



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



## کاربرد مدیریت فشار در کاهش حوادث و هدررفت شبکه توزیع آب شهری ( مطالعه موردی شهر فولادشهر، اصفهان )

احسان شفیعی دستگردی

رئیس قسمت بهره برداری شرکت آب و فاضلاب شهر فولادشهر  
e.shafiei.eng1983@gmail.com

عباسعلی غلامرضایی

مدیر شرکت آب و فاضلاب شهر فولادشهر  
Gholamrezaei4296@gmail.com

### خلاصه

یکی از مشکلات عمده در شبکه های توزیع آب شرب، هدررفت حجم زیادی آب در اثر وقوع حوادث مختلف می باشد که هزینه زیادی را دربردارد؛ ازاین رو هدف از این پژوهش کاربرد مدیریت فشار در کاهش میزان حوادث و تلفات آب در شبکه توزیع آب شرب شهر فولادشهر استان اصفهان در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ می باشد. با قراردادن تاریخ اجرای مدیریت فشار به عنوان مبنای محاسبات، ۱۰۱ حادثه شبکه توزیع و ۸۸۱ حادثه انشعابات آب در سال ۱۳۹۴ به ۵۰ حادثه شبکه توزیع و ۷۴ حادثه انشعابات آب در سال ۱۳۹۵ کاهش یافت. همچنین مقدار آب هدررفته ناشی از این حوادث از ۱۸٪ آب مصرفی شهر فولادشهر به ۱۷٪ کاهش پیدا کرد. محاسبه چهار شاخص حجم آب هدررفته، هزینه ناشی از حوادث شبکه توزیع، تعداد حوادث شبکه توزیع به ازای هر کیلومتر در سال و تعداد حوادث انشعاب نسبت به تعداد کل انشعابات، به خوبی نتیجه طرح مدیریت فشار به عنوان یک گزینه کوتاه مدت را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: شبکه های توزیع آب شهری، مدیریت فشار، حوادث، شیرفشارشکن

### ۱- مقدمه

مدیریت کنترل نشت در شبکه های توزیع آب شهری بی شک یکی از مهمترین دغدغه های مسئولین امر تهیه و توزیع آب شهری می باشد. تاکنون روش های مختلفی جهت مدیریت کنترل نشت ارائه شده است. یکی از بهترین و با صرفه ترین روش های ارائه شده، مدیریت فشار در شبکه است که استفاده از شیرهای فشارشکن از متداول ترین ابزارهای آن می باشد.



# 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 بهره‌برداری از شبکه های توزیع آب فشار از دو منظر حائز اهمیت است: اول اینکه تغییرات ناگهانی در فشار که اغلب به صورت بالا رفتن فشار رخ می دهد باعث رخداد حوادث شده و دیگر اینکه هر چه فشار در لوله بیشتر باشد مقدار نشت (نشت زمینه و نشت ناشی از حادثه) نیز بیشتر می گردد. لذا مدیریت فشار از دیدگاه آب بدون درآمد مهم تلقی می شود. پیامدهای حوادث عبارتند از: افزایش آب بدون درآمد، افزایش آلودگی آب، کاهش رضایت مندی مشتریان و افزایش هزینه ها. بنابراین اقداماتی جهت کاهش حوادث منجر به کاهش آب بدون درآمد و هزینه ها خواهد شد.

مدیریت فشار عبارت است از اعمال کنترل روی فشارهای سیستم جهت رسیدن به یک سطح فشار بهینه، مناسب برای سیستم توزیع آب به گونه ای که علاوه بر حذف تغییرات و ناپایداری در فشار، حداقل فشار لازم برای تأمین حقوق قانونی مشتریان و مصرف کنندگان فراهم گردد. ابزار زیادی برای اعمال مدیریت فشار وجود دارد، از جمله: کنترل پمپها، کنترل های ارتفاعی، احداث مخازن تعادلی و نصب شیرهای کاهش فشار یا نگه دارنده فشار و در این رابطه سعی بر این است که فشار در گره های شبکه با استفاده از مخازن و شیرآلات و ایجاد زونهای مناسب فشاری، به حداقل مقدار ممکن نزدیک شود. مدیریت فشار به عنوان یکی از کارآمدترین و اقتصادی ترین روش های کنترل نشت در شبکه های توزیع آب می باشد. از جمله منافع مدیریت فشار می توان به کاهش هزینه تعمیرات، تعمیرات اضطراری کمتر، برنامه ریزی بهتر و رضایت بیشتر مشتریان اشاره نمود [۱].

بعد از کار گذاشتن لوله های شبکه، در میان تمام عواملی که بر میزان نشت و حوادث تأثیر می گذارند، تنها مدیریت فشار لوله هاست که قابل کنترل بوده و راه حلی عملی، مؤثر و کم هزینه در جهت کنترل میزان نشت و حوادث به تنهایی یا به صورت ترکیبی به همراه سایر روشها همانند تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل های هیدرولیکی می باشد. در واقع برای هر نوع نشتی، کاهش فشار سیستم توزیع می تواند نرخ اتلاف آب از طریق آن نشت را کاهش دهد.

در زمینه مدیریت فشار در شبکه های توزیع آب تحقیقات و اقدامات زیادی انجام شده است. از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

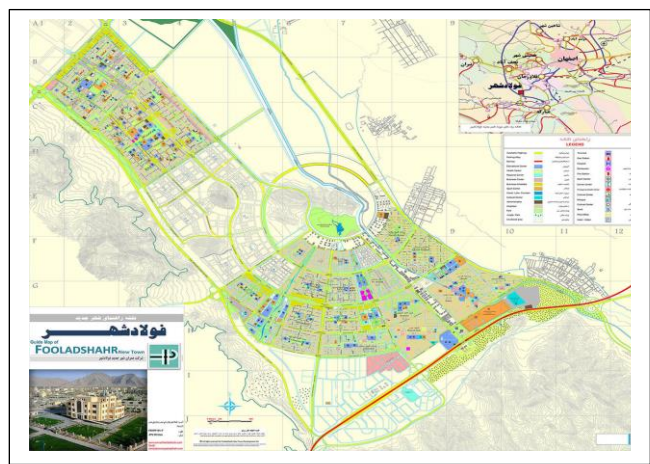
در این زمینه افراد زیادی چون Walski et al, 2006 , Marunga et al, 2006 , Lambert, 2003 , Thornton, 1386، کارآموز و همکاران، 1385 و جلیلی قاضی زاده و صالحی، 1386 تحقیقاتی انجام داده اند [۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱]. نشان داد که هم بزرگی نشت و هم رخداد نشت های جدید با کاهش و ثبات فشار در سیستم کاهش می یابند، او چندین راه را برای مدیریت فشار شبکه پیشنهاد داد [۸]. Lambert نشان داد که کاهش فشار نه فقط باعث کاهش میزان نشت از منافذ موجود می شود بلکه باعث کاهش نشت های جدید نیز می شود [۹]. Trow و Farely در سال ۲۰۰۷ نموداری ارائه نمودند که ارتباط تعداد حوادث با فشار متوسط شبانه چند DMA در انگلستان را نشان می دهد [۱۰]. همچنین Lambert و Thornton در سال ۲۰۰۶ نمونه هایی از نتایج مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان که نشان دهنده نقش چشمگیر فشار بر نرخ وقوع حوادث می باشد را بصورت جدولی ارائه نمودند [۱].

در مطالعه حاضر نتایج اعمال مدیریت فشار در شبکه توزیع آب شهر فولادشهر مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش ها

فولادشهر یکی از شهرهای شهرستان لنجان استان اصفهان می باشد. این شهر در ۲۸ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در محور ارتباطی اصفهان شهرکرد است. این شهر با مساحتی بالغ بر ۷۷۰۰ هکتاریکی از سه شهر جدید در اصفهان می باشد. فولادشهر در ارتفاع ۱۶۴۴ متری از سطح دریا واقع شده است، این شهر تقریباً به شکل نیم دایره می باشد. جمعیت این شهر در حدود ۷۵۰۰۰ نفر می باشد.

این شهر از شمال به شهرستان فلاورجان، از جنوب به کارخانه ذوب آهن، از شرق به کوه نمکک و از غرب به رشته کوه پنجه محدود می گردد. ارتفاعات این شهر، رشته کوه پنجه در غرب و رشته کوه اشترجان در جنوب و عوارض طبیعی مارماضه و فشارچه در داخل محدوده شهر می باشد. فولادشهر جوان ترین مرکز شهری شهرستان لنجان به شمار می آید و دارای قدمتی کوتاه معادل راه اندازی کارخانه ذوب آهن است. این شهر در آغاز توسط کارخانه ذوب آهن و با هدف اسکان شاغلان مهاجر کارخانه و نیروهای متخصص خارجی (روسی) بنا گردید و به عنوان شهرک خوابگاهی متعلق به کارخانه تا سال ۱۳۶۰ صرفاً توسط جمعیت شاغل در این کارخانه مورد اسکان قرار می گرفت. لیکن از این سال به تدریج و در طی روندی حدوداً ۱۰ ساله از تملک کارخانه مذکور در آمده و به شهرهای تحت اداره وزارت کشور پیوست. شکل ۱.



شکل ۱: نقشه شهر فولادشهر

در گذشته آب شرب این شهر توسط ۱۴ حلقه چاه واقع در دشت مرق مینادشت تأمین می گردید ولی در حال حاضر با توجه به پدیده خشکسالی سال های اخیر اکثر این چاه ها خشک شده و تقریباً ۹۸ درصد آب مورد نیاز فولادشهر از آب طرح آبرسانی اصفهان که از تصفیه خانه آب باباشیخعلی که در ۴۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان قرار دارد، تأمین می گردد. چهار خط انتقال با اقطار ۱۴۰۰ میلیمتر آب تصفیه شده را پس از مشروب کردن ۲۶ شهر و تعدادی روستا به شهر اصفهان رسانده و سپس با دو خط انتقال به سمت شمال و دو خط انتقال به سمت شرق رفته و در این مسیرها هم ۲۳ شهر و چندین روستا



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



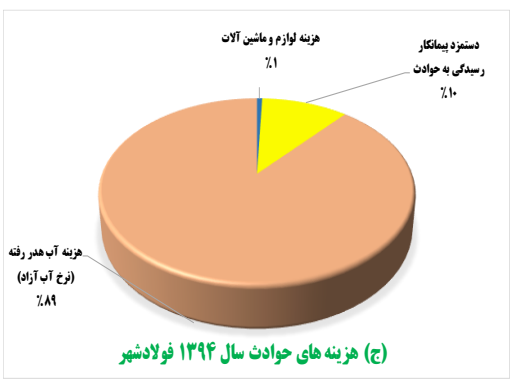
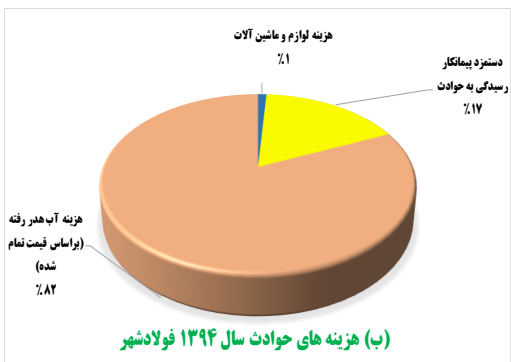
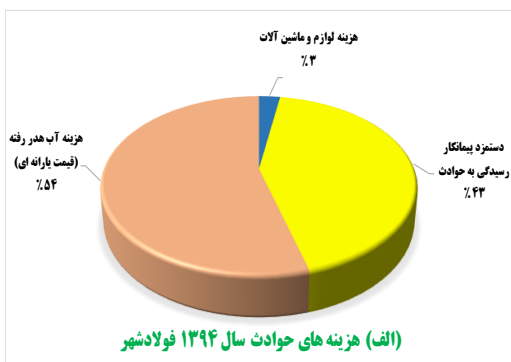
را تحت پوشش قرار می دهد. آب شرب شهر فولادشهر از یکی از خطوط ۱۴۰۰ عبوری از این شهر دریافت و با دو مرحله پمپاژ با استفاده از دو خط انتقال قطر ۵۰۰ میلیمتر به طول ۱۲ کیلومتر به مخازن ذخیره شهر می رسد و از آنجا وارد شبکه توزیع می شود.

شبکه توزیع آب شهر فولادشهر به طول ۲۶۳ کیلومتر و با اقطار ۸۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلیمتر و با جنس های آزیست سیمان، چدن داکتیل و پلی اتیلن می باشد.

طی بررسی گزارشات حوادث در سامانه ۱۲۲ شرکت آب و فاضلاب مشخص گردید تعداد حوادث شبکه توزیع در سال ۱۳۹۴ در شهر فولادشهر بالغ بر ۱۰۱ حادثه و تعداد حوادث انشعابات ۸۱ مورد بوده است. حجم آب تولید شده در سال ۱۳۹۴ برابر ۷۲۳۳۳۶۰ متر مکعب و حجم فروش آب به مشترکین ۵۹۶۰۵۹۶ متر مکعب بود که بر این اساس مشخص گردید پرت یا هدر رفت آب ۱۸ درصد بوده است.

در طول یک سال تعداد بالای حوادث نه تنها باعث دردسر دائمی بهره برداران شهر شده بود بلکه موجب افزایش هدررفت آب و همچنین هزینه های بهره برداری گشته بود. کل هزینه تحمیل شده شامل هزینه های تجهیزات، لوازم مصرفی، پرسنلی، پیمانکار حوادث و هزینه آب هدررفته بالغ بر ۱۹،۹۱۶،۸۴۵،۶۷۵ ریال در سال بود. از طرف دیگر رخداد حادثه و پس از آن تعمیرات، قطع متناوب آب را به دنبال داشت که ساعت ها بطول می انجامید که کم کم باعث نارضایتی های اجتماعی در مشترکین شهر شده بود. علاوه بر این، قطع و وصل آب موجب هواگرفتگی خطوط و احتمال ورود گل و لای و آلودگی به داخل شبکه توزیع شده بود. موارد ذکر شده سبب گردید که به مشکل موجود توجه بیشتری گردد.

نمودارهای شکل ۲ (الف، ب و ج) هزینه حوادث شبکه توزیع فولادشهر در سال ۱۳۹۴ را به تفکیک نوع هزینه نشان می دهد. آنچه که در نمودار مشاهده می شود آن است که هزینه آب هدررفته بسیار بالاتر از سایر هزینه ها می باشد و در سه حالت الف، ب و ج در صورتی که قیمت هر متر مکعب آب هدر رفته به ترتیب بر اساس نرخ دولتی (پارانه ای)، بر اساس قیمت تمام شده آب در شهر فولادشهر و قیمت آب آزاد (فروش تانکری) ۳۳۲۳، ۱۲۵۰۰ و ۲۲۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده، که به ترتیب بیش از ۵۴، ۸۲ و ۸۹ درصد از کل هزینه ها به خود اختصاص داده است و این در حالی است که کشور ایران با بحران خشکسالی و بی آبی روبروست. از طرف دیگر در این نمودار هزینه های اجتماعی ناشی از حوادث نیز ارائه نشده اند زیرا تا حد زیادی نمی توان آن را به صورت عدد و رقم نشان داد، در صورتی که مهمترین بخش هزینه ها را تشکیل می دهد. نارضایتی مشترکین از قطع آب، آلودگی آب به علت ورود گل و خاک در حین نشست و تعمیرات و ایجاد بیماری و در پی آن مشکلات جسمی و روحی که در اثر خوردن آب آلوده رخ می دهد و ... از جمله موارد اجتماعی پدید آمده توسط حوادث است که در جایی ثبت و محاسبه نمی شود.



شکل ۲: هزینه ناشی از حوادث به تفکیک نوع هزینه

در مرحله اول شناسایی علل آن مدنظر قرار گرفت. با بررسی های انجام شده علل رخداد حوادث بصورت زیر

شناسایی شد:

- ۱) عدم طراحی صحیح شبکه توزیع (عدم پیش بینی شیر فشارشکن مناسب بر روی خط اصلی ورودی به شبکه توزیع و عدم زون بندی شبکه)
- ۲) تغذیه یک سوم از شبکه توزیع تنها با یک ورودی در بالاترین نقطه زون
- ۳) اتصال مستقیم به خط انتقال منتهی به ایستگاه پمپاژ شماره یک فولادشهر و در نتیجه افزایش فشار شبکه توزیع
- ۴) فشار بالای بین ۶ تا ۸ اتمسفر شبکه توزیع زون یک (برزن A) فولادشهر

### ۱-۱- مدیریت فشار



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



پس از شناسایی علل، باید راه حل‌هایی جهت رفع آنها ارائه شود. گزینه‌هایی که جهت رفع معضل پیش آمده مطرح گردید عبارت بودند از:

- ۱) طراحی و اجرای مجدد خطوط انتقال و شبکه توزیع
- ۲) تعویض لوله‌های نامناسب و اصلاح انشعابات فرسوده
- ۳) اعمال مدیریت فشار در جهت کاهش فشار

در انتخاب گزینه مناسب چندین پارامتر مدنظر قرار گرفت که عبارتند از: عملی بودن، زمانبر بودن و اقتصادی بودن راه حل. گزینه اول هیچ کدام از پارامترهای ذکر شده را برآورده نمی‌کرد. با توجه به عملی بودن گزینه‌های دوم و سوم و با توجه به زمانبر بودن و پرهزینه بودن گزینه دوم، تصمیم گرفته شد که گزینه اعمال مدیریت فشار به عنوان یک راهکار کوتاه مدت اجرا شده و گزینه تعویض لوله‌ها در لیست برنامه‌های درازمدت قرار گیرد.

پس از انتخاب گزینه مدیریت فشار به عنوان راه حل کوتاه مدت (که در درازمدت هم جوابگو خواهد بود)، اقداماتی که انجام گرفت در زیر لیست می‌شود:

- ✓ انجام فشارسنجی در قسمت‌های مختلف شبکه توزیع با استفاده از فشارسنج‌های ثابت در یک بازه زمانی مشخص
- ✓ محاسبه فشار نهایی وارد بر لوله‌ها
- ✓ مقایسه فشار وارده با فشار قابل تحمل لوله‌های اجرا شده
- ✓ انتخاب محل نصب، قطر، نوع و فشار خروجی شیر فشارشکن.

بدین منظور یک شیر فشار شکن دیافراگمی به قطر ۲۵۰ میلی‌متر بر روی خط اصلی ورودی به زون یک (برزن A) نصب گردید و به گونه ای تنظیم شد که فشار خروجی از شیر در حدود ۵۰٪ (از ۷ بار به ۳/۵ بار) کاهش یافت.

### ۳- بحث و نتایج

جهت بررسی نتایج اقدامات صورت گرفته و محاسبه دقیق مقدار آب هدررفته ناشی از حوادث شبکه توزیع قبل و بعد از انجام مدیریت فشار، یک بانک اطلاعاتی در محیط Excel ایجاد گردید و تمامی جزئیات حوادث رخ داده شامل: زمان وقوع حادثه، زمان اطلاع از حادثه، زمان بستن شیرها جهت قطع آب، مدت زمان تخلیه آب درون لوله، مدت زمان رفع حادثه، شکل و ابعاد شکستگی، فشار آب در خط، قطر لوله، طول لوله بین دو شیر بسته شده و جزئیات هزینه‌های صرف شده در آن ثبت گردید.

با استفاده از جدول تهیه شده مقدار آب هدررفته و هزینه تعمیرات (شامل هزینه‌های تجهیزات، لوازم مصرفی، پیمانکار حوادث و ...) و هزینه آب هدررفته محاسبه گردید. از جمله نتایج تشکیل این بانک اطلاعاتی تعیین بیشترین تعداد در حوادث در انتهای زون یا به عبارتی گودترین قسمت زون رخ داده، که دلیل آن فشار بسیار زیاد در این ناحیه بود.

با قراردادن تاریخ اجرای مدیریت فشار به عنوان مبنای محاسبات، ۱۰۱ حادثه شبکه توزیع و ۸۸۱ حادثه انشعابات آب در سال ۱۳۹۴ به ۵۰ حادثه شبکه توزیع و ۷۷۴ حادثه انشعابات آب در سال ۱۳۹۵ کاهش یافت. همچنین مقدار آب هدررفته ناشی از این حوادث از ۱۸٪ آب مصرفی شهر فولادشهر به ۱۷٪ کاهش یافت (لازم به ذکر است عملیات نصب شیر فشار شکن فقط بر روی برزن A (زون ۱) فولادشهر صورت پذیرفت و زون‌های بعدی در ابتدای سال ۱۳۹۶ تحت مدیریت فشار قرار





# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

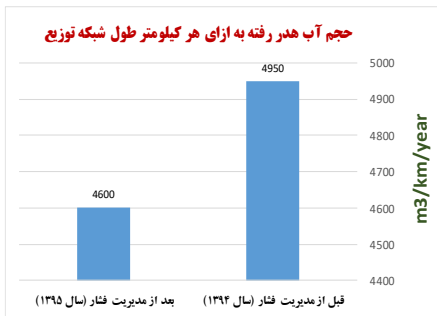
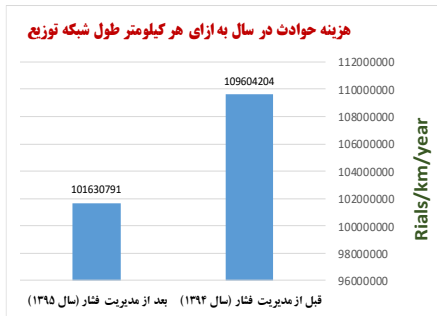
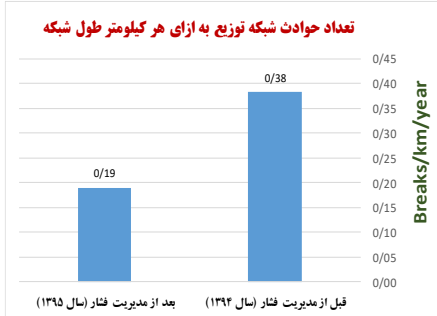
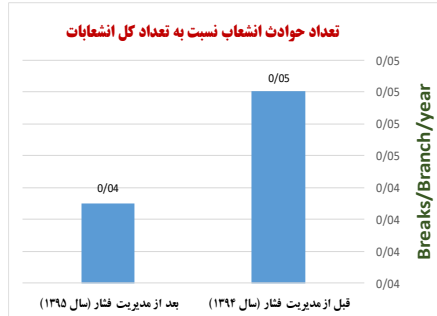


1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

گرفت). با انجام مدیریت فشار از هدررفت سالانه حدود ۱۰۰۰۰ مترمکعب جلوگیری شده و همچنین ۲,۰۹۷,۰۰۷,۶۰۰ ریال در سال (شامل هزینه ۳-های تجهیزات، لوازم مصرفی، پیمانکار حوادث و ...) ذخیره می گردد که در کاهش سایر بخش های آب بدون درآمد در این شهر می توان سرمایه گذاری نمود.

نمودارهای شکل ۳ به ترتیب حجم آب هدررفته، هزینه ناشی از حوادث شبکه توزیع، تعداد حوادث شبکه توزیع به ازای هر کیلومتر در سال و تعداد حوادث انشعاب نسبت به تعداد انشعابات، قبل و بعد از مدیریت فشار نشان می دهند. کاهش چشمگیر این چهار شاخص نشان دهنده تأثیرات مثبت طرح اجرا شده می باشد.



شکل ۳: حجم آب هدررفته، هزینه حوادث و تعداد حوادث شبکه و انشعابات قبل و بعد از انجام مدیریت فشار

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله دو گزینه برای کاهش حوادث شبکه توزیع مطرح شده و سپس هر دو گزینه از نظر اقتصادی بررسی گردید. نتایج دلالت بر آن دارد که مدیریت فشار در این تحقیق با نصب شیر فشارشکن به عنوان یک گزینه زود بازده و بازنگری طرح شبکه توزیع و انتقال اجرا شده و اصلاح آن به عنوان گزینه دراز مدت جوابگو خواهند بود.



محاسبه چهار شاخص حجم آب هدررفته، هزینه ناشی از حوادث شبکه توزیع، تعداد حوادث شبکه توزیع به ازای هر کیلومتر در سال و تعداد حوادث انشعاب نسبت به تعداد کل انشعابات، قبل و بعد از مدیریت فشار به خوبی نتیجه طرح مدیریت فشار به عنوان یک گزینه کوتاه مدت را نشان می دهد.

## ۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیرعامل، معاون بهره برداری، معاون منابع انسانی و کارشناسان وقت شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان و منطقه فولادشهر برای همکاری در انجام این تحقیق قدردانی می نمایند.

## ۶- مراجع

- 1) Thorton, J., Lambert, A., (2006). Managing pressure to reduce new breaks. water 21, Issue DEC.
- 2) Lambert, A., (2003). What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems?. IWA Conference.
- 3) Marunga, A., Hoko, Z., Kaseke E., (2006). Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool. the case study of the city of Mutare, Zimbabwe, ELSEVIER, Available online.
- 4) Walski, T., Bezts, W., Posluszny, E. T., Weir, M., Whitman, B. E., (2006). Modeling leakage reduction through pressure control. American Water Works Association, Journal AWWA, Vol. 98, No.4.

۵) تابش، م. هومهر، س. (۱۳۸۶)، مدیریت نشت در شبکه های آبرسانی به وسیله بهینه سازی تنظیم شیرهای فشار شکن با استفاده از الگوریتم ژنتیک، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶) کارآموز، م. تابش، م. نظیف، س. مریدی، ع. (۱۳۸۵)، مدل مدیریت فشار در شبکه توزیع آب شهری، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۷) جلیلی قاضی زاده، م. صالحی، س. (۱۳۸۶)، مدیریت فشار در شبکه های شاخه ای با استفاده از لوله های موازی، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

- 8) Thornton, J., (2002). Water Loss Control Manual. McGraw-Hill.
- 9) Lambert, A., (2004). Water losses management and techniques. International Report on Water Loss anagement and Techniques.
- 10) Farley, M., Trow, S., (2003). Losses in water distribution networks. IWA Publishing.
- 11) Guidelines for water loss reduction, a focus on pressure management, <http://www.waterlossreduction.com/>