاندارد (نشریه ۱۱۷)	الگوی اصلاح شده (پژوهش حاضر)
RMSE	0.93	0.30	1.03	0.55
NRMSE	0.21	0.07	0.18	0.10

۵.نتیجه گیری

رویکرد مورد استفاده در این پژوهش باعث تدقیق الگوی ساعتی مصرف در شبکه توزیع آب شده است. با در دست داشتن مقادیر فشار اندازه‌گیری شده در شبکه در محل فشارسنجها می توان الگوی ساعتی مصرف را اصلاح (کالیبره) نموده و نتایج مدل هیدرولیکی را به واقعیت نزدیک نمود. روش پیشنهادی در این پژوهش می‌تواند به عنوان یک روش بازخوردی در شبکه‌های توزیع آب به منظور دستیابی به الگوهای ساعتی مصرف در بازه‌های زمانی موردنظر کوتاه‌مدت مدنظر قرار گیرد. این مدل را می‌توان برای یک دوره موردنظر به کار برد تا بتوان به مقادیر واقعی تر مصرف ساعتی در شبکه در روزهای مختلف و در فصول مختلف سال دست یافت

منابع

1. S. . Zhou, T. . McMahon, A. Walton, and J. Lewis, “Forecasting operational demand for an urban water supply zone,” *J. Hydrol.*, vol. 259, no. 1–4, pp. 189–202, Mar. 2002, doi: 10.1016/S0022-1694(01)00582-0.
2. M. Herrera, L. Torgo, J. Izquierdo, and R. Pérez-García, “Predictive models for forecasting hourly urban water demand,” *J. Hydrol.*, vol. 387, no. 1–2, pp. 141–150, 2010, doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.04.005.
3. A. Di Nardo, M. Di Natale, C. Gisonni, and M. Iervolino, “A genetic algorithm for demand pattern and leakage estimation in a water distribution network,” *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 64, no. 1, pp. 35–46, Feb. 2015, doi: 10.2166/aqua.2014.004.
4. T. Bergel, B. Szeląg, and O. Woyciechowska, “Influence of a season on hourly and daily variations in water demand patterns in a rural water supply line - Case study,” *J. Water L. Dev.*, vol. 34, no. 1, pp. 59–64, 2017, doi: 10.1515/jwld-2017-0038.

۵. امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور, *ضوابط طراحی سامانه های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، نشریه ۱۱۷.۳*. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، وزارت نیرو, ۱۳۹۲.