



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1148P-NWWCE

## کاربرد مدیریت فشار در کاهش حوادث خط انتقال آب

(مطالعه موردی خط انتقال شهر سجزی، اصفهان)

آسیه سادات ملاباشی<sup>۱</sup>، احسان شفیعی دستگردی<sup>۲\*</sup>

۱- مدیر دفتر مدیریت مصرف، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

e.shafiei.eng1983@gmail.com

### خلاصه

وقوع حوادث در خطوط انتقال علاوه بر هزینه و مشکلات بهره‌برداری باعث افزایش مقدار آب بدون درآمد می‌شود. مدیریت فشار از جمله روش‌های کاهش آب بدون درآمد می‌باشد. علیرغم مطالعات زیادی که در مورد کاربرد مدیریت فشار در شبکه‌های آب‌رسانی شده است گزارش‌های محدودی از کاربرد مدیریت فشار در خطوط انتقال گزارش شده است. در مقاله حاضر پس از مرور مبانی تئوری مدیریت فشار، نتایج بکارگیری این روش در خط انتقال آب شهر سجزی، واقع در استان اصفهان گزارش شده است. خط انتقال مذکور به علت فشار بالا دچار شکستگی‌های مداوم می‌شد که پس از بکارگیری مدیریت فشار تعداد حوادث از ۲۴، به ۱ مورد در سال و میزان هدررفت آب از ۱۷٪ به ۱٪/۱ مصرف آب شهر سجزی کاهش یافت. نتایج بدست آمده پس از تحلیل داده‌ها، به صورت بدون بعد ارائه شد. در این مقاله همچنین بررسی اقتصادی طرح مدیریت فشار انجام و چالش‌های اجرای طرح مورد بحث قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدیریت فشار به عنوان یک روش عملیاتی و اجرایی می‌تواند در خطوط انتقال بکار گرفته و مزایای قابل توجهی داشته باشد. مطالعه حاضر می‌تواند الگوی خوبی برای طراحان و بهره‌برداران خطوط انتقال باشد.

کلمات کلیدی: آب بدون درآمد، هدررفت آب، مدیریت فشار، خطوط انتقال

### ۱. مقدمه

آب پس از استحصال و تصفیه می‌بایست توسط لوله (خطوط انتقال) یا به وسیله تانکر به سمت محل مصرف انتقال یابد. در انتقال آب توسط خطوط لوله، تأسیسات مختلفی از جمله ایستگاه‌های پمپاژ، شیرخانه‌ها، انواع شیرآلات و اتصالات در طول مسیر لازم می‌باشد. این لوله‌ها عموماً دارای اقطار بالا بوده و نسبت به سایر اجزاء سیستم آبرسانی دارای عمق بیشتری می‌باشند. همچنین بسته به نیاز سیستم، فشارهای بالاتری را باید تحمل نموده و آب مصرفی را با تلفات کمتر و بدون اینکه در مسیر خود خساراتی به نواحی و مناطق اطراف وارد نماید و نیز بدون آلودگی بدست مصرف کننده برسانند.

طراحی، اجرا و بهره‌برداری صحیح سه رکن اساسی برای داشتن خطوط انتقال مناسب و در نتیجه رسیدن به هدف سیستم یعنی آبرسانی به نقطه مورد نظر با شرایط مناسب می‌باشد. در طراحی سیستم آبرسانی تعیین مسیر لوله‌ها، انتخاب تأسیسات مناسب مانند ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن و شیرآلات و ... و انتخاب لوله با قطر و جنس مناسب حائز اهمیت هستند. اجرای صحیح طرح آبرسانی لازم‌الاجرا بوده ضمن آنکه باعث کاهش مشکلات بهره‌برداری نیز می‌گردد. عدم کارگزاری لوله‌ها در عمق مناسب، بسترسازی و پرسازی نامناسب ترانشه‌ها، عدم نصب صحیح اتصالات،



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور



## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

استفاده از قطعات نامرغوب و عدم تست فشار پس از نصب لوله‌ها از جمله موارد اجرایی هستند که مشکلاتی را در پی خواهند داشت. حوادث سیستم آبرسانی از جمله مشکلاتی است که بهره برداران با آنها مواجه می‌شوند. قسمت عمده‌ای از این حوادث مربوط به طراحی و اجرای نامناسب بوده و مابقی آنها ناشی از عدم بهره برداری صحیح (مانند افزایش فشار ناشی از خرابی شیرهای فشار شکن) و یا عوامل ناخواسته‌ای مانند رانش زمین، سربارهای اضافی پیش بینی نشده و ... می‌باشد.

پیامدهای حوادث عبارتند از: افزایش آب بدون درآمد، افزایش آلودگی آب، کاهش رضایت‌مندی مشتریان و افزایش هزینه‌ها. بنابراین اقداماتی جهت کاهش حوادث منجر به کاهش آب بدون درآمد و هزینه‌ها خواهد شد. حوادث خطوط انتقال اغلب شکستگی‌های بزرگی بوده که به سرعت آشکار می‌گردد، زیرا تغییرات ناگهانی در ظرفیت انتقال ایجاد کرده و بالطبع بهره‌بردار سریعاً متوجه خواهد شد از طرف دیگر این خطوط عمیق‌ترین اجزای سیستم آبرسانی هستند، نشت‌های حادث شده در آنها به راحتی آشکار نشده و چه بسا برخی از نشت‌های به وقوع پیوسته، طی مدت زیادی ادامه یابد.

در بهره‌برداری از خطوط آبرسانی فشار از دو منظر حائز اهمیت است: اول اینکه تغییرات ناگهانی در فشار که اغلب به صورت بالا رفتن فشار رخ می‌دهد 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 می‌گردد. لذا مدیریت فشار از دیدگاه آب بدون درآمد مهم تلقی می‌شود.

مدیریت فشار عبارت است از اعمال کنترل روی فشارهای سیستم جهت رسیدن به یک سطح فشار بهینه، مناسب برای سیستم آبرسانی به گونه‌ای که علاوه بر حذف تغییرات و ناپایداری در فشار، حداقل فشار لازم برای تأمین حقوق قانونی مشتریان و مصرف‌کنندگان فراهم گردد. ابزار زیادی برای اعمال مدیریت فشار وجود دارد، از جمله: کنترل پمپها، کنترل‌های ارتفاعی، احداث مخازن تعادلی و نصب شیرهای کاهش فشار یا نگه‌دارنده فشار. از جمله منافع مدیریت فشار می‌توان به کاهش هزینه تعمیرات، تعمیرات اضطراری کمتر، برنامه‌ریزی بهتر و رضایت بیشتر مشتریان اشاره نمود [۱].

بعد از کارگذاشتن لوله‌های شبکه، در میان تمام عواملی که بر میزان نشت و حوادث تأثیر می‌گذارند، تنها مدیریت فشار لوله‌هاست که قابل کنترل بوده و راه حلی عملی، موثر 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 مدل‌های هیدرولیکی می‌باشد. در واقع برای هر نوع نشتی، کاهش فشار سیستم توزیع می‌تواند نرخ اتلاف آب از طریق آن نشت را کاهش دهد.

در زمینه مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب تحقیقات و اقدامات زیادی انجام شده است. از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در این زمینه افراد زیادی چون Lambert, 2003, Marunga et al, 2006, Walski et al, 2006, تابش و هومهر، ۱۳۸۶، کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵ و جلیلی قاضی‌زاده و صالحی، ۱۳۸۶ تحقیقاتی انجام داده‌اند [۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷]. Thornton نشان داد که هم بزرگی نشت و هم رخداد نشت‌های جدید با کاهش و ثبات فشار در سیستم کاهش می‌یابند، 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 می‌شود بلکه باعث کاهش نشت‌های جدید نیز می‌شود [۹]. Farely و Trow در سال ۲۰۰۷ نموداری ارائه نمودند که ارتباط تعداد حوادث با فشار متوسط شبانه چند DMA در انگلستان را نشان می‌دهد [۱۰]. همچنین Thornton و Lambert در سال ۲۰۰۶ نمونه‌هایی از نتایج مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان که نشان‌دهنده نقش چشمگیر فشار بر نرخ وقوع حوادث می‌باشد را بصورت جدولی ارائه نمودند [۱].

علیرغم مطالعات زیادی که در مورد کاربرد مدیریت فشار در شبکه‌های آبرسانی شده است گزارش‌های محدودی از کاربرد مدیریت فشار در خطوط انتقال گزارش شده است. در مطالعه حاضر نتایج اعمال مدیریت فشار در یک خط انتقال مورد بررسی قرار گرفته است.

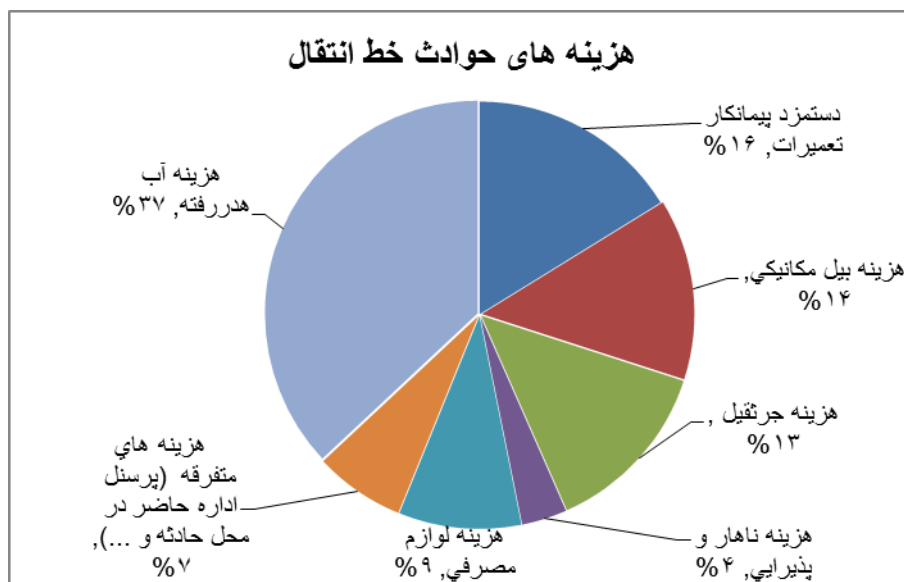
## ۲. مواد و روش‌ها

شهر سجزی در فاصله ۳۵ کیلومتری شرق شهر اصفهان (مرکز استان) در تراز ارتفاعی ۱۶۰۲ متر از سطح دریا قرار دارد. این شهر با جمعیتی بالغ بر شش هزار نفر در نزدیکی کویر بوده و با رودخانه زاینده رود ۲۱ کیلومتر فاصله دارد و به علت شیب موجود امکان برداشت آب جهت شرب و کشاورزی از آن رودخانه میسر نیست. تا ۵ سال پیش آب شرب شهر از دو حلقه چاه تأمین می‌شد و با توجه به شوری آب منطقه طرح آبرسانی آب تصفیه به این شهر

اجرا گردید. آب شرب مورد نیاز شهر سجزی از تصفیه‌خانه آب بابا شیخعلی که در ۴۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان قرار دارد تأمین می‌گردد. 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 را تحت پوشش قرار می‌دهد. آب شرب شهر سجزی که در منتهی‌الیه یکی از خطوط انتقال شرق قرار دارد توسط خط انتقالی به طول ۳۸ کیلومتر که از لوپ آبرسانی شهر اصفهان منشعب شده و از جنس آریست سیمان و با اقطار ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۵۰، ۳۰۰ و ۲۵۰ میلیمتر تأمین می‌گردد. اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای خط ۴۲ متر می‌باشد. ماکزیم فشار در ابتدای خط حدود ۷ بار می‌باشد. دو سال قبل و پس از سه سال بهره‌برداری از این خط، از مخزن ۷۰۰۰۰ مترمکعبی گورت خط لوله ای به ابتدای خط مذکور اتصال داده شد. تراز ارتفاعی این مخزن با انتهای خط (شهر سجزی) ۱۲۳ متر اختلاف دارد.

در طول یک سال پس از اتصال به مخزن ۲۴ حادثه بر روی خط انتقال شهر سجزی رخ داد که نه تنها باعث دردسر دائمی بهره‌برداران شهر شده بود بلکه موجب افزایش هدررفت آب و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری گشته بود. کل هزینه تحمیل شده شامل هزینه‌های تجهیزات، لوازم مصرفی، پرسنلی، متفرقه و هزینه آب هدررفته بالغ بر ۳۱۶۰۰ دلار در سال بود. از طرف دیگر رخداد حادثه و پس از آن تعمیرات، قطع متناوب آب را به دنبال داشت که ساعتها بطول می‌انجامید که کم کم باعث نارضایتی‌های اجتماعی در مشترکین شهر شده بود. علاوه بر این، قطع و وصل آب موجب هواگرفتنی خط انتقال شده که بدلیل عدم کفایت شیرهای هوا در طول خط، احتمال وقوع حادثه افزایش یافته بود. موارد ذکر شده سبب گردید که به مشکل موجود توجه بیشتری گردد.

نمودار شکل ۱ هزینه حوادث خط انتقال را به تفکیک نوع هزینه نشان می‌دهد. آنچه که در نمودار مشاهده می‌شود آن است که هزینه آب هدررفته بسیار بالاتر از سایر هزینه‌ها می‌باشد و بیش از یک سوم کل هزینه‌ها را به خود اختصاص داده است. و این در حالی است که کشور ایران با بحران خشکسالی و بی‌آبی روبروست. از طرف دیگر در این نمودار هزینه‌های اجتماعی ناشی از حوادث نیز ارائه نشده‌اند زیرا تا حد زیادی نمی‌توان آن را به صورت عدد و رقم نشان داد، در صورتی که مهمترین بخش هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد. نارضایتی مشترکین از قطع آب، آلودگی آب به علت ورود گل و خاک در حین نشت و تعمیرات و ایجاد بیماری و در پی آن مشکلات جسمی و روحی که در اثر خوردن آب آلوده رخ می‌دهد و .... از جمله موارد اجتماعی پدید آمده توسط حوادث است که در جایی ثبت و محاسبه نمی‌شود.



شکل ۱- هزینه ناشی از حوادث به تفکیک نوع هزینه

در مرحله اول شناسایی علل آن مدنظر قرار گرفت. با بررسی‌های انجام شده علل رخداد حوادث بصورت زیر شناسایی شد:

- ۱- عدم طراحی صحیح خط انتقال (عدم پیش بینی شیر فشارشکن مناسب بر روی خط و همچنین عدم تعبیه شیر هوا جهت تخلیه هوای داخل خط پس از رفع حوادث)

۲- استفاده از ۲ کیلومتر لوله نامناسب در اجرای طرح

۳- اتصال ابتدای خط انتقال به مخزن گورت سه سال پس از بهره‌برداری خط و در نتیجه افزایش فشار خط

### مدیریت فشار:

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 خط انتقال

۲- تعویض لوله‌های نامناسب

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 طول خط انتقال 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 ۳۰۰ میلیمتر بر روی خط بعد از محل اتصال مخزن گورت به خط مذکور نصب گردید و به گونه ای تنظیم شد که فشار خروجی از شیر در حدود ۵۰٪ کاهش یافت.

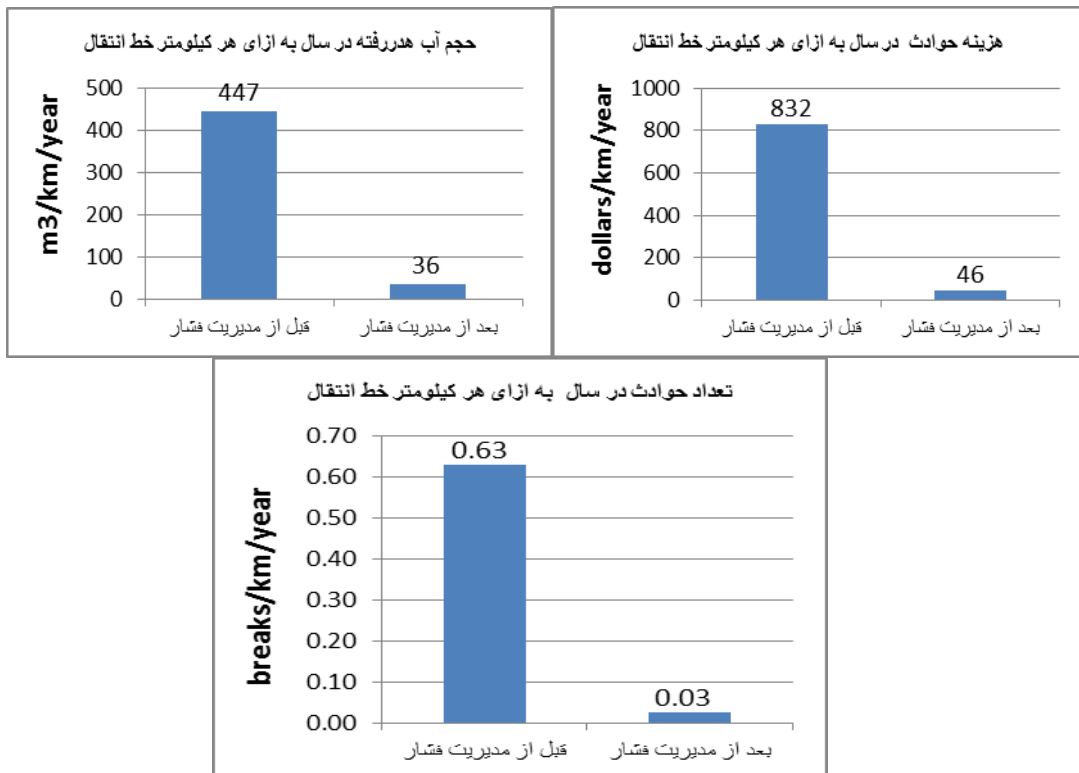
### ۳.۲. بحث و نتایج

جهت بررسی نتایج اقدامات صورت گرفته و محاسبه دقیق مقدار آب هدررفته ناشی از حوادث خط انتقال 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، پرسنلی و متفرقه) و هزینه آب هدررفته محاسبه گردید. از جمله نتایج تشکیل این بانک اطلاعاتی تعیین بیشترین نحوه شکستگی در حوادث رخ داده بود که عمدتاً بصورت ترک گزارش گردیده که دلیل محکمی بر نامناسب بودن جنس لوله‌ها می‌باشد. همچنین موقعیت حوادث بر روی خط در محدوده دو کیلومتر گزارش شده بود که با بررسی‌های بیشتر بر روی لوله‌های آن محدوده این نتیجه حاصل شد که در این فاصله از لوله‌های نامرغوب جهت اجرای خط استفاده شده است.

با قراردادن تاریخ اجرای مدیریت فشار به عنوان مبنای محاسبات، ۲۴ حادثه در سال، قبل از اجرای طرح بر روی خط انتقال سجری رخ داد که پس از آن به ۱ حادثه در سال کاهش یافت. همچنین مقدار آب هدررفته ناشی از این حوادث از ۱۷٪ آب مصرفی شهر سجری به ۱٪ کاهش یافت (به علت عدم اندازه‌گیری دقیق مقدار تولید آب، مقدار هدررفت نسبت به مقدار آب مصرفی شهر سنجیده شد). با انجام مدیریت فشار از هدررفت سالانه حدود ۱۵۰۰۰ مترمکعب جلوگیری شده و همچنین ۳۰۰۰۰ دلار در سال (مجموع هزینه‌های تجهیزات، لوازم مصرفی، پرسنلی، متفرقه و هزینه آب هدررفته) ذخیره می‌گردد که در کاهش سایر بخش‌های آب بدون درآمد در این شهر می‌توان سرمایه‌گذاری نمود.

نمودارهای شکل ۲ به ترتیب حجم آب هدررفته، هزینه ناشی از حوادث خط انتقال و تعداد حوادث را به ازای هر کیلومتر در سال، قبل و بعد از مدیریت فشار نشان می‌دهند. کاهش چشمگیر این سه شاخص نشاندهنده تأثیرات مثبت طرح اجرا شده می‌باشد.



شکل ۲ - حجم آب هدررفته، هزینه حوادث و تعداد حوادث قبل و بعد از انجام مدیریت فشار

### بررسی اقتصادی:

بررسی اقتصادی طرح به منظور انتخاب گزینه‌های پیشنهادی جهت حل مشکل با استفاده از روش نسبت سود به هزینه انجام گرفت. این روش یک روش کاربردی و معروف در ارزیابی طرح‌های دولتی به حساب می‌آید. با دوره زمانی ۵ ساله و نرخ تورم ۱۵٪ محاسبات انجام شد. جدول ۱ خلاصه‌ای از بررسی اقتصادی گزینه‌های مطرح شده را ارائه می‌کند.

همانطور که جدول ۱ نشان می‌دهد در دوره زمانی ۵ ساله گزینه تعویض ۲ کیلومتر لوله خط انتقال غیراقتصادی بوده و مدیریت فشار یک طرح کاملاً اقتصادی می‌باشد. از طرف دیگر ممکن است این شبهه ایجاد شود که انتخاب یک دوره زمانی ۵ سال برای یک خط انتقال صحیح نبوده و معمولاً خطوط انتقال برای دوره‌های ۳۰ ساله طراحی می‌شوند. بدین منظور مجدداً نسبت سود به هزینه برای هر دو گزینه با دوره ۳۰ ساله محاسبه شد. در این حالت با توجه به اینکه عمر مفید شیر فشارشکن اغلب ۵ سال می‌باشد این پیش‌بینی در نظر گرفته شد که هر ۵ سال یکبار شیر فشارشکن تعویض شود.

هزینه تعویض شیر نیز در محاسبه هزینه‌ها لحاظ شد. در این حالت هر دو گزینه اقتصادی می‌باشد لیکن در بین گزینه‌ها آنکه دارای هزینه اولیه کمتری می‌باشد (مدیریت فشار)، انتخاب می‌گردد.

جدول ۱- بررسی اقتصادی گزینه های مطرح شده جهت حل مشکل

عنوان	مدیریت فشار (خرید و نصب شیر فشارشکن)	اصلاح خط انتقال (تعویض ۲ کیلومتر لوله خط انتقال)
هزینه سرمایه گذاری (دلار)	۲۷۰۰	۱۶۵۰۰۰
هزینه بهره برداری (دلار/سال)	۴۵۰	ناچیز
صرفه جویی در هزینه (سود) (دلار/سال)	۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
نسبت سود به هزینه (دوره زمانی ۵ سال و نرخ ۱۵٪)	۲۳,۶۸	۰,۶
نسبت سود به هزینه (دوره زمانی ۳۰ سال و نرخ ۱۵٪)	۱,۱۱	۱,۲

#### ۴. نتیجه گیری

در این مقاله دو گزینه برای کاهش حوادث خط انتقال 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 خط انتقال اجرا شده و اصلاح آن به عنوان گزینه دراز مدت جوابگو خواهند بود. محاسبه سه شاخص هزینه رفع حادثه، تعداد حوادث و حجم آب هدررفته به ازای هر کیلومتر از طول خط انتقال به خوبی نتیجه طرح مدیریت فشار به عنوان یک گزینه کوتاه مدت را نشان می دهد.

#### ۵. 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 آب رسانی 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/>