

Journal of Water and Wastewater, Vol. 31, No.3, pp: 154-160

# Field Examination of Volumetric and Pressure-Dependent Water Consumptions in Urban Water Distribution Networks (Case Study: Oshnaviyeh City)

A. Shirzad<sup>1</sup>, K. Rasoulinia<sup>2</sup>

1. Assist. Prof., Faculty of Civil Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran  
(Corresponding Author) a.shirzad@uut.ac.ir
2. MSc in Civil and Water Engineering, Expert of West Azarbaijan Water and Wastewater Authority, Oshnaviyeh, Iran

(Received Feb. 13, 2019 Accepted Nov. 27, 2019)

#### To cite this article:

Shirzad, A., Rasoulinia, K. 2020. "Field examination of volumetric and pressure-dependent water consumptions in urban water distribution networks (case study: Oshnaviyeh city)" Journal of Water and Wastewater, 31(3), 154-160. Doi: 10.22093/wwj.2019.171946.2830 (In Persian)

## Abstract

Hydraulic analysis methods of water distribution networks are divided into two types of demand driven simulation method (DDSM) and pressure driven simulation method (PDSM). In the DDSM analysis, it is assumed that nodal discharge is independent from nodal pressure and available discharge is always equal to demanded flow at consumption nodes. In PDSM analysis which results in much more realistic outputs than DDSM method, the assumption of nodal discharge independency from nodal pressure is rejected. In the recently proposed pressure-dependent relations, nodal discharge has been divided into two sections of volumetric and pressure-dependent discharges. In these relations, the exact contribution of volumetric and pressure-dependent discharges is not known and a portion of 50% has been considered for each of them. In the present study, by implementing field measurements, the portions of volumetric and pressure-dependent drinking water consumptions have been determined and the pressure-discharge relationship has been modified. Then, impact of the modification applied on pressure-discharge relationship on the output of PDSM model has been investigated. According to the obtained results, the considered portions for volumetric and pressure-dependent consumptions (50%) in previous pressure-discharge relations are inconsistent with reality. Using the modified pressure-discharge relation leads to increase in tank outlet discharge in the hydraulic model. Volumetric and pressure-dependent consumptions in cities like Oshnaviyeh can be considered approximately 13 and 87% of total drinking water consumption, respectively.

**Keywords:** Volumetric Consumptions, Pressure-Dependent Consumptions, Pressure-Discharge Relationship, Pressure Driven Simulation Method.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۱، شماره ۳، صفحه: ۱۶۰-۱۵۴

## بررسی میدانی مصارف آب حجمی و وابسته به فشار در شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی: شهر اشنویه)

اکبر شیرزاد<sup>۱</sup>، کامران رسولی نیا<sup>۲</sup>

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران  
a.shirzad@uut.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- کارشناس ارشد عمران- مهندسی آب، کارشناس شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی، اشنویه، ایران

(دریافت ۹۷/۱۱/۲۴ پذیرش ۹۸/۹/۶)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

شیرزاد، ا.، رسولی نیا، ک. ۱۳۹۹. "بررسی میدانی مصارف آب حجمی و وابسته به فشار در شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی: شهر اشنویه)" مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۳)، ۱۶۰-۱۵۴. Doi: 10.22093/wwj.2019.171946.2830

### چکیده

روش‌های تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب به دو نوع تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا (DDSM) و تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار (PDSM) تقسیم می‌شوند. در تحلیل DDSM فرض بر این است که دبی موجود در گره‌های مصرف، مستقل از فشار گرهی و همواره با دبی درخواستی در آنها برابر است. اما در تحلیل PDSM که نتایج بسیار واقعی‌تری نسبت به روش قبلی دارد، فرض استقلال بین دبی موجود و فشار در گره رد شده است. در جدیدترین روابط فشار-دبی استفاده شده در تحلیل PDSM، دبی گرهی به دو قسمت دبی حجمی و دبی وابسته به فشار تقسیم‌بندی شده است. در این روابط سهم دقیق دبی‌های حجمی و وابسته به فشار مشخص نیست و سهمی ۵۰ درصدی برای هر کدام از آنها در نظر گرفته شده است. در این پژوهش با انجام اندازه‌گیری‌های میدانی، میزان مصارف آب شرب حجمی و وابسته به فشار، تعیین و رابطه فشار-دبی اصلاح شد. سپس تأثیر اصلاح رابطه فشار-دبی در خروجی مدل تحلیل هیدرولیکی PDSM بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقدار سهم در نظر گرفته شده برای مصارف آب حجمی و وابسته به فشار در روابط فشار-دبی پیشین با واقعیت مطابقت ندارد. استفاده از رابطه فشار-دبی اصلاح شده منجر به افزایش کل دبی خروجی از مخزن در مدل هیدرولیکی می‌شود. در شهرهایی نظیر اشنویه، مصارف حجمی حدوداً ۱۳ درصد و مصارف وابسته به فشار حدوداً ۸۷ درصد مصرف کل آب شرب را تشکیل می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** مصارف حجمی، مصارف وابسته به فشار، رابطه فشار-دبی، تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار

### ۱- مقدمه

بیان‌کننده ارتباط بین دبی موجود و فشار در گره هستند، استفاده شده است (Tabesh, 1996, Tabesh et al., 2002). مصارف شهری با توجه به استانداردهای مختلف مانند استاندارد ۳-۱۱۷ (بازنگری اول) به بخش‌های متفاوتی مانند مصارف خانگی، صنعتی، عمومی و فضای سبز تفکیک و برای هر بخش مصرف استاندارد در نظر گرفته شده است. به بخشی از این مصارف مانند مصارف ماشین ظرف‌شویی و فلاش تانک

روش‌های شبیه‌سازی و تحلیل شبکه‌های توزیع آب به دو دسته تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا<sup>۱</sup> و تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. در تحلیل PDSM که نتایج بسیار واقعی‌تری نسبت به روش قبلی دارد، فرض استقلال بین دبی موجود و فشار در گره رد شده است و از روابطی که

<sup>1</sup> Demand Driven Simulation Method (DDSM)

<sup>2</sup> Pressure Driven Simulation Method (PDSM)



گرم و اندازه‌گیری مصارف آب در سه دوره دوماهه از اول آبان تا آخر فروردین اقدام شد.

برای اندازه‌گیری مصارف آب از کنتورهای مکانیکی سرد و گرم مولتی‌جت نیمه‌خشک با دقت اندازه‌گیری ۱۶۰ R (کلاس C) با سایز ۵/۰ اینچ به علت دقت قابل قبول آن‌ها استفاده شد. این کنتورها که مطابق با استاندارد OIML طراحی و تولید شده‌اند، با دبی استارت بسیار کم (حدود ۴ تا ۶ لیتر در ساعت) افت فشار بسیار کمی در مقابل جریان آب ایجاد می‌کنند.

پس از اندازه‌گیری میدانی مصارف حجمی و وابسته به فشار، رابطه فشار-دبی ارائه شده توسط Shirzad et al., 2013 مدنظر قرار گرفت و اصلاح شد. طبق این رابطه به ازای فشارهای بیشتر از ۳۰ متر بخشی از دبی قابل برداشت به صورت حجمی است و ثابت باقی می‌ماند و بخش دیگر به صورت وابسته به فشار است و با افزایش فشار، افزایش می‌یابد و پس از رسیدن فشار به ۱۰۰ متر، کل دبی خروجی به صورت حجمی است و ثابت باقی می‌ماند.

برای بررسی تأثیر سهم مصارف حجمی و وابسته به فشار در نظر گرفته شده در رابطه فشار-دبی اصلاح شده در نتایج تحلیل PDSM، از یک شبکه نمونه چهارحلقه‌ای متصل به یک مخزن مانند شکل ۱ استفاده شد. طول هر کدام از لوله‌های این شبکه ۱۰۰۰ متر و ضریب زبری هیزن-ویلیامز<sup>۱</sup> آن‌ها ۱۳۰ بود. ارتفاع گره‌های مصرف برابر با صفر و ارتفاع گره مخزن برابر با ۱۰۰ متر بود.

### ۳- نتایج و بحث

واحدهای مسکونی انتخابی دارای بعد خانوار ۳ و ۴ نفره بودند. کنتورهای حجمی در تک تک نقاط مصرف، یعنی ورودی ظرف شویی، ماشین لباس شویی، حمام، توالت و دست‌شویی نصب شد. مقدار اندازه‌گیری شده با کنتورهای حجمی در سه دوره دو ماهه در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۱، مجموع مصارف ماشین لباس شویی، کولر و تهویه مطبوع و ۵۰ درصد مصرف توالت و دست‌شویی به عنوان مصارف حجمی و بقیه مصارف به عنوان مصارف وابسته به فشار در نظر گرفته شد. با توجه به وجود فلاش‌تانک در توالت و مستقل بودن مصرف آن از فشار، ۵۰ درصد مصرف آب در توالت و

دست‌شویی که دارای حجم مشخصی بوده و پس از تأمین حجم مورد نیاز، دیگر آب اضافی از شبکه خارج نمی‌شود، مصارف حجمی گفته می‌شود. بخش دیگر از مصارف شهری مانند مصارف آبیاری فضای سبز و حمام که با زیاد شدن فشار افزایش می‌یابند، مصارف وابسته به فشار نامیده می‌شوند (Tabesh et al., 2014, Tabesh, 2016).

در طول دهه‌های گذشته همواره سعی پژوهشگران مختلف بر ارائه معادلاتی بوده که در برگیرنده ارتباط بین دبی موجود و فشار گرهی باشند. از مهم‌ترین این معادلات می‌توان به روابط ارائه شده توسط Shirzad et al., 1988, Wagner et al., 2009, Arefkhani و Shirzad et al., 2013 اشاره نمود. در برخی از این روابط فشار-دبی، مصارف حجمی و وابسته به فشار نیز مورد توجه قرار گرفته است، به طوری که ۵۰ درصد مصارف آب به صورت حجمی و ۵۰ درصد بقیه آن به صورت وابسته به فشار فرض شده است. در این پژوهش با مطالعه میدانی مصارف آب شرب خانگی، اقدام به تعیین سهم مصارف حجمی و وابسته به فشار و اصلاح روابط فشار-دبی شد. همچنین میزان تأثیر ناشی از این اصلاح در نتایج تحلیل هیدرولیکی PDSM بررسی شد. بر این اساس، نوآوری این پژوهش عبارت است از تعیین سهم مصارف آب حجمی و وابسته به فشار در شبکه توزیع آب مورد مطالعه که در نتیجه روابط فشار-دبی موجود اصلاح شده و میزان تغییر نتایج خروجی مدل تحلیل هیدرولیکی PDSM در اثر افزایش دقت رابطه فشار-دبی مشخص شده است.

### ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، دو واحد مسکونی ویلایی با بعد خانوار متفاوت در شهر اشنویه واقع در جنوب غربی استان آذربایجان غربی برای اندازه‌گیری‌های میدانی مصارف حجمی و وابسته به فشار انتخاب شدند. شهر اشنویه در گستره جغرافیایی با ارتفاع متغیر در بازه ۱۳۲۹ متر تا ۱۵۱۱ متر از سطح دریا واقع شده است و پستی و بلندی زیادی در آن وجود دارد. حداقل و حداکثر فشار هیدرولیکی در طول شبانه روز در محل یکی از واحدهای مسکونی مورد مطالعه به ترتیب ۴۳ و ۶۱ متر ستون آب و در محل واحد مسکونی دیگر ۱۰ و ۶۸ متر ستون آب بود. در بخش‌های مختلف لوله‌کشی آب واحدهای مسکونی انتخابی، نسبت به نصب کنتورهای آب سرد و

<sup>1</sup> Hazen-williams coefficient



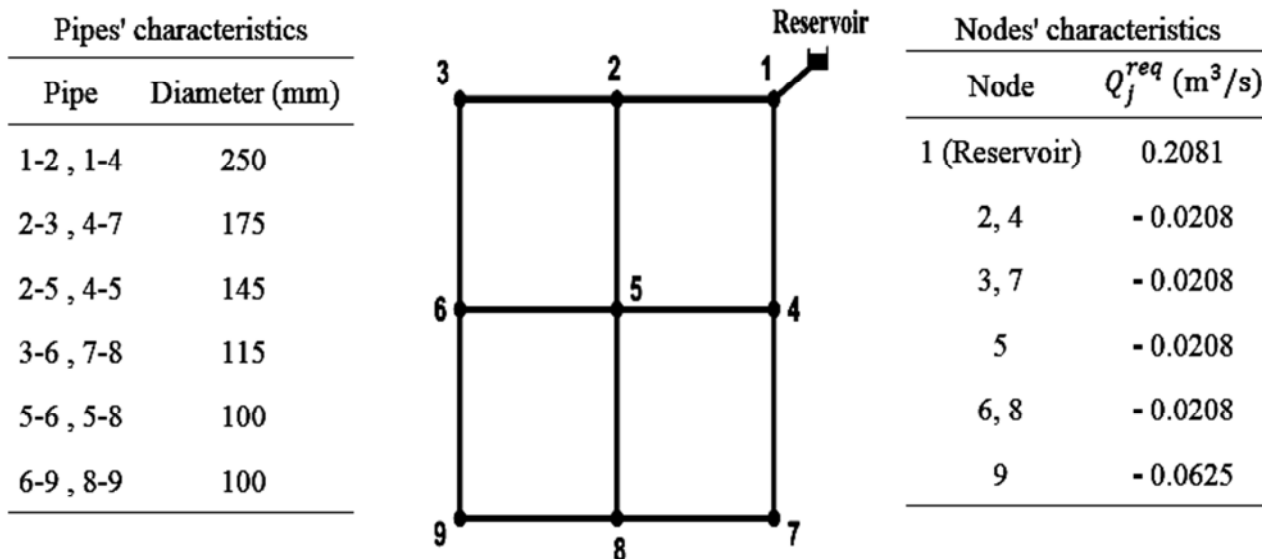


Fig. 1. Structure of sample network (Tabesh, 1998)  
 شکل ۱- ساختار شبکه نمونه (Tabesh, 1998)

جدول ۱- مصارف آب در سه دوره دوماهه

Table 1. Water consumption in three bimonthly time periods

Residential unit	Time period	Water consumption	Dishwashing	Washing machine	Toilet	Bathroom
Building 1	2017-10-23 to 2017-12-21	m <sup>3</sup>	6.36	1.52	4.11	14.24
		(%)	23.27	5.56	1.044	52.10
	2017-12-22 to 2018-02-19	m <sup>3</sup>	5.22	1.37	3.59	13.62
		(%)	17.50	4.59	1.03	45.66
	2018-02-20 to 2018-04-19	m <sup>3</sup>	6.12	0.64	5.32	13.71
		(%)	21.91	2.29	1.05	49.09
Building 2	2017-10-23 to 2017-12-21	m <sup>3</sup>	8.47	1.78	3.90	18.68
		(%)	22.81	4.79	1.50	50.31
	2017-12-22 to 2018-02-19	m <sup>3</sup>	6.26	2.10	4.38	14.71
		(%)	17.66	5.93	1.36	41.51
	2018-02-20 to 2018-04-19	m <sup>3</sup>	8.92	1.31	3.10	15.16



ادامه جدول ۱- مصارف آب در سه دوره دوماهه  
Cont. table 1. Water consumption in three bimonthly time periods

Residential unit	Dishwasher	Yard washing	Cooler and air conditioner	Sum	Portion of volumetric consumptions (%)	Portion of pressure-dependent consumptions (%)
Building 1	-	0.47	0.63	27.33	15.39	84.61
	-	1.72	2.31	100		
	-	5.40	0.63	29.83		
	-	18.10	2.11	100		
	-	1.51	0.63	27.93		
Building 2	-	5.41	2.26	100	14.07	85.93
	-	3.46	0.84	37.13		
	-	9.32	2.26	100		
	-	7.15	0.84	35.44		
	-	20.17	2.37	100		
	-	5.61	0.84	34.94	10.59	89.41

برای مقایسه دو روش PDSM و DDSM، شبکه نمونه با هر دو روش آنالیز شد که نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است. در آنالیز شبکه به روش DDSM، مشاهده شد که در گره‌های ۶، ۸ و ۹ فشارها از حداقل فشار مجاز کمتر است و در نتیجه با این مقدار فشار، تقاضاهای لازم در گره‌ها به‌طور کامل ارضا نمی‌شود. روش DDSM قادر به نشان دادن این موضوع نیست، زیرا در این روش تقاضاهای گرهی همیشه ثابت و همیا در نظر گرفته می‌شود. در آنالیز شبکه به روش PDSM، نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که در گره ۹ که دورترین گره از مخزن بوده و گره بحرانی است، نظر به اینکه فشار این گره از حداقل فشار مورد نیاز (۳۰ متر) کمتر است، با توجه به رابطه فشار-دبی گرهی فقط قسمتی از جریان مورد نیاز آن فراهم می‌شود.

طبق جدول ۲، میزان کل دبی خروجی از مخزن، در حالت استفاده از رابطه فشار-دبی Shirzad et al., 2013 افزایش یافت. علت این امر، وجود فشار بیشتر از حداقل مقدار مورد نیاز در گره‌های شبکه به‌جز گره شماره ۹ است. همچنین فشار در تمامی گره‌ها در حالت استفاده از رابطه Shirzad et al., 2013 نسبت به استفاده از رابطه Wagner et al., 1988 کاهش یافت، که علت آن دبی اضافی خروجی از این گره‌ها به‌علت وجود فشار بیش از مقدار مورد نیاز است. نکته دیگری که در جدول ۲ به چشم می‌خورد، این است که در حالت استفاده از رابطه Shirzad et al., 2013، هنگامی که فشار در گره‌ها از حداقل فشار مورد نیاز بیشتر

دست‌شویی به‌عنوان مصرف حجمی در نظر گرفته شد. همچنین به‌علت مصادف شدن اندازه‌گیری‌ها با فصول پاییز و بهار و عدم استفاده از کولر و تهویه مطبوع، امکان اندازه‌گیری مصرف آب توسط کولر و تهویه مطبوع میسر نبود. لذا برای مصرف آب در کولر و تهویه مطبوع با توجه به آب و هوای معتدل شهر اشنویه، مقدار ۳/۵ لیتر در شبانه روز به ازای هر نفر در نظر گرفته شد. در نهایت با میانگین‌گیری از مصارف اندازه‌گیری شده در سه دوره متوالی، متوسط درصد مصارف حجمی برابر با ۱۳/۳ و درصد مصارف وابسته به فشار برابر ۸۶/۷ به‌دست آمد. با لحاظ نمودن این مقادیر در رابطه فشار-دبی ارائه شده توسط Shirzad et al., 2013، رابطه فشار-دبی اصلاح شد و برای استفاده در مدل‌های تحلیل هیدرولیکی PDSM به‌صورت معادله ۱ ارائه شد

(۱)

$$Q_j^{avl} = \begin{cases} 0 & \text{if } P_j \leq 0 \\ 0.176 (Q_j^{req} \times P_j^{0.51}) & \text{if } 0 < P_j \leq 30 \text{ m} \\ Q_j^{req} (0.133 + 0.153 P_j^{0.51}) & \text{if } 30 < P_j \leq 100 \text{ m} \\ 1.735 Q_j^{req} & \text{if } P_j > 100 \text{ m} \end{cases}$$

که در آن

$P_j$  فشار در گره زام،  $Q_j^{avl}$  دبی موجود در گره زام و  $Q_j^{req}$  دبی مورد نیاز در گره زام است.



جدول ۲- مقایسه نتایج تحلیل DDSM و PDSM با استفاده از روابط فشار-دبی مختلف

Table 2. Comparison of DDSM and PDSM analysis results considering different pressure-discharge relations

Node	$Q_j^{req}$ ( $m^3/s$ )	PDSM analysis using the Wagner et al., 1988 relation				PDSM analysis using the Shirzad et al., 2013 relation			PDSM analysis using the pressure-discharge relation modified in this paper		
		$P_j$ (m)	$Q_j^{avl}$ ( $m^3/s$ )	$P_j$ (m)	$Q_j^{avl}$ ( $m^3/s$ )	$P_j$ (m)	$Q_j^{avl}$ ( $m^3/s$ )	$Q_j^{extra}$ (L/s)	$P_j$ (m)	$Q_j^{avl}$ ( $m^3/s$ )	$Q_j^{extra}$ (L/s)
1 (Reservoir)	0.2081	-	0.2081	-	0.1718	-	0.1993	-	-	0.2152	-
2, 4	-0.0208	83.19	-0.0208	88.21	-0.0208	84.46	-0.0280	-7.2	82.06	-0.0329	-12.1
3, 7	-0.0208	57.14	-0.0208	71.38	-0.0208	64.17	-0.0257	-4.9	59.99	-0.0284	-7.6
5	-0.0208	56.82	-0.0208	72.01	-0.0208	65.37	-0.0259	-5.1	61.49	-0.0288	-8
6, 8	-0.0208	-20.25	-0.0208	36.73	-0.0208	31.37	-0.0210	-0.2	29.15	-0.0205	-
9	-0.0625	-177.46	-0.0625	5.28	-0.0262	4.61	-0.0240	-	4.27	-0.0231	-
Excessive water usage (water loss)	-	-	zero	-	-	-	-	-29.7	-	-	-47.4

## ۴- نتیجه‌گیری

بر اساس مقدار اندازه‌گیری شده توسط کنتورهای حجمی نصب شده در منازل مسکونی واقع در شهر اشنویه در سه دوره دو ماهه متوالی، مشخص شد که مقدار سهم در نظر گرفته شده برای مصارف آب حجمی و وابسته به فشار در روابط فشار-دبی پیشین با واقعیت مطابقت ندارد. به‌طور خلاصه نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- در شهرهایی نظیر اشنویه، مصارف حجمی حدوداً ۱۳ درصد و مصارف وابسته به فشار، حدوداً ۸۷ درصد مصرف کل آب شرب را تشکیل می‌دهند.

- بر اساس مقدار اندازه‌گیری شده و با تعیین متوسط درصد مصارف حجمی و وابسته به فشار و با لحاظ نمودن این مقدار در رابطه فشار-دبی ارائه شده توسط Shirzad et al., 2013، این رابطه اصلاح شد و دقت آن افزایش یافت.

- در حالت استفاده از رابطه فشار-دبی اصلاح شده در مدل هیدرولیکی، کل دبی خروجی از مخزن افزایش می‌یابد که به معنی مصرف اضافی آب، مازاد بر نیاز مشترکان است. در واقع به‌علت وجود فشار مازاد بر حداقل فشار مورد نیاز در تعدادی از گره‌ها،

می‌شود، مقدار دبی خروجی از گره‌ها نیز به بیش از میزان تقاضای آنها ( $Q_j^{req}$ ) افزایش می‌یابد. این مقدار دبی اضافی خروجی، در حقیقت مورد نیاز مصرف‌کننده نبوده و به‌صورت تلفات آب از شبکه خارج می‌شود، در حالی که این مسئله در هنگام استفاده از رابطه Wagner et al., 1988 نادیده گرفته شده است.

طبق جدول ۲، در حالت استفاده از رابطه فشار-دبی اصلاح شده نیز کل دبی خروجی از مخزن افزایش یافت که به معنی مصرف اضافی آب، مازاد بر نیاز مشترکان است. در حالت استفاده از رابطه فشار-دبی اصلاح شده، مصارف آب مازاد بر نیاز ۶۰ درصد نسبت به حالت استفاده از رابطه Shirzad et al., 2013 افزایش می‌یابد که این امر ناشی از بیشتر بودن سهم مصارف وابسته به فشار در رابطه فشار-دبی اصلاح شده است. همچنین در حالت استفاده از رابطه فشار-دبی اصلاح شده، فشارهای گرهی کاهش یافته است، زیرا در این حالت به‌علت زیاد بودن میزان مصارف گرهی، دبی جریان و به تبع آن افت فشار در لوله‌ها افزایش و در نتیجه فشارهای گرهی کاهش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود تعیین دقیق سهم مصارف حجمی و وابسته به فشار و اعمال آن‌ها در روابط فشار-دبی و اصلاح این روابط می‌تواند نتایج تحلیل هیدرولیکی PDSM را به میزان قابل توجهی متأثر سازد.



پژوهش گسترده نبود. علی‌رغم این موضوع، نتایج حاصل از این پژوهش لزوم بررسی و انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه را آشکار می‌سازد. لذا در پژوهش‌های آتی و در صورت حمایت شرکت‌های آب و فاضلاب، با نصب ابزارهای اندازه‌گیری کافی در تعداد زیادی از مشترکان خانگی، عمومی و تجاری در شهرهای مختلف با فرهنگ‌های متفاوت می‌توان مقدار دقیق مصارف حجمی و وابسته به فشار را تعیین نمود.

مصرف ناخواسته در این گره‌ها رخ داده و به نوعی هدررفت آب اتفاق می‌افتد.

با توجه به اینکه نصب کنتورهای آب و اندازه‌گیری مصارف آب شرب به صورت تفکیک شده یک فرایند بسیار چالش برانگیز است، زیرا نیازمند کسب رضایت مشترکان برای نصب کنتورها در بخش‌های مختلف ساختمان‌ها و اعمال تغییرات احتمالی در لوله‌کشی آن‌ها است، از این‌رو اندازه‌گیری‌های انجام شده در این

## References

- Arefkhani, V. 2009. Head driven simulation of water distribution systems using gradient method. MSc. Thesis, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
- Shirzad, A., Tabesh, M., Farmani, R. & Mohammadi, M. 2013. Pressure-discharge relations with application in head driven simulation of water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(6), 660-670.
- Tabesh, M. 1996. Comparison of methods for predicting deficient-network performance. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(3), 214-217.
- Tabesh, M. 1998. Implications of the pressure dependency of outflows on data management, mathematical modeling and reliability assessment of water distribution systems. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Liverpool, England.
- Tabesh, M. 2016. *Advanced modeling of water distribution networks*, 1<sup>st</sup> Ed., Tehran University Press, Tehran, Iran. (In Persian)
- Tabesh, M., Shirzad, A., Arefkhani, V. & Mani, A. 2014. A comparative study between modified and available EPANET-based models for head driven analysis of water distribution networks. *Urban Water Journal*, 11(3), 221-230.
- Tabesh, M., Tanyimboh, T.T. & Burrows, R. 2002. Head driven simulation of water supply networks. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 15(1), 11-22.
- Wagner, J.M., Shamir, U. & Marks, D.H. 1988. Water distribution reliability: simulation methods. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(3), 276-294.

