



شرکت آب و فاضلاب کوزر پردیس بین‌المللی شهید باهنر

# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



## شناسایی محل نشت در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از دبی سنج

سپیده ابراهیمی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید

بهشتی

[Sepidehebrahimi23@gmail.com](mailto:Sepidehebrahimi23@gmail.com)

محمدرضا جلیلی قاضی زاده

عضو هیات علمی دانشکده عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی

[m\\_jalili@sbu.ac.ir](mailto:m_jalili@sbu.ac.ir)

### خلاصه

نشت در شبکه‌های توزیع آب سهم قابل توجهی از آب بدون درآمد را به خود اختصاص می‌دهد. روش‌های مختلفی برای یافتن محل نشت در شبکه‌های توزیع آب پیشنهاد شده در این مقاله شاخص و روشی جدیدی مبتنی بر دبی سنجی شبکه ارائه شده است. مبنی این روش تفاوت دبی عبوری اندازه‌گیری شده در لوله در شبکه بانشت که دارای نشت است با دبی عبوری از لوله در حالتی که نشت در شبکه وجود ندارد می‌باشد. مقدار اخیر با استفاده از مدل شبیه‌سازی تعیین می‌شود. شاخص پیشنهادی برای همه لوله‌های شبکه مورد مطالعه محاسبه شده که برای لوله‌ای که نشت در آن اتفاق افتاده است دارای کمتر مقدار انحراف از مقدار ایده‌آل می‌باشد. نتایج این مقاله می‌تواند به یافتن لوله‌های مشکوک به نشت در شبکه‌های توزیع آب کمک کند.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، دبی سنج، شناسایی نشت

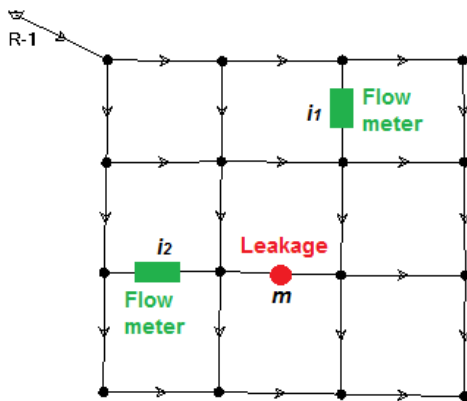
### ۱- مقدمه

آب بدون درآمد به تفاوت میان مقدار آب تولیدی و مقدار آبی که برای آن قبض صادر شده است گفته می‌شود که شامل هدررفت واقعی، ظاهری و مصارف مجاز بدون درآمد می‌باشد. هدررفت واقعی بخشی از آب تولیدی است که در اثر بروز نشت در خط انتقال، شبکه توزیع آب و تلفات مخازن نگهداشت آب از سامانه آبرسانی خارج شده و برای تولیدکنندگان آب نیز دارای درآمد نمی‌باشد.

نشت در شبکه توزیع آب سبب هدررفت سرمایه و ممکن است ایجاد مشکلات کیفیت آب را سبب شود. در سال‌های اخیر مجامع علمی روش‌های متعددی برای شناسایی نشت ارائه کرده‌اند از جمله این روش‌ها، روش‌های مدل‌سازی برای پیش‌بینی شکستگی‌ها و تعیین هدررفت می‌باشند. این روش‌ها به نوع شکستگی، پیچیدگی شبکه و قابلیت دسترسی و اعتمادپذیری داده‌های مرتبط با شبکه وابسته است [۱]. تیموری و همکاران (۱۳۹۴) از کالیبراسیون فشار و مکان‌یابی نشت با استفاده از تغییر دبی گره‌ها به منظور کاهش اختلاف بین مقادیر فشار مشاهده‌ای و محاسباتی توسط مدل هیدرولیکی استفاده کرده‌اند [۲]. عسگری و مغربی (۲۰۱۶) با استفاده از فشارهای گره‌ای، روشی جهت پیش‌بینی نقاط دارای نشت در شبکه ارائه کردند [۳]. بوستانی و خداشناس (۱۳۹۴) رابطه نشت با تغییرات فشار در گره‌ها را بر مبنای واسنجی فشار در گره‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند [۴]. نصیریان و مغربی (۱۳۹۳) روشی بر پایه نشت فرضی و یافتن این نشت توسط نقاط مختلف فشارسنج به روش کلونی مورچه‌ها ارائه داده‌اند [۵]. در برخی پژوهش‌ها به کارگیری دبی‌سنج‌های حساس در نقاط کنترل و بررسی اثر جریان عبوری برای بررسی اثر نشت مطرح شده است. [۶ و ۷]. در سال‌های اخیر روش‌های متداول به منظور شناسایی شکست و مکان‌یابی نشت بهره‌گرفتن از شیوه‌های پایش دبی‌گذرنده از لوله به همراه روش‌های عملی برای دسترسی به محل نشت می‌باشد، بررسی تغییرات دبی لوله‌ها در زمان‌های شب (تحلیل جریان شبانه) صورت می‌گیرد [۸]. در روش‌های عملی شناسایی نشت، تجهیزات سخت‌افزاری و حسگرهای تشخیص صدا به کار برده می‌شود [۹]. رویکرد تحلیل فشار و یا دبی دریافتی از فشارسنج‌ها و دبی‌سنج‌ها در نقاطی معین از شبکه توزیع آب و روند تغییرات آن‌ها از مقادیر معمول فشار و دبی در شبکه به سبب شکستگی، در تشخیص محل نشت استفاده می‌شود [۱۰ و ۱۱]. در تحقیق حاضر شاخص جدیدی مبتنی بر دبی‌گذرنده از لوله ارائه شده است که بر مبنای اختلاف دبی در شرایط وجود و عدم وجود نشت در شبکه می‌باشد.

### ۲- شاخص پیشنهادی نشت

شبکه توزیع آب در شرایط بدون نشت دارای مقادیر فشار و دبی معلومی است که در صورت بروز نارسایی یا نشت این پارامترها دچار تغییر می‌شوند. بررسی روند تغییر پارامترهای هیدرولیکی می‌تواند به مکان‌یابی نشت منجر شود. در این مطالعه تغییرات دبی‌گذرنده از لوله بر اثر بروز نشت مورد بررسی قرار گرفته، به صورتی که با داشتن مقادیر دبی آب در تعدادی از لوله‌ها و استفاده از مدل (منظور همان مدل شبیه‌سازی WaterGEMS می‌باشد) موقعیت نشت در شبکه را بتوان شناسایی کرد.



شکل ۱: شبکه آبرسانی



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب



1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

در این شبکه مطابق شکل ۱ در یکی از لوله‌ها نشت وجود دارد که از محل نشت اطلاع نداشته و بدنبال یافتن محل آن بوده، همچنین فرض شده در این شبکه دو دبی سنچ در لوله‌های شماره  $i_1$  و  $i_2$  نصب شده است. به دو گره ابتدایی و انتهایی لوله  $m$  علاوه بر برداشت دبی مصرف، نیمی از دبی نشت نیز اعمال می‌گردد. شبکه با شرایط بارگذاری مذکور، مدل دارای نشت بوده که اندازه‌گیری در آن صورت می‌گیرد (Measurement Leakage) و تنها دبی‌های گذرنده از لوله‌های مجهز به دبی سنچ آن معلوم می‌باشند. با توجه به عدم اطلاع از محل نشت در مدل بانشت، فرض می‌شود ممکن است نشت در هر یک از لوله‌های شبکه وجود داشته باشد لذا با استفاده از مدل، دبی نشت برای تمامی لوله‌های شبکه به ترتیب اعمال می‌شود. بدین ترتیب به تعداد لوله‌های شبکه، مدل ساخته می‌شود و در هر یک از این مدل‌ها، دبی برداشت در دو گره ابتدای و انتهایی لوله نشت فرضی برابر نیمی از دبی نشت و دبی کامل مصرف اختصاص می‌یابد در حالی که دبی برداشت در سایر گره‌ها برابر فقط برابر با دبی مصرف می‌باشد. برای هر یک از این مدل‌ها، تمام اطلاعات از جمله دبی‌های گذرنده از لوله‌ها در دسترس خواهد بود. همچنین شبکه بدون نشت که فقط یک حالت دارد نیز مدل‌سازی شده و لذا دبی تمامی لوله‌ها در حالت بدون نشت نیز در دسترس خواهد بود. اختلاف دبی در لوله در مدل دارای نشت اندازه‌گیری شده مطابق معادله ۱ تعریف می‌شود:

$$\Delta Q_i^{ML} = Q_i^{ML} - Q_i^{nL} \quad (i=1:n) \quad (1)$$

که در آن:  $i$  شماره لوله مجهز به دبی سنچ،  $n$  تعداد کل لوله‌های مجهز به دبی سنچ،  $j$  شماره لوله دارای نشت فرضی در مدل،  $Q_i^{nL}$  دبی گذرنده از لوله  $i$  در حالت عدم وجود نشت در شبکه (nL مخفف non Leakage می‌باشد)، پارامتر مذکور ماتریسی است دارای یک ستون و تعداد سطرها برابر تعداد لوله‌های مجهز به دبی سنچ،  $Q_i^{ML}$  دبی اندازه‌گیری شده از لوله  $i$  (لوله دبی سنچ) در شرایط دارای نشت (M مخفف Measurement و L مخفف Leakage می‌باشد)، پارامتر مذکور ماتریسی است دارای یک ستون و تعداد سطرها برابر تعداد لوله‌های مجهز به دبی سنچ،  $\Delta Q_i^{ML}$  اختلاف دبی گذرنده از لوله  $i$  (لوله دبی سنچ) بین مدل بدون نشت و مقدار اندازه‌گیری شده و پارامتر مذکور ماتریسی است با تعداد سطر برابر با تعداد لوله‌های دبی سنچ و یک ستون.

و تغییرات دبی در شرایطی که تمام لوله‌ها به ترتیب اعمال شود، مطابق معادله ۲ تعریف می‌شود:

$$\Delta Q_{i,j}^{SL} = Q_{i,j}^{SL} - Q_i^{nL} \quad (i=1:n, j=1:m) \quad (2)$$

که در آن:  $m$  تعداد کل لوله‌های شبکه،  $Q_{i,j}^{SL}$  دبی گذرنده از لوله  $i$  (لوله دبی سنچ) که از مدل (شبیه‌سازی) بدست آمده است در حالتی که نشت در لوله شماره  $j$  قرار گرفته باشد (S مخفف Simulation و L مخفف Leakage می‌باشد)، پارامتر مذکور ماتریسی است با تعداد ستون برابر با تعداد کل لوله‌ها شبکه و تعداد سطرها برابر تعداد لوله‌های مجهز به دبی سنچ،  $\Delta Q_{i,j}^{SL}$  اختلاف دبی گذرنده از لوله  $i$  (لوله دبی سنچ) بین مدل بدون نشت و مدلی که نشت در آن اعمال شده زمانی که نشت در لوله  $j$  قرار دارد و پارامتر مذکور ماتریسی است با تعداد سطرها برابر با تعداد لوله‌های دبی سنچ و تعداد ستون‌هایی برابر با تعداد کل لوله‌های شبکه.

شاخص نشت برای هر لوله مجهز به دبی سنچ مطابق معادله ۳ تعریف می شود.

$$Index_{i,j} = \frac{\Delta Q_i^{ML}}{\Delta Q_{i,j}^{SL}} \quad (i=1:n, j=1:m) \quad (3)$$

شاخص نشت ماتریسی است که تعداد ردیف های آن برابر با تعداد لوله های مجهز به دبی سنچ بوده و تعداد ستون های آن برابر با تعداد کل لوله های شبکه می باشد. هر چه شاخص نشت به عدد یک نزدیک باشد محل فرضی برای نشت در لوله  $j$  به محل واقعی نشت نزدیک بوده و هر چه از عدد یک منحرف شود یعنی از محل واقعی نشت دور شده است.

به منظور شناسایی محل نشت، تابع نشت مطابق معادله ۴ معرفی شده است:

$$f_j = \sum_{i=1}^n (|Index_{i,j}^0 - 1|) \quad (i=1:n, j=1:m) \quad (4)$$

تابع نشت برای نشت فرضی در تمام لوله های شبکه محاسبه می گردد، ماتریسی است که یک ردیف و تعداد ستون های برابر با کل لوله های شبکه دارد. در صورت تطابق شماره لوله نشتی در شرایط اندازه گیری شده با شماره لوله نشتی فرضی در مدل مقدار تابع نشت در کمینه مقدار خود قرار می گیرد. هدف تعیین عضو کمینه در ماتریس  $f_j$  است، به عبارتی شماره عضو کمینه، شماره لوله ای است که نشت در آن محل است. بنابراین تابع هدف (F) مطابق معادله ۵، کمینه شدن تابع نشت تعریف می شود.

$$F = \min(f_j) \quad (j=1:m) \quad (5)$$

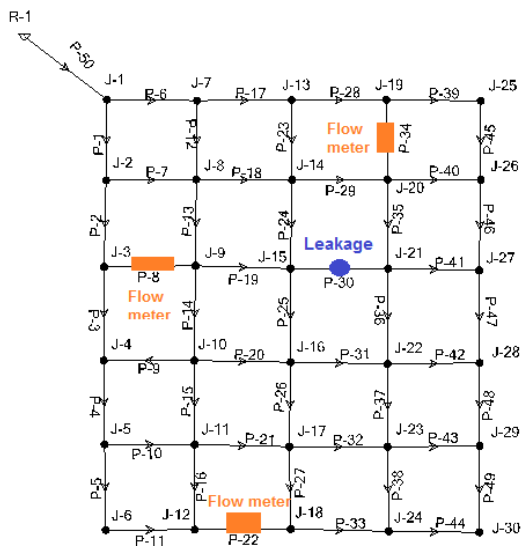
با استفاده از روش مذکور، لوله دارای نشت تعیین می شود، اما در عمل مقدار دبی لزوماً به صورت دقیق معلوم نبوده و دارای عدم قطعیت می باشد. در ادامه مثالی با فرض عدم قطعیت در دبی نشت بررسی می شود.

#### ۴- مثال در حالت عدم قطعیت در مقدار دبی نشت

مثال مورد استفاده در تحقیق حاضر، شبکه فرضی آبرسانی حلقوی ارائه شده توسط پولاکیس و همکاران (۲۰۰۳) است که دارای ۵۰ لوله، ۳۰ گره و یک مخزن در گوشه شبکه است [۱۳]. جنس لوله ها از پلی اتیلن، طول لوله های افقی ۱۰۰۰ و طول لوله های عمودی ۲۰۰۰ متر و ارتفاع زبری لوله برابر با ۰/۲۶ میلیمتر برای همه لوله ها می باشد. قطر لوله ها در محدوده ۳۰۰ الی ۶۰۰ میلیمتر تغییر می کند. برداشت دبی در همه گره ها برابر با ۵۰ لیتر بر ثانیه فرض می شود (شکل ۲).

فرض می شود لوله شماره ۳۰ دارای نشت می باشد اما از آن اطلاع نداشته و بررسی ها به منظور یافتن شماره لوله نشت انجام می گیرد. سه لوله با شماره های ۸، ۲۲ و ۳۴ مجهز به دبی سنچ می باشند. دبی کل ورودی از مخزن به شبکه برابر ۱۵۰۰ لیتر در ثانیه بوده و در مدل بانشت، دبی نشت برابر ۸۲/۵ لیتر در ثانیه در نظر گرفته شد. با توجه به عدم قطعیت دبی نشت، مقدار دبی نشت مدل متفاوت از دبی در مدل اندازه گیری شده در نظر گرفته شد. دبی نشت مدل، با در نظر گرفتن عدم قطعیت، ۱۰ درصد کمتر از واقعیت یعنی معادل ۷۵ لیتر در ثانیه اعمال گردید.

در عمل مقدار دبی سنچ قرائت می شود اما در تحقیق حاضر، دبی گذرنده از لوله مجهز به دبی سنچ از مدل دارای نشت برداشت می شود.



شکل ۲: شبکه مورد مطالعه

اختلاف دبی اندازه گیری شده و اختلاف دبی مدل، مطابق معادلات ۱ و ۲ به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. در مدل دارای نشت تنها دبی لوله های مجهز به دبی سنج مورد بررسی قرار می گیرد. شاخص دبی مطابق با معادله ۳ برای تمامی لوله های نشت فرضی محاسبه شد. ماتریس با ۳ سطر و ۴۹ ستون که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. شاخص دبی نشت که حاصل تقسیم اختلاف دبی اندازه گیری شده به اختلاف دبی در مدل است، در صورت عدم قطعیت در پارامترهای هیدرولیکی، شبکه در ازای این که لوله نشت فرضی در مدل شبیه سازی با لوله نشت در مدل دارای نشت مطابقت داشته باشد برابر با یک می شود اما در شرایط فعلی که عدم قطعیت ۱۰ درصدی در مقدار دبی نشت لحاظ شده است مقادیر شاخص نشت از مقدار یک منحرف می شوند. بدین ترتیب تابع نشت (جدول ۴) براساس انحراف شاخص دبی از عدد یک تعریف شده است و تابع هدف که حاصل جمع توابع نشت در لوله های مجهز به دبی سنج می باشد از کم به زیاد مرتب سازی شده، مطابق آخرین ردیف در جدول ۴ که معادل تابع هدف می باشد، مشاهده می شود که به ازای وجود نشت فرضی در لوله شماره ۳۰ تابع هدف کمینه مقدار را دارد. بنابراین براساس شاخص نشت پیشنهادی در تحقیق حاضر، لوله شماره ۳۰ به عنوان لوله نشت تشخیص داده شده که با لوله نشت در مدل دارای نشت یکسان می باشد و این خود مؤید عملکرد صحیح شاخص نشت پیشنهادی می باشد.

جدول ۱: اختلاف دبی اندازه گیری شده در لوله های مجهز به دبی سنج

شماره لوله دبی سنج	اختلاف دبی دبی (واقعی)
P-8	18.71
P-22	1.70
P-34	10.56



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



جدول ۲: اختلاف دبی در مدل

شماره لوله نشت فرضی													دبی گذرنده از لوله
P-49	P-48	P-47	P-46	...	P-31	P-30	P-29	...	P-4	P-3	P-2	P-1	
34.57	34.12	32.88	30.58		34.41	33.56	30.21		35.65	36.49	38.47	19.92	P-1
29.69	27.93	23.40	16.26		28.71	23.41	9.41		34.42	40.31	20.97	-1.84	P-2
21.02	18.48	12.94	7.08		18.66	6.36	2.49		29.33	12.89	-2.87	-0.38	P-3
19.81	14.93	8.55	4.04		8.97	2.36	0.93		22.76	-2.54	-0.54	-0.10	P-4
9.00	6.41	3.56	1.66		3.50	0.95	0.38		-4.61	-0.99	-0.22	-0.04	P-5
40.43	40.88	42.12	44.42		40.59	41.44	44.79		39.35	38.51	36.53	17.58	P-6
4.88	6.19	9.48	14.32		5.70	10.15	20.80		1.23	-3.82	-20.00	-15.73	P-7
8.67	9.45	10.46	9.18		10.06	17.05	6.92		5.09	-10.07	-13.67	-1.46	P-8
													...
4.10	7.20	12.59	13.29		4.83	1.26	0.50		-6.90	-11.02	-8.00	-1.45	P-19
10.95	12.69	10.55	5.64		1.92	0.58	0.23		-5.16	-4.91	-1.01	-0.18	P-20
13.89	11.87	7.21	3.47		21.24	23.43	33.79		-6.52	-2.16	-0.48	-0.09	P-21
16.16	10.93	5.89	2.72		5.42	1.53	0.61		-5.36	-1.52	-0.35	-0.07	P-22
8.95	8.61	7.39	4.03		9.09	10.00	12.73		9.47	9.26	7.82	3.31	P-23
14.44	13.95	11.81	5.58		15.06	18.87	-6.80		14.80	13.29	6.93	1.10	P-24
10.34	10.18	7.15	3.16		14.62	0.31	0.21		6.29	2.94	0.24	0.01	P-25
													...
8.21	10.97	17.25	15.71		-1.12	-0.05	-0.01		1.61	-0.67	-1.31	-0.35	P-30
10.01	16.22	15.71	8.19		12.15	13.43	21.06		-2.53	-2.59	-0.83	-0.18	P-31
18.51	16.27	8.73	3.97		3.71	4.30	9.35		-4.02	-1.70	-0.44	-0.09	P-32
22.81	13.18	6.37	2.82		8.70	11.78	3.92		-4.19	-1.36	-0.33	-0.07	P-33
7.98	8.97	11.54	14.10		8.23	9.60	18.90		5.68	4.53	2.86	0.98	P-34
7.58	8.66	10.51	4.37		8.01	10.76	-4.64		4.73	3.37	1.59	0.37	P-35
11.40	12.27	4.42	-3.05		13.69	-5.57	-1.50		5.49	2.85	0.75	0.15	P-36
14.35	5.02	-3.34	-2.34		-6.18	-1.74	-0.61		4.05	1.42	0.34	0.07	P-37
7.12	-1.94	-2.16	-1.10		-2.26	-0.66	-0.25		1.98	0.61	0.14	0.03	P-38
3.90	4.67	7.38	16.01		3.92	3.83	2.15		2.36	1.69	0.88	0.25	P-39
3.99	5.03	9.06	23.92		3.93	3.15	-4.61		2.05	1.26	0.44	0.06	P-40
4.39	7.36	23.34	23.13		3.03	-9.39	0.78		0.85	-0.15	-0.46	-0.13	P-41
7.06	23.47	23.47	7.49		-13.54	0.62	0.86		-1.09	-1.15	-0.42	-0.10	P-42
25.73	23.23	7.54	2.73		0.62	0.97	0.47		-1.96	-0.89	-0.24	-0.05	P-43
29.93	11.24	4.21	1.72		2.05	0.83	0.34		-2.21	-0.75	-0.19	-0.04	P-44
3.90	4.67	7.38	16.01		3.92	3.83	2.15		2.36	1.69	0.88	0.25	P-45
7.88	9.69	16.44	2.43		7.86	6.97	-2.45		4.41	2.95	1.32	0.32	P-46
12.27	17.06	2.28	-11.94		10.88	-2.42	-1.67		5.26	2.80	0.85	0.19	P-47
19.33	3.03	-11.75	-4.45		-2.66	-1.80	-0.81		4.17	1.64	0.43	0.09	P-48
7.57	-11.24	-4.21	-1.72		-2.05	-0.83	-0.34		2.21	0.75	0.19	0.04	P-49



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب



1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

جدول ۳: شاخص نشت برای لوله‌های مجهز به دی‌سنج

شماره لوله نشت فرضی													شماره لوله‌های دی‌سنج
P-49	P-48	P-47	P-46	...	P-31	P-30	P-29	...	P-4	P-3	P-2	P-1	
2.16	1.98	1.79	2.04		1.86	1.10	2.70		3.68	-1.86	-1.37	-12.84	P-8
0.11	0.16	0.29	0.62		0.31	1.11	2.80		-0.32	-1.12	-4.89	-25.09	P-22
1.32	1.18	0.92	0.75		1.28	1.10	0.56		1.86	2.33	3.69	10.75	P-34

جدول ۴: مقدار انحراف شاخص نشت از یک و محاسبه تابع نشت برای لوله‌های مجهز به دی‌سنج

شماره لوله نشت فرضی													شماره لوله‌های دی‌سنج
P-49	P-48	P-47	P-46	...	P-31	P-30	P-29	...	P-4	P-3	P-2	P-1	
1.16	0.98	0.79	1.04		0.86	0.10	1.70		2.68	0.86	0.37	11.84	P-8
0.89	0.84	0.71	0.38		0.69	0.11	1.80		0.68	0.12	3.89	24.09	P-22
0.32	0.18	0.08	0.25		0.28	0.10	0.44		0.86	1.33	2.69	9.75	P-34
2.37	2.00	1.59	1.67		1.83	0.30	3.95		4.22	2.31	6.96	45.68	تابع نشت (f) [معادله ۴]

### ۳- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، یک مدل به منظور شناسایی محل نشت ارائه شده است. بررسی‌ها در این تحقیق نشان می‌دهد علی‌رغم عدم دسترسی به دی تمام لوله‌ها در مدل دارای نشت و تنها با در اختیار داشتن تعداد محدودی دی گذرنده از لوله (برابر تعداد دی‌سنج) با مقایسه مقادیر دی اندازه‌گیری و دی مدل و برآورد شاخص نشت و تابع نشت، لوله نشت به درستی تشخیص داده شد و عملکرد این شاخص از مطلوبیت کافی برخوردار بوده است. شاخص نشت ارائه شده در این مدل در صورت وجود مقداری عدم قطعیت در دی نشت نیز توانست برای مثال ارائه شده درست عمل کند. مثال مطرح شده در این تحقیق، دی نشت با در نظر گرفتن عدم قطعیت، ۱۰ درصد کمتر برآورد شد. با توجه به نیاز انجام کالیبراسیون در مدل و وجود عدم قطعیت‌های زیاد و شبکه‌های پیچیده، مطالعات بیشتری در این زمینه لازم است.

### ۴- مراجع

- Giustolisi O., Berardi L., (2007), Pipe Level Burst Prediction Using EPR and MCS-EPR, Water Management Challenges in Global Change, Taylor & Francis Group, London, 39-46.
- تیموری، ن. فضل‌اولی، ر. بوستانی، آ. (۱۳۹۴)، نشت‌یابی شبکه‌های توزیع آب براساس واسنجی فشارهای گره‌ای به روش الگوریتم چند جهانی، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران.
- ولی‌پور، ب. فغفور مغربی، م. (۱۳۸۸)، نشت‌یابی شبکه‌های آبرسانی شهری با اندازه‌گیری میدانی فشارهای گره‌ای



اولین همایش ملی  
مدیریت مصرف و هدررفت آب  
1<sup>st</sup> National Conference on  
Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

(مطالعه موردی شهر گلبهار)، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران.

4. Asgari H.R., Maghrebi M. (2016), "Application of nodal pressure measurements in leak detection", *Flow Measurement and Instrumentation* 50, 128-134.
5. نصیریان، ع. فغفور مغربی، م. (۱۳۹۳)، بهینه‌سازی موقعیت‌های فشارسنجی در شبکه‌ی توزیع آب به‌منظور به‌کارگیری در کالیبراسیون با اعمال نشت‌های گره‌ای فرضی، نشریه مهندسی عمران فردوسی، ۱.
6. Marunga A., Hoko Z., Kaseke E. (2006), "Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe", *Physics and Chemistry of the Earth* 31, 763-770
7. Khan A, Widdop P.D., Day A.J., Wood A.S., Steve M., Mounce R., and Machell J. (2006), "Artificial Neural Network Model for a Low Cost Failure Sensor: Performance Assessment in Pipeline Distribution", *Proceedings of world academy of science, engineering and technology volume 15 october, ISSN 1307-6884.*
8. Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A. & Koppel, T., (2010), A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water J.* 7 (1), 25-45
9. Grumwell, D. & Ratcliffe, B. (1981), *Location of Underground Leaks Using the Leak Noise Correlators*. Technical Report 157, Water Research Centre, Medmenham, UK.
10. Misiunas, D., Vitkovsky, J., Olsson, G., Simpson, A. & Lambert, M. (2005), Pipeline burst detection and location using a continuous monitoring of transients. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 131 (4), 316-325.
11. Shinozuka, M. & Liang, J. 2005, Use of SCADA for damage detection of water delivery systems. *J. Eng. Mech.* 131 (3), 225-230.
12. Yamamoto, T., Fujimoto, Y., Ashiki, T., Kurokawa, F. & Tonozuka, Y. (2006), Estimation of pipe break location in water distribution network. In: *Proc. IWA World Water Congress and Exhibition (WWC), Beijing, P.R. China, Paper ID. 609316.*
13. Poulakis, Z., Valougeorgis, D., Papadimitriou, C., (2003), Leak Detection Water Pipe Network using Bayesian probabilistic frame work, *Probab.Eng.Mech.* 18 315-327.