

## Economical Review of the Use of Thin Wall Ductile Iron Pipes Compared to Polymer and Composite pipes

Mehrdad Rashidzadeh\*

M.Sc., Materials Engineering, Supervisor of Product Innovation and Development, Hamoun Nyzeh Company, Kashan, Iran.

\*Corresponding Author, Email: rashidzadeh@hanyco.net

Received: 31/5/2017

Revised: 9/10/2017

Accepted: 10/10/2017

### Abstract

As the time is going elapsing and science and technology become developed, various type of pipe that was made from different materials introduced to market. This issue makes an intense rivalry between pipe manufacturers. Multiple factors are important for choosing most suitable pipe for use in drinking water distribution pipelines. Technical characteristics should be matched with desired performance. Investigation of cost effectiveness of pipe materials in short and long term usages is essential. In some cases, a pipe material has low cost and it seems more cost effective than other pipes but repair and maintenance cost is more than other pipes. Ductile iron pipes have some advantages in comparison with plastic, steel and GRP pipes but in the field of weight and cost effectiveness, there are some critics. New developments led to introduction of new generation of ductile iron pipe. Light and low thickness ductile iron pipe that can plug to plastic pipes easily or replaced by damaged plastic pipes in pipelines is the new solution that represented according to the last developments in ductile iron pipes production technology. It is very reasonable to use this kind of ductile iron pipe in comparison with other pipe materials. Economic reviews show that use of low thickness ductile iron pipe can improve the cost effectiveness factor to about 50% in comparison with common ductile iron pipes. Low thickness ductile iron pipes are really light, resistant to corrosion, little head loss in pipe line, easy tapping with restriction of illegal tapping, compatibility with plastic pipes and low leak tightness that happens in pipelines can achieve about 20% cost reduction.

**Keywords:** Cost effectiveness, Ductile Iron, Light weight, Low thickness pipes, Pipe.

## بررسی صرفه اقتصادی استفاده از لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن در مقایسه با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی

مehرداد رشیدزاده\*

کارشناسی ارشد مهندسی مواد، سرپرست نوآوری و توسعه محصول، شرکت هامون نایزه، کاشان

\* نویسنده مسئول، ایمیل: rashidzadeh@hanyco.net

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۸

### چکیده

با گذشت زمان و پیشرفت علم و تکنولوژی، انواع متعددی از لوله‌ها که از مواد مختلف تولید شده‌اند به بازار معرفی شده است. این موضوع باعث شده که رقابت شدیدی بین تولیدکنندگان لوله‌ها وجود داشته باشد. فاکتورهای متعددی در انتخاب مناسب‌ترین جنس لوله برای به کارگیری در خطوط توزیع آب آشامیدنی تعیین‌کننده هستند. علاوه بر این که لوله مورد استفاده باید از لحاظ کارایی و مشخصات فنی با کاربرد مورد نظر هم‌خوانی داشته باشد، لازم است میزان صرفه اقتصادی استفاده از یک نوع لوله خاص در کوتاه‌مدت و بلندمدت مورد توجه و بررسی دقیق قرار گیرد. در برخی موارد قیمت پایین‌تر یک نوع لوله باعث می‌شود که در نگاه اول استفاده از این نوع لوله در خطوط توزیع آب آشامیدنی منطقی‌تر از دیگر رقبای آن به نظر برسد، ولی هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ترمیم شبکه فرسوده در بلندمدت نتیجه متفاوتی را منعکس می‌کند. لوله‌های چدن نشکن علی‌رغم داشتن برتری‌های متعدد نسبت به لوله‌های رقیب خود مانند لوله‌های پلی‌اتیلنی، فولادی، GRP و ... به دلیل وزن نسبتاً بالا و عدم صرفه اقتصادی با انتقاداتی روبرو بودند. پیشرفت‌های جدید باعث شده است که نسل جدیدی از لوله‌های چدن نشکن با عنوان لوله‌های چدن نشکن جداره نازک سبک به بازار مصرف معرفی شوند. این لوله‌ها از لحاظ اندازه، کاملاً با لوله‌های پلیمری مطابقت داشته و قابلیت اتصال به لوله‌های پلیمری را دارند. همچنین می‌توان این نوع از لوله‌ها را برای جایگزینی با لوله‌های پلیمری فرسوده مورد استفاده قرار داد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک می‌تواند تا ۵۰٪ کاهش هزینه را نسبت به استفاده از لوله‌های چدن نشکن متداول به همراه داشته باشد. از لحاظ کاربردی برآوردها نشان می‌دهد که لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن با توجه به وزن سبک، مقاومت بالا در برابر خوردگی، میزان بسیار کم افت فشار در شبکه، انشعاب‌گیری آسان در عین جلوگیری از انشعاب‌گیری‌های غیرقانونی، هم‌خوانی با لوله‌های پلی‌اتیلنی و آمار بسیار پایین بروز نشتی در خطوط لوله، به طور متوسط ۲۰٪ کاهش هزینه را به همراه خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** لوله، چدن نشکن، جداره‌نازک، سبک، صرفه اقتصادی.

نشکن جدارنازک جدیدترین محصولی است که برای رقابت با وزن کم، قیمت پایین و سهولت در حمل لوله‌های پلی‌اتیلنی و کامپوزیتی معرفی شده است. کمپانی‌های بزرگ تولیدکننده لوله‌های چدن نشکن امیدوارند که با استفاده از این نوع لوله‌ها بتوانند مزایای لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی را در کنار خواص منحصر به فرد چدن نشکن به مصرف‌کنندگان ارائه نمایند. در این صورت می‌توان گفت که لوله‌های چدن نشکن تا حد زیادی معادلات بازار را بهم خواهند زد و با توجه به اینکه لوله‌های چدن نشکن جدارنازک با اندازه‌هایی کاملاً هم‌خوان با لوله‌های پلیمری تولید می‌شوند، در صورتی که از لحاظ قیمت به صرفه‌تر باشند، می‌توانند سهمی از بازار لوله‌های پلیمری را به خود اختصاص دهند. شرکت PAM فرانسه از جمله پیشتازان در این زمینه است. این شرکت با معرفی محصول خود با نام Blutop توانسته است نظر بسیاری از کارشناسان در حوزه آب را به خود جلب نماید (Tsakiris and Tsakiris, 2012). مقایسه قیمت بین انواع مختلف لوله را نمی‌توان تنها براساس قیمت اولیه تمام شده خط لوله انجام داد. سرویس و نگهداری بعد از نصب، فراوانی آسیب‌های وارده در طول مدت عمر لوله، امکان و هزینه بازیافت لوله بعد از اتمام طول عمر آن، کاهش میزان انشعاب‌گیری‌های غیرمجاز و سهولت انجام عملیات جانبی مانند انشعاب‌گیری از جمله مواردی است که باید در مقایسه قیمت انواع لوله در نظر گرفته شود.

## ۲- مقایسه مشخصات کلی لوله‌های پلیمری، فلزی و کامپوزیتی

در زمان طراحی یک خط لوله جدید یکی از مهم‌ترین تصمیماتی که باید اتخاذ شود، انتخاب نوع لوله مناسب است. این انتخاب به فاکتورهای متعددی بستگی دارد که از میان آن‌ها قیمت تمام شده یکی از مهم‌ترین فاکتورها است. همچنین قابلیت اطمینان، بازه فشاری مجاز، قطرهای موجود، زمان مورد نیاز برای نصب، طول عمر و امکان تهیه لوله و اتصالات آن در تمام طول عمر خط لوله از بازار از جمله دیگر عوامل قابل توجه در انتخاب لوله‌ها می‌باشند. نمی‌توان به‌طور قطع گفت که کدام نوع لوله برای یک کاربرد خاص مناسب‌تر است. مثلاً در دهه هفتاد لوله‌های سیمانی آریستی به عنوان گزینه‌ای پرطرفدار در لوله‌های با قطر پایین و با فشار پایین مطرح بودند. در دهه ۸۰

بی‌شک مهم‌ترین رکن در سیستم انتقال آب از منابع اصلی به دست مصرف‌کنندگان، خطوط لوله می‌باشند. یک خط لوله از اجزای مختلفی مانند لوله‌ها، اتصالات، شیرها و ... تشکیل شده است که هر یک به‌نوبه خود از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. در سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و پیچیده‌تر شدن زیرساخت‌های شهری، پیشرفت‌های بسیاری در زمینه تولید و ساخت اجزای خط لوله از جنس‌های مختلف حاصل شده است. لوله‌های مورد استفاده در خطوط انتقال آب از مواد مختلفی تهیه می‌شوند و مصرف‌کنندگان نسبت به بودجه، کاربرد و شرایط محیطی محل نصب یکی از این نوع لوله‌ها را بعد از بررسی انتخاب کرده و مورد استفاده قرار می‌دهند. پیشرفت‌های چشم‌گیر در فرایند تولید لوله‌های انتقال آب را می‌توان از جهاتی ناشی از رقابت تنگاتنگ شرکت‌های تولید این نوع لوله‌ها با هم دانست. لوله‌های پلی‌اتیلنی، فولادی، چدن نشکن، PVC، GRP، سیمان آریست و ... از جمله لوله‌هایی هستند که به طور گسترده‌ای در شبکه‌های انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع لوله‌ها همیشه بر اساس اندازه، وزن، پوشش داخلی و خارجی، ضریب هیزن - ویلیامز، روش‌های نصب و قیمت مورد مقایسه بوده‌اند. هیچ‌گاه نمی‌توان گفت که یک نوع لوله به‌طور مطلق از انواع دیگر برتر است و در تمام زمینه‌ها نتیجه بهتری را به مصرف‌کننده خواهد داد. موسسه تحقیقاتی لوله چدن نشکن آمریکا (DIPRA)<sup>۱</sup> با مقایسه‌ای که بین قابلیت‌های انواع مختلف لوله داشته است، معمولاً کفه ترازو را به سمت لوله‌های فلزی و به خصوص لوله‌های چدن نشکن سنگین‌تر دانسته است (DIPRA, 2016a). این در حالی است که تولیدکنندگان لوله‌هایی از جنس متفاوت با این مقایسه مخالف هستند. در این مقاله به بررسی مزایا و معایب انواع مختلف لوله‌ها از زوایای مختلف پرداخته شده و تا حد امکان این موارد مورد مقایسه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر برخی از تولیدکنندگان لوله‌های چدن نشکن با توجه به پیشی گرفتن رقبا در برخی از زمینه‌ها، سعی بر آن داشته‌اند که با تغییرات اساسی در روش تولید و طراحی کلی لوله‌ها و اجزای خطوط لوله، مجدداً جایگاه خود را به عنوان یکی از انتخاب‌های اول در میان انواع دیگر لوله‌ها برای استفاده در خط لوله حفظ نمایند. براین اساس، لوله‌های چدن

لوله‌های PVC به عنوان گزینه اول مطرح شدند. در سال‌های اخیر لوله‌های پلی‌اتیلنی مورد توجه قرار گرفته‌اند، این در حالی است که لوله‌های چدن نشکن و لوله‌های GRP در سال‌های اخیر به رقبایی بسیار جدی تبدیل شده‌اند. لوله‌های فولادی با پوشش خارجی اپوکسی و پوشش داخلی سیمان و پلی‌ورتان توانسته‌اند تا حدودی از نگرانی‌های مربوط به خوردگی لوله‌های فولادی کم کنند. جدول ۱ مزایا و معایب مربوط به هر یک از لوله‌های پرکاربرد در خطوط لوله را نمایش می‌دهد. موارد دیگری مانند موجود بودن لوله و اتصالات در هر زمان که نیاز به تعویض جزیی از خط لوله به وجود آید، در دسترس بودن لوازم جانبی و یدکی و همچنین نزدیکی به کارخانه تولیدکننده برای جلوگیری از صادرات یا حمل طولانی‌مدت بار، می‌تواند از دیگر عوامل مهم در انتخاب یک نوع خاص از لوله باشد.

وزن بالای لوله‌های چدن نشکن معمولی مقوله‌ای انکارناپذیر است که در اندازه‌های پایین باعث برتری بیشتر لوله‌های پلی‌اتیلنی نسبت به لوله‌های چدن نشکن خواهد شد. از سوی دیگر داشتن دو لایه پوشش مقاوم در برابر خوردگی که عموماً شامل یک لایه پوشش فلز روی و یک لایه رنگ بیتومن، اپوکسی یا هر پوشش محافظ دیگر است، به‌نوبه خود می‌تواند

یک مزیت محسوب شود نه یک کاستی. با توجه به خاصیت حفاظتی فلز روی و استحکام پوشش، می‌توان نتیجه گرفت که احتمال آسیب دیدن پوشش لوله‌های چدنی در صورت حمل صحیح و کارگذاری مناسب بسیار کم است. از سوی دیگر خاصیت ذاتی مقاومت در برابر خوردگی در چدن نشکن باعث خواهد شد تا حتی با آسیب دیدن پوشش محافظ، اختلالی در عملکرد پوشش به‌وجود نیامده و مقاومت در برابر خوردگی در طول عمر مفید لوله همچنان حفظ شود.

با توجه به جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که یکی از مهم‌ترین مزیت‌های لوله‌های فلزی نسبت به لوله‌های پلیمری، نشت‌یابی آسان‌تر این لوله‌ها است. لذا با توجه به بالا رفتن عمر اجزای خط لوله با گذشت زمان، نشت‌یابی یکی از عواملی است که در طول عمر یک خط لوله و هزینه کلی مورد نیاز یک خط لوله در طول عمر کاری خود تاثیرگذار خواهد بود. از سوی دیگر تعداد شکست‌ها و آسیب‌های وارده به خطوط لوله نیاز به عملیات نشت‌یابی و جایگزینی اجزای آسیب‌دیده را در بر خواهد داشت. هزینه ترمیم یک خط لوله بعد از نصب، بسیار تعیین‌کننده است. در بسیاری از موارد مصرف‌کنندگان لوله‌هایی را انتخاب می‌کنند که قیمت تمام‌شده اولیه آن‌ها برای تکمیل یک خط

جدول ۱- مقایسه لوله‌های انتقال آب با جنس‌های مختلف از لحاظ مزایا و معایب (Vosoughifar and Rahbaripour, 2011).

مزایا	کاستی‌ها	جنس لوله
استحکام و سفتی مقاومت به خوردگی در برابر بسیاری از انواع خاک‌ها و آب‌ها اتصال منعطف می‌تواند برای تامین مقداری انحراف استفاده شود	خطر آریست برای سلامتی انسان مستعد به آسیب دیدن در برابر ضربه استحکام شعاعی پایین مستعد به خوردگی در خاک‌های خاص جایگذاری مشکل نشت‌یابی سخت‌تر نسبت به لوله‌های فلزی و فرآیند ترمیم پیچیده	لوله‌های سیمان آریستی (AC)
استحکام مکانیکی بالا مقاومت به خوردگی مناسب سهولت در اتصال سهولت در نصب محل نشت به راحتی قابل تشخیص است	وزن بالا مستعد به خوردگی در صورت آسیب جدی به پوشش اتصال‌های گران‌قیمت مقاومت به شوک پایین پوشش خارجی دولایه نیاز است ترمیم سخت	چدن نشکن (DI)
استحکام مکانیکی و مقاومت به شوک بالا قابلیت انحراف بدون شکست وزن کمتر نسبت به لوله‌های چدن نشکن سهولت نصب لوله‌هایی با قطر بالا سهولت ترمیم در محل نصب	مستعد به خوردگی نیاز به پوشش دولایه	فولاد (Steel)
وزن سبک مقاوم به خوردگی سهولت در اتصال	استحکام مکانیکی پایین دشواری جایگذاری نشت‌یابی سخت و استحکام قطری پایین	پلاستیک تقویت‌شده با فیبر شیشه (GRP)
مقاومت به خوردگی وزن سبک و انعطاف‌پذیری سهولت در اتصال	مستعد به آسیب در برابر ضربه آسیب‌پذیری در برابر اشعه ماوراء بنفش دشواری جای‌گذاری نشت‌یابی سخت استحکام قطری پایین برای اقطار بزرگ مناسب نیستند	پلی‌وینیل‌کلراید (PVC)
مقاومت به خوردگی سبک و انعطاف‌پذیر اتصال می‌تواند جوش شود اقطار پایین به راحتی ترمیم می‌شود	سختی نصب نشت‌یابی سخت نیاز اتصال جوشی به مهارت نصاب و تجهیزات گران‌قیمت استحکام قطری پایین برای اندازه‌های بالا مناسب نیست	پلی‌اتیلن (MDPE/HDPE)

لوله پایین تر از انواع دیگر لوله‌ها است ولی در طول زمان، مخارج مربوط به تعمیر و نگهداری لوله مذکور تا حدی بالا است که تمام صرفه‌جویی‌های اولیه در هزینه خرید را جبران می‌کند. به همین منظور طبق آمار حوادث رخ داده در شهر تهران طی دوره یک‌ساله از ۱۳۹۰/۰۱/۰۱ الی ۱۳۹۰/۱۲/۲۹ که از مرکز اطلاع‌رسانی و سامانه ۱۲۲ شرکت آب و فاضلاب استان تهران دریافت شده است میزان شکستگی‌های رخ داده در خطوط لوله موجود در شهر تهران به تفکیک جنس لوله به شرح جدول ۲ است.

همچنین محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۶ بار، ۱۰ بار و ۱۶

جدول ۲- فرکانس شکستگی خطوط لوله به تفکیک جنس لوله.

نوع لوله	فرکانس شکستگی (سال/کیلومتر/تعداد)
چدن نشکن	۰/۰۱
پلی اتیلن	۰/۲۱
فولاد	۰
آزبست	۰/۲۰
سایر	۰/۰۴
کل	۰/۴۶

بار که فراوان ترین فشارهای مورد استفاده در شبکه توزیع آب هستند، در جدول ۳ تا ۵ به تفکیک جنس لوله ارائه شده است. فرکانس شکستگی لوله‌های فلزی در حدود بیست برابر کم‌تر از لوله‌های پلیمری است. این در حالی است که طول عمر مفید لوله‌های پلیمری (به‌عنوان مثال لوله‌های پلی اتیلنی) در حدود ۵۰ سال است و طول عمر لوله‌های چدن نشکن بیش از ۸۰ سال تخمین زده شده است. بنابراین به نظر می‌رسد صرف‌نظر از قیمت تمام‌شده اولیه، هزینه تعمیر و تعویض خطوط لوله پلیمری بسیار بیش‌تر از خطوط لوله فلزی و به‌خصوص لوله‌های چدنی است. در میان لوله‌های فلزی مطرح، لوله‌های فولادی، در اندازه‌های بسیار پایین که عملاً سهم زیادی را در شبکه توزیع به خود اختصاص می‌دهند کاربرد ندارند و قابلیت‌های لوله‌های فولادی در اندازه‌های بالا آشکار می‌شود؛ اما لوله‌های چدن نشکن توانسته‌اند با توجه به تمام کاستی‌هایی که بر آن‌ها وارد می‌دانند خود را در این بازار مطرح کنند.

### ۳- مقایسه لوله‌های پلیمری و چدن نشکن معمولی از لحاظ قیمت

از نظر قیمت اولیه، لوله‌های چدن نشکن را می‌توان در مقایسه

جدول ۳- محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۶ بار

جنس لوله	فرکانس شکستگی (تعداد/کیلومتر/سال)	مدت شکستگی (روز)	دبی شکستگی ( $m^3/hr$ )	فشار متوسط (متر)	تلفات از شکستگی ( $m^3/Km/Year$ )
پلی اتیلن	۰/۲	۱/۵	۱۲	۶۰	۱۰۵/۲
UPVC	۰/۲	۱/۵	۱۲	۶۰	۱۰۵/۲
GRP	۰/۲	۱/۵	۱۲	۶۰	۱۰۵/۲
فولادی	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۶۰	۵/۳
چدن نشکن	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۶۰	۵/۳

جدول ۴- محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۱۰ بار

جنس لوله	فرکانس شکستگی (تعداد/کیلومتر/سال)	مدت شکستگی (روز)	دبی شکستگی ( $m^3/hr$ )	فشار متوسط (متر)	تلفات از شکستگی ( $m^3/Km/Year$ )
پلی اتیلن	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۱۸۲/۷
UPVC	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۱۸۲/۷
GRP	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۱۸۲/۷
فولادی	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۹/۱
چدن نشکن	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۰۰	۹/۱

جدول ۵- محاسبه حجم تلفات ناشی از شکستگی‌های گزارش شده در هر کیلومتر لوله در سال برای فشار ۱۶ بار

جنس لوله	فرکانس شکستگی (تعداد/کیلومتر/سال)	مدت شکستگی (روز)	دبی شکستگی (m <sup>3</sup> /hr)	فشار متوسط (متر)	تلفات از شکستگی (m <sup>3</sup> /Km/Year)
پلی اتیلن	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۳۰۳/۴
UPVC	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۳۰۳/۴
GRP	۰/۲	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۳۰۳/۴
فولادی	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۱۵/۲
چدن نشکن	۰/۰۱	۱/۵	۱۲	۱۶۰	۱۵/۲

از سویی اگر آمار میزان شکستگی لوله‌های چدن نشکن در جداول ۳ الی ۵ با هم مقایسه شوند به خوبی مشخص می‌شود که میزان شکستگی لوله‌های چدن نشکن حدود ۲۰ برابر کمتر از لوله‌های پلیمری است. در حالی که عمر کاری لوله‌های چدن نشکن حدود ۸۰ سال بوده و ۳۰ سال بیش از لوله‌های پلیمری عمر می‌کنند. این طول عمر بیش‌تر را می‌توان با عوامل متعددی توجیه نمود. بنابراین اگر قیمت لوله‌های چدن نشکن معمولی بدون احتساب هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بعدی، هزینه حمل و ... مورد بررسی قرار گیرد، لوله‌های چدن نشکن گران‌قیمت‌تر هستند. این در حالی است که در اندازه‌های پایین با توجه به عملکرد مناسب لوله‌های پلیمری و وزن سبک آن‌ها، عموماً توجهی به تعمیرات آبی خط لوله نشده و فقط بر روی زمان نصب خط لوله تمرکز می‌شود.

با لوله‌های پلی اتیلن، گران‌تر تلقی نمود. نمونه‌ای از محاسبه قیمت نصب لوله‌های PVC در مقایسه با لوله‌های چدن نشکن در جدول ۶ و ۷ ارائه شده است. این محاسبات برای برقراری ۱۰۰ متر خط لوله انجام شده است. مبنای محاسبات قیمت دلار معادل ۳۸۰۰۰ ریال بوده است.

بر این اساس ساخت خط لوله‌ای با ۱۰۰ متر طول با لوله چدن نشکن هزینه‌ای برابر با ۱/۶۳ برابر لوله PVC خواهد داشت. بر طبق محاسبات انجام شده، هزینه نصب با توجه به وزن بیش‌تر لوله‌های چدن نشکن و اتصالات متعدد استفاده شده در خطوط لوله چدن نشکن برای تغییر مسیر خط لوله نسبت به لوله‌های PVC افزایش یافته است، از سویی قیمت مواد مورد استفاده برای ساخت لوله‌های چدن طبیعتاً گران‌تر تمام خواهد شد. این در حالی است که ابزار و ادوات لازم تفاوت آن‌چنان زیادی با یکدیگر ندارند.

جدول ۶- محاسبه قیمت اجرای صد متر خط لوله از جنس PVC

اندازه لوله میلیمتر	طول کل متر	قیمت مواد		سرعت نصب متر/ساعت	هزینه تجهیزات آزمایشگاهی		هزینه پرسازی ترانشه		هزینه کل نصب	
		مجموع ریال	ریال/متر		مجموع	ریال/متر	مجموع	ریال/متر		
۱۰۰	۱۰۰	۷۱۴۴۰۰	۷۱۴۴۰	۱۵۰	۱۶۶۸۲۰	۱۶۶۸۲۰۰۰	۱۷۰۶۲۰	۱۷۰۶۲۰۰۰	۴۰۹۲۶۰	۴۰۹۲۶۰۰۰
۱۵۰	۱۰۰	۱۱۴۰۰۰	۱۱۴۰۰	۱۲۵	۲۰۰۲۶۰	۲۰۰۲۶۰۰۰	۱۹۵۷۰۰	۱۹۵۷۰۰۰۰	۵۰۹۹۶۰	۵۰۹۹۶۰۰۰
۲۰۰	۱۰۰	۲۳۹۴۰۰	۲۳۹۴۰	۱۱۵	۲۱۷۷۴۰	۲۱۷۷۴۰۰۰	۲۲۱۵۴۰	۲۲۱۵۴۰۰۰	۶۷۸۶۸۰	۶۷۸۶۸۰۰۰
۲۵۰	۱۰۰	۳۶۴۴۲۰	۳۶۴۴۲	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۲۴۷۰۰۰	۲۴۷۰۰۰۰۰	۸۶۱۸۴۰	۸۶۱۸۴۰۰۰
۳۰۰	۱۰۰	۵۱۳۳۸۰	۵۱۳۳۸	۱۰۰	۳۱۲۷۴۰	۳۱۲۷۴۰۰۰	۲۷۳۶۰۰	۲۷۳۶۰۰۰۰	۱۰۳۷۴۰۰	۱۰۳۷۴۰۰۰۰
۳۵۰	۱۰۰	۶۶۵۳۸۰	۶۶۵۳۸	۸۰	۳۹۱۰۲۰	۳۹۱۰۲۰۰۰	۳۰۰۵۸۰	۳۰۰۵۸۰۰۰	۱۲۷۸۷۰۰	۱۲۷۸۷۰۰۰۰
۴۰۰	۱۰۰	۹۱۴۲۸۰	۹۱۴۲۸	۶۴	۴۴۶۸۸۰	۴۴۶۸۸۰۰۰	۳۲۷۹۴۰	۳۲۷۹۴۰۰۰	۱۶۳۳۶۲۰	۱۶۳۳۶۲۰۰۰
۴۵۰	۱۰۰	۱۱۵۲۱۶۰	۱۱۵۲۱۶	۵۶	۵۰۰۴۶۰	۵۰۰۴۶۰۰۰	۳۵۶۰۶۰	۳۵۶۰۶۰۰۰	۱۹۵۵۴۸۰	۱۹۵۵۴۸۰۰۰
۵۰۰	۱۰۰	۱۰۳۴۷۴۰	۱۰۳۴۷۴	۵۰	۶۲۵۸۶۰	۶۲۵۸۶۰۰۰	۳۸۴۵۶۰	۳۸۴۵۶۰۰۰	۱۹۱۹۷۶۰	۱۹۱۹۷۶۰۰۰
۶۰۰	۱۰۰	۱۴۹۴۱۶۰	۱۴۹۴۱۶	۴۰	۷۰۲۵۳۰	۷۰۲۵۳۰۰۰	۴۴۳۰۸۰	۴۴۳۰۸۰۰۰	۲۵۶۳۱۰۰	۲۵۶۳۱۰۰۰۰
		مجموع			مجموع		مجموع		مجموع	
		مجموع ریال ۶۵۶۰۳۳۶۰۰۰۰۰۰			مجموع ریال ۳۸۱۰۴۷۳۰۰۰۰		مجموع ریال ۲۹۲۰۰۶۸۰۰۰۰		مجموع ریال ۱۰۲۸۴۰۷۸۰۰۰۰۰۰	

جدول ۷- محاسبه قیمت اجرای صد متر خط لوله از جنس چدن نشکن DIP

اندازه لوله	طول لوله	قیمت مواد		سرعت نصب	هزینه تجهیزات آزمایشگاهی		هزینه پرسازی ترانشه		هزینه کل نصب		
		ریال/متر	مجموع ریال		ریال/متر	مجموع	ریال/متر	مجموع	ریال/متر	مجموع	
۱۰۰	۱۰۰	۳۴۲۰۰۰	۳۴۲۰۰۰۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۱۷۰۶۲۰	۱۷۰۶۲۰۰۰	۷۶۳۰۴۰	۷۶۳۰۴۰۰۰	
۱۵۰	۱۵۰	۵۶۰۱۲۰	۵۶۰۱۲۰۰۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۱۹۵۷۰۰	۱۹۵۷۰۰۰۰	۱۰۰۵۸۶۰	۱۰۰۵۸۶۰۰۰	
۲۰۰	۲۰۰	۶۹۸۴۴۰	۶۹۸۴۴۰۰۰	۱۰۰	۲۵۰۴۲۰	۲۵۰۴۲۰۰۰	۲۲۱۵۴۰	۲۲۱۵۴۰۰۰	۱۱۷۰۴۰۰	۱۱۷۰۴۰۰۰۰	
۲۵۰	۲۵۰	۹۰۲۵۰۰	۹۰۲۵۰۰۰۰	۹۰	۲۷۸۱۶۰	۲۷۸۱۶۰۰۰	۲۴۷۰۰۰	۲۴۷۰۰۰۰۰	۱۴۲۷۶۶۰	۱۴۲۷۶۶۰۰۰	
۳۰۰	۳۰۰	۱۱۵۶۳۴۰	۱۱۵۶۳۴۰۰۰	۸۵	۲۹۴۵۰۰	۲۹۴۵۰۰۰۰	۲۷۳۶۰۰	۲۷۳۶۰۰۰۰	۱۷۲۴۴۴۰	۱۷۲۴۴۴۰۰۰	
۳۵۰	۳۵۰	۱۵۳۱۴۰۰	۱۵۳۱۴۰۰۰۰	۷۰	۳۵۷۵۸۰	۳۵۷۵۸۰۰۰	۳۰۰۵۸۰	۳۰۰۵۸۰۰۰۰	۲۱۸۹۵۶۰	۲۱۸۹۵۶۰۰۰	
۴۰۰	۴۰۰	۱۹۰۶۴۶۰	۱۹۰۶۴۶۰۰۰	۵۸	۴۳۱۶۸۰	۴۳۱۶۸۰۰۰	۳۲۷۹۴۰	۳۲۷۹۴۰۰۰	۲۶۶۶۰۸۰	۲۶۶۶۰۸۰۰۰	
۴۵۰	۴۵۰	۲۳۷۰۴۴۰	۲۳۷۰۴۴۰۰۰	۵۰	۵۰۰۴۶۰	۵۰۰۴۶۰۰۰	۳۵۶۰۶۰	۳۵۶۰۶۰۰۰	۳۲۲۶۹۶۰	۳۲۲۶۹۶۰۰۰	
۵۰۰	۵۰۰	۲۲۱۵۴۰۰	۲۲۱۵۴۰۰۰۰	۴۵	۵۵۶۳۲۰	۵۵۶۳۲۰۰۰	۳۸۴۵۶۰	۳۸۴۵۶۰۰۰	۳۱۵۶۲۸۰	۳۱۵۶۲۸۰۰۰	
۶۰۰	۶۰۰	۲۵۰۵۳۴۰	۲۵۰۵۳۴۰۰۰	۳۵	۷۱۵۱۶۰	۷۱۵۱۶۰۰۰	۴۴۳۰۸۰	۴۴۳۰۸۰۰۰	۳۶۶۳۵۸۰	۳۶۶۳۵۸۰۰۰	
		مجموع		مجموع		مجموع		مجموع		مجموع	
		ریال ۱,۴۱۸,۸۴۴,۰۰۰		ریال ۳۸۸,۵۱۲,۰۰۰		ریال ۲۹۲,۰۶۸,۰۰۰		ریال ۲,۰۹۹,۳۸۶,۰۰۰		ریال	

مقید، مکانیکی، بولتد گلندی و ... از جمله اتصال‌هایی هستند که هر کدام دارای زیرشاخه‌های وسیعی با توجه به طراحی شرکت سازنده می‌باشند. در مواردی یک شرکت سازنده دارای چندین مدل اتصال است که با توجه به کاربرد می‌توان از آن استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین مزایای کثرت این اتصال‌ها، تنوع در طراحی اتصال‌های مقاوم در برابر لرزه است که امکان بیرون‌زدگی و نشستی خط لوله را در هنگام لرزه به نزدیک صفر می‌رساند. تعداد اتصال‌های لوله‌های پلی‌اتیلنی و کامپوزیتی که خواصی مشابه اتصال‌های مقاوم به زلزله چدن نشکن ارائه نمایند کمتر از انگشتان یک دست است. لوله‌های چدن نشکن علاوه بر خاصیت ذاتی مقاومت در برابر خوردگی، دارای دو پوشش ضد خوردگی قوی هستند. از سویی ضخامت لوله‌های چدن نشکن معمولی بسیار بیشتر از لوله‌های پلیمری است، لذا مقاومت در برابر خوردگی لوله‌های چدن نشکن بسیار بالاتر از لوله‌های پلیمری خواهد بود.

نکته قابل توجه در محاسبه قیمت تمام شده خط لوله‌ای از جنس چدن نشکن با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی میزان ارزش اسقاط لوله‌ها بعد از طول عمر آن‌ها است. لوله‌های چدن نشکن از این نظر که ۴۰٪ ارزش اسقاط دارند و به راحتی بعد از طول عمر آن‌ها قابل بازیافت هستند، به لوله‌هایی دوست‌دار محیط‌زیست معروف هستند. این در حالی است که ارزش اسقاط لوله‌های پلیمری یا کامپوزیتی بعد از سپری شدن طول

لوله‌های چدن‌نشکن دارای استحکام کششی در حدود ۲۴ برابر لوله‌های پلی‌اتیلن هستند، این در حالی است که لوله‌های پلی‌اتیلنی حتی در مقادیر پایین تنش کششی دچار خزش می‌شوند (DIPRA, 2016b). تغییرات و نوسانات معمول در دمای نصب و عملکرد لوله چدن نشکن تاثیری روی استحکام آنها ندارد. در دمای سرویس‌کاری لوله‌های چدن نشکن هیچ تغییر محسوسی حتی در دمای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در استحکام کششی ایجاد نمی‌شود. ۱۸ برابر بودن ضریب انبساط حرارتی پلی‌اتیلن نسبت به لوله‌های چدن نشکن باعث خواهد شد تا احتمال جابجایی سراسری خط لوله بالاتر برود. مقاومت در برابر فشار هیدرواستاتیک ترکیدگی لوله چدن نشکن ۶/۱ برابر لوله‌های پلی‌اتیلنی سنگین است. ترک تنها نشانه‌ای است که در صورت قرار دادن لوله چدن نشکن در معرض فشار تا شکست در آن مشاهده شده است، در حالی که لوله‌های پلی‌اتیلنی وقتی تا مرحله شکست تحت فشار قرار می‌گیرند، پس از شکست دچار بادکردگی، انحنای، پیچش و اعوجاج می‌شوند (DIPRA, 2016b). استحکام لوله‌های چدن‌نشکن در برابر ضربه حدود ۱۲ برابر لوله‌های پلی‌اتیلن سنگین است. این در حالی است که استحکام ضربه لوله‌های چدنی مانند استحکام کششی آن‌ها از دما تاثیر نمی‌پذیرد (DIPRA, 2016b).

لوله‌های چدن نشکن دارای دامنه وسیعی از اتصال‌ها برای متصل کردن لوله‌ها به یکدیگر می‌باشند. اتصال‌های معمولی،

عمر مفید آن‌ها بسیار پایین‌تر از این رقم است. این نوع لوله‌ها بعد از گذراندن طول عمر مفید عملاً دیگر قابل استفاده مجدد نخواهند بود.

انشعاب‌گیری از لوله‌های چدن نشکن نسبت به لوله‌های پلیمری از جنبه‌هایی مشکل‌تر است. این موضوع می‌تواند با استفاده از تجهیزات مناسب با سرعت بیشتری انجام شود. این در حالی است که مزیت لوله‌های چدن نشکن در عدم امکان انشعاب‌گیری غیرمجاز از آن است. لذا در آمار کلی انشعاب‌گیری‌های غیرمجاز، این آمار برای لوله‌های پلیمری حدود ۵ برابر بیشتر از لوله‌های چدن نشکن است. بنابراین، در رویکرد بازگشت سرمایه طولانی‌مدت، لوله‌های چدن نشکن با توجه به ارزش اسقاط بالاتر، طول عمر بیشتر و کاهش انشعاب‌گیری غیرمجاز گزینه مناسب‌تری خواهند بود.

#### ۴- صرفه اقتصادی و کاربردی لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک نسبت به لوله‌های چدن نشکن معمولی، پلیمری و کامپوزیتی

لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن با رویکرد بهبود کارایی لوله‌های چدن نشکن معمولی در اندازه‌های پایین به بازار معرفی شده‌اند. این نوع لوله‌ها، با توجه به وزن پایین‌تر و جداره نازک‌تر قابلیت حمل و نصب راحت را دارا می‌باشند. انشعاب‌گیری از این لوله‌ها بسیار آسان‌تر بوده و از سویی با توجه به طراحی این لوله‌ها مطابق با استاندارد ISO 16631، این لوله‌ها قابلیت نصب و جایگزین شدن با لوله‌های پلیمری را دارا هستند. لذا با توجه به حفظ خاصیت مقاومت در برابر ضربه، استحکام کششی، مقاومت در برابر خوردگی و طول عمر بالای لوله‌های چدن نشکن معمولی، لوله‌های جداره‌نازک سبک، کاهش هزینه حمل، کاهش افت فشار و به تبع آن کاهش هزینه پمپاژ (۳۸٪ کمتر از لوله‌های PVC)، افزایش قطر هیدرولیک نسبت به لوله‌های چدن نشکن و پلیمری و کامپوزیتی را در بر خواهند داشت. مواد اولیه مورد استفاده برای تولید لوله‌های چدن نشکن جداره نازک بسیار کم‌تر از لوله‌های چدن نشکن معمولی خواهد بود بنابراین هزینه مواد اولیه مورد استفاده برای تولید مترژی برابر از هر دو لوله حداقل ۴۰٪ کاهش پیدا خواهد کرد. این در حالی است که مهم‌ترین هزینه موثر در جدول ۶ و ۷ هزینه مواد اولیه است. از سویی کاهش هزینه حمل و کاهش

ابزارهای مورد نیاز برای نصب خط لوله از دیگر مزایای لوله‌های جداره‌نازک است. در اندازه‌های بزرگ، لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن می‌توانند جایگزینی مناسب برای لوله‌های فولادی که نیاز به تجهیزات حفاظت کاتدیک گران‌قیمت دارند باشند. در جدول ۸، لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن از لحاظ وزن و ضخامت با لوله‌های چدن نشکن معمولی مقایسه شده‌اند.

جدول ۸- میزان کاهش وزن و ضخامت در لوله‌های جداره‌نازک چدن نشکن نسبت به لوله‌های معمولی

اندازه لوله (mm)	۱۲۵	۱۱۰	۹۰
وزن لوله تایتون معمولی (kg)	۱۵۷	۱۰۶	۸۷
وزن لوله جداره‌نازک (kg)	۷۸	۶۴	۵۲
ضخامت اسمی لوله تایتون معمولی (K9) (mm)	۵/۷	۵/۷	۵/۷
ضخامت اسمی لوله جداره‌نازک (mm)	۳/۳	۳/۳	۳/۳
درصد کاهش وزن لوله جداره‌نازک	٪۴۱/۹	٪۳۹	٪۴۰/۲

در صورت کاهش وزن و ضخامت لوله و بالا رفتن سرعت نصب به میزان ۱/۸ برابر می‌توان نتیجه گرفت که قیمت نهایی نصب ۱۰۰ متر خط لوله چدن نشکن جداره نازک به حدود ۱۳۸۹۹۷۴۲۶۰ ریال خواهد رسید، این در حالی است که قیمت ۱۰۰ متر خط لوله از جنس PVC طبق جدول ۶ برابر است با ۱۲۸۴۷۸۰۰۰۰ ریال. بنابراین تفاوت آن با لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک در حدود ۱۰۵۲۵۱۲۶۰ ریال خواهد بود که با توجه به طول عمر سی ساله بیشتر، نیاز به تعمیر حدود ۲۰ برابر کمتر، افت فشار کمتر و به تبع هزینه پمپاژ پایین‌تر در طول عمر خط لوله، هزینه‌ای به‌صرفه را در بر خواهد داشت.

لوله‌های چدن نشکن جداره‌نازک با اتصالاتی با انحراف زاویه‌ای حدود ۶ درجه به هم متصل می‌شوند، علاوه بر این انواع اتصالات برای تغییر جهت خط لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد، در صورتی که تغییر جهت خطوط لوله پلی‌اتیلنی با استفاده از ایجاد انحنا در بدنه لوله انجام می‌شود. بنابراین ممان خمشی بسیار بالایی به بدنه لوله وارد خواهد شد که در طول زمان، استحکام خط لوله را در قسمت بدنه لوله بسیار کاهش خواهد داد. این در حالی است که در مورد لوله‌های چدن نشکن، بدنه لوله با اتصال ساختاری زنجیری را بوجود آورده و نیروهای محوری وارده در تمام خط لوله انتقال خواهند یافت.

## 1- Ductile Iron Pipe Research Association

## ۷- مراجع

- Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA), (2016a), "Material comparison, Ductile iron pipe vs. PVC pipe", <https://www.dipra.org/>.
- Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA), (2016b), "Material comparison, Ductile iron pipe vs. HDPE pipe", <https://www.dipra.org/>.
- Tsakiris, G., and Tsakiris, V., (2012), "Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems", *Water Utility Journal*, 3, 26-36.
- Vosoughifar, H., and Rahbaripour, A., (2011), "Evaluation of high density polyethylene pipes", *Journal of Mechanical Engineering*, (80).

انتخاب جنس لوله مورد استفاده یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که باید در زمان بنا نهادن یک خط لوله به آن توجه نمود. یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مورد توجه در انتخاب جنس لوله، قیمت تمام شده است. قیمت تمام شده یک خط لوله را می‌توان از دو منظر کوتاه‌مدت و بلندمدت مورد بررسی قرار داد. از سویی تفاوت قابلیت‌های مواد باعث شده است که برتری در اندازه‌های بالا با لوله‌های فلزی و در اندازه‌های کوچک‌تر با لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی باشد. به‌طور کلی لوله‌های فولادی در اندازه‌های بزرگ‌تر موفق‌تر بوده و لوله‌های چدن نشکن در اندازه‌های بزرگ و متوسط رقیب مناسبی برای لوله‌های پلیمری بوده‌اند. اما در اندازه‌های پایین، قیمت و وزن بالاتر لوله‌های فلزی باعث شده است که امکان رقابت را در این زمینه از دست بدهند. قیمت لوله‌های چدن نشکن معمولی حدوداً ۳ برابر بیشتر از لوله‌های پلیمری و حدوداً ۱/۵ برابر لوله‌های فولادی است، اما از منظر بلندمدت لوله‌های چدنی نیاز به تعمیر و نگهداری ندارند، میزان شکستگی در آن حدود ۲۰ برابر کمتر از لوله‌های پلیمری و کامپوزیتی است، نیاز به حفاظت کاتدیک ندارند، مقاومت مناسب در برابر خوردگی دارند، طول عمری حدود ۸۰ سال را برای آن‌ها متصور هستند و انشعاب‌گیری غیرقانونی از آن‌ها بسیار مشکل‌تر از لوله‌های پلیمری، کامپوزیتی یا فولادی است. از سویی نشت‌یابی شبکه به ابزار بسیار ساده‌تری نیازمند است. برای ایجاد رقابت در اندازه‌های کوچک‌تر بین لوله‌های چدن نشکن و لوله‌های پلی‌اتیلنی، کاهش ضخامت و وزن لوله‌های چدن نشکن در عین حفظ خواص لوله‌های چدن نشکن معمولی می‌تواند تا حدود بسیار زیادی موثر باشد. صرفه اقتصادی ۵۰٪ نسبت به لوله‌های چدن نشکن معمولی و صرفه اقتصادی ۲۰٪ نسبت به لوله‌های ساخته شده از دیگر مواد را می‌توان با کاهش ضخامت حساب شده لوله‌های چدنی در طولانی‌مدت به دست آورد. با توجه به این‌که دیدگاه یک نصاب خط لوله عموماً باید بلندمدت باشد، استفاده از لوله‌های چدن نشکن خواهد توانست نیازهای بلندمدت را چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ کاربردی تامین نماید.