

## عملیات ترمیم خطوط لوله

### تصمیم‌گیری‌های

### صحیح و اقتصادی

#### تصمیم‌گیری در مورد ترمیم

برای تعیین نیازمندی یک سیستم به عملیات ترمیم و گرفتن بهترین و بهینه‌ترین تصمیم‌ها، اطلاعات وضعیت خط لوله مورد نیاز است. شرایطی که باید لحاظ شوند عبارتند از: وضعیت ساختمان خطوط لوله، پوشش بیرونی، سیستم حفاظت کاتدی.

با انجام این تحقیقات بهره‌بردار می‌تواند وضعیت خط لوله را ارزیابی کند و موثرترین تصمیم را برای ترمیم آنها بگیرد.

#### سالم بودن لوله

ابتدا، سالم بودن ساختمان لوله باید مدنظر قرار گیرد. اگر خط لوله سالم نباشد، تعمیر پوشش یا افزایش حفاظت کاتدی را نمی‌توان به عنوان یک راه‌حل موثر اقتصادی درازمدت ارزیابی کرد. روش‌های تست تعیین سلامت ساختار لوله شامل موارد زیر است:

- بازرسی خط لوله (توپک هوشمند)
- حفاری موضعی (بررسی‌های Bell Hole)

#### - آزمایش هیدرواستاتیک

روش توپک هوشمند یک ابزار بازرسی در محل است که تغییر شکل‌ها، عیوب خورد و کاهش ضخامت دیواره لوله را نشان می‌دهد. این روش برای بهره‌بردار، این امکان را فراهم می‌نماید تا نواحی صدمه دیده احتمالی را تشخیص دهد. شناسایی



محمد حسن رستگار زارع

#### مقدمه

با گذشت زمان و آسیب تدریجی پوشش خطوط لوله نفت و گاز و در نهایت، تخریب خود لوله‌ها، برای نگهداری و حفظ آنها و نیز سیستم‌های عملیاتی، باید تصمیم‌گیری‌های موثر و مناسبی توسط بهره‌برداران این خطوط اتخاذ شود. بهره‌بردار باید دو مساله اصلی را در نظر بگیرد:

- ایمنی و سلامت عمومی

- اقتصادی بودن عملیات خطوط لوله

این دو فاکتور به طور قابل توجهی بر تصمیم‌گیری‌های بهره‌بردار در مورد ترمیم خطوط لوله تأثیری گذارند. در اینجا این پرسش مطرح است که آیا عملیات خطوط لوله به طور ایمن انجام گرفته و از نظر اقتصادی به صرفه است؟ بنابراین ارزیابی طرحی صحیح برای اتخاذ تصمیم‌های درست و به موقع، امری ضروری خواهد بود.



علاوه بر بررسی سالیانه - انجام بررسی از فاصله نزدیک است. چند تست بررسی و مزایای آنها در زیر آمده است: بررسی در حالت روشن (on) : تست بررسی در حالت روشن، آسان ترین و ارزان ترین تستی است که می توان انجام داد. این تست در تعیین محل هایی که پوشش حالت عادی ندارد، بسیار سودمند است. برای خطوط لوله جدید نیز مبنایی برای بررسی های آتی خواهد بود و در حالتی که منبع حفاظت کاتدی روشن است، انجام می گیرد.

**بررسی در حالت های روشن - خاموش (on/off) :** این تست اطلاعات بیشتری راجع به موثر بودن سیستم حفاظت کاتدی ارائه می دهد. بررسی در حالت های روشن - خاموش علاوه بر نشان دادن محل های غیر عادی پوشش، پتانسیل پلاریزاسیون خط لوله را نیز مشخص می کند. پتانسیل خاموش به دست آمده، افت IR ناشی از خاک را حذف می نماید. این روش از نظر اجراء، گران تر از روش بررسی در حالت روشن است. برای روشن و خاموش کردن رکتیفایر به طور لحظه ای (در عرض یک ثانیه) در طول این سیکل، یک قطع کننده (Interrupter) مورد نیاز است.

**بررسی در حالت های روشن - خاموش - ایستا (on/off/static) :** این تست در دو مرحله جداگانه انجام می گیرد. یک مرحله بررسی در حالت های روشن - خاموش و مرحله دوم، بررسی در حالت ایستا یا دیپلاریزه است. این روش برای تعیین

کاتدی مورد نیاز را نیز کم می کند. لازم است که پوششی خالی از حفره ها و عیوب هالیدی (Holidays) به کار گرفته شود. این پوشش می تواند خوردگی موضعی ایجاد کند، به همین دلیل پوشش مورد نظر باید برای جریان حفاظت کاتدی این امکان را فراهم آورد که در صورت جدایی پوشش، به بدنه لوله تزریق شود.

طی حفاری موضعی برای تعیین وضعیت پوشش باید تست های مختلفی انجام گیرد. این تست ها باید موارد زیر را لحاظ کنند:

- جدایی پوشش
- عیوب هالیدی و دیگر عیوب
- چسبندگی پوشش
- ترکیب پوشش
- برای تعیین وضعیت پوشش، تست هایی دیگر همچون تست پرسون (Pearson) و شیب و لتاژ DC (Grakeint DC Voltage) وجود دارد، این تست ها بر روی زمین انجام شده و محل پوشش های معیوب را نشان می دهند. تست بررسی از فاصله نزدیک نیز محل خرابی یا عیوب پوشش را مشخص می سازد. عیوب پوششی که توسط این تست ها مشخص می گردند، محل هایی را نشان می دهند که در آنجا باید حفاری موضعی انجام شود تا نتایج این بررسی ها و یا نیاز پوشش به تعمیر، تایید گردد.

### سیستم حفاظت کاتدی

عمومی ترین روش برای تعیین موثر بودن سیستم حفاظت کاتدی -

این نواحی، بهره بردار را در رفع مشکل قبل از وقوع آن یاری می نماید.

برای بررسی وضعیت بیرونی خط لوله، روش حفاری موضعی، تنها روش بازرسی چشمی است. نتایج یک توپک هوشمند و یا بررسی های انجام شده از فاصله نزدیک می توانند بهترین محل ها را برای انجام حفاری موضعی مشخص سازند. البته عیب روش فوق این است که در طول عملیات حفاری، تنها بخشی از لوله قابل بررسی است و اگر لوله بریده نشود، تنها وضعیت بیرونی آن برای ارزیابی قابل رویت است.

تست هیدرواستاتیک، فشار پارگی را برای مقطعی از لوله تعیین می کند. این تست تمام نقاطی را که در فشاری خاص از حالت طبیعی خویش خارج می شوند و باعث انهدام لوله می گردند، آشکار می سازد. این روش، ترکیب لوله را در زمان های آتی تشخیص نمی دهد و مهم نیست که فشار تست نزدیک به فشار ترکیبگی باشد. تست فوق، فشاری را که لوله در مقابل ترکیبگی (قبل از وقوع آن) مقاومت می کند، تعیین کرده و اطلاعات بیشتری را در مورد صحت و سلامت ساختمان کلی لوله ارائه می دهد.

### وضعیت پوشش بیرونی

پوشش بیرونی لوله با ایجاد یک لایه (حایل بین لوله و الکترولیت)، در مقابل خوردگی مقاومت می کند. کاهش تاحیه تماس بین فلز و الکترولیت ضمن این که مقاومت را نسبت به خوردگی افزایش می دهد، مقدار جریان حفاظت



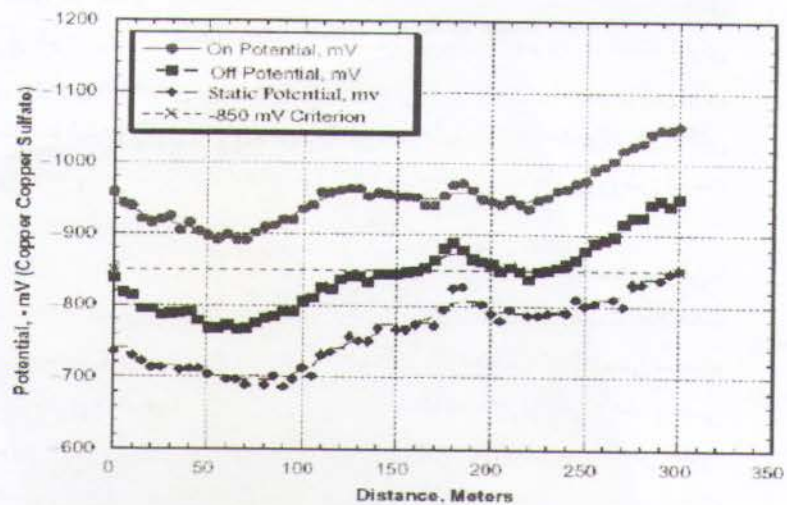
هستند که دیواره داخلی لوله را در فرکانس‌های بالا (حدود ۵۰۰ بار در ثانیه) به منظور تشخیص وضعیت غیرعادی آن مانیتور می‌کنند. این ابزار ضخامت دیواره لوله را اندازه‌گیری نمی‌نمایند و بنابراین مواد زائد روی دیواره لوله، تاثیری در نتایج به دست آمده نخواهد داشت.

با انجام عملیات حفاری موضعی در محل‌هایی که بیشترین صدمه به دیواره لوله وارد شده دقت توپک‌های هوشمند در مقایسه با ضرر واقعی وارده به دیواره لوله قابل تایید است. همچنین باید مشخص شود که خسارات وارده به دیواره لوله چقدر بر حداکثر فشار کاری مجاز (MAOP) تاثیر گذاشته است. در این حالت می‌توان از نرم‌افزار Rstreng استفاده کرد. در این نرم‌افزار پروفیلی از ناحیه خورده شده به درون برنامه وارد می‌شود، سپس براساس ضخامت دیواره، حداقل تنش تسلیم فولاد و وضعیت کلاس لوله مقدار MAOP محاسبه می‌گردد.

بخش‌هایی از لوله را که نمی‌توانند این فشار کاری را تحمل کنند باید تعویض کرد. یک اقدام دیگر، پایین آوردن فشار کاری لوله برای فشار کاری محاسبه شده مناسب باشد، باید تعیین شود که دلیل خسارت وارده به دیواره پوشش است، یا به خاطر ناکافی بودن حفاظت کاتدی خسارت ایجاد می‌شود؟ در ادامه، این عیوب باید رفع گردند. این نواحی باید توسط توپک‌های هوشمند و یا بازرسی‌های دیگر به‌طور دوره‌ای مانیتور شوند.

برنامه تست شامل توپک رانی توسط توپک‌های هوشمند و حفاری موضعی به منظور تشخیص هرگونه کاهش در ضخامت دیواره لوله و نیز برای تعیین حداکثر فشار مجاز کاری است. این برنامه همچنین محل و شدت فرورفتگی‌ها، خم‌شدگی‌ها (buckles)، خوردگی و دیگر تغییرات در دیواره

وجود یا عدم 100mv پلاریزاسیون بین پتانسیل‌های خاموش و ایستا انجام می‌گیرد و عموماً برای خطوط لوله لخت یا با پوشش ضعیف (که به دست آوردن پتانسیل خاموش ۰/۸۵- ولت مشکل است) استفاده می‌شود. برای بررسی دقیق در بررسی ایستا، خط لوله باید دپلاریزه گردد. (شکل ۱)



شکل ۱- مثالی از یک تست بررسی از فاصله نزدیک برای تعیین موثر بودن سیستم حفاظت کاتدی

لوله را تعیین می‌کند و امکان مشاهده و بررسی مشکلات احتمالی و نحوه اجتناب از آنها را فراهم می‌آورد. توپک رانی هوشمند عموماً شامل اجرای سه نوع مختلف توپک (هر کدام با عملکردی خاص) است. یک سری از توپک‌ها زباله‌ها را برداشته و خط لوله را برای عملیات مناسب توپک‌های هندسی و توپک‌های تشخیص دهنده خوردگی تمیز می‌کنند. توپک تمیزکننده، خط لوله را از نظر قابلیت انجام عملیات توپک بازرسی هندسی ارزیابی می‌نماید. بعد از تمیز کردن خط لوله، محل‌های نصب ابزار خوردگی توسط ابزار بازرسی مشخص می‌شوند. توپک‌های هندسی شامل حسگرهایی

تمام اطلاعات فوق باید قبل از انجام تصمیم‌گیری در مورد عملیات ترمیم تهیه گردند. به منظور اتخاذ تصمیمی دقیق و آگاهانه، اطلاعات کافی راجع به سلامت ساختمان لوله و نیز وضعیت پوشش و سیستم حفاظت کاتدی مورد نیاز است.

### ارزیابی سلامت لوله

عملکرد ایمن، فاکتوری اساسی در طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری و کارکرد هر نوع خط لوله است. تخریب ایجاد شده در اثر مرور زمان و دیگر فاکتورها را می‌توان به‌طور موفقیت‌آمیزی توسط یک برنامه تست منطقی، مانیتور و ارزیابی کرد. این



## بررسی از فاصله نزدیک

طی یک تست بررسی از فاصله نزدیک پتانسیل های بین لوله و خاک در فواصل کوتاه (عموماً بین ۲/۵ تا ۵ فوت) اندازه گیری، ثبت و برحسب مسافت رسم می شوند. در بررسی از فاصله نزدیک، پتانسیل های لوله نسبت به خاک به دست آمده از نقاط تست برای ترسیم تصویری از وضعیت پوشش و میزان حفاظت کاتدی استفاده می گردند. اگر پتانسیل های به دست آمده (لوله نسبت به خاک) کمتر از حد مطلوب باشند، تعیین علت آن امری مهم است بررسی از فاصله نزدیک علاوه بر تشخیص محل هایی که پتانسیل پایینی دارند، در مورد علل پایین بودن پتانسیل نیز می تواند دیدگاهی مناسب ارائه دهد.

پتانسیل های پایینی که به خاطر ضعف پوشش در نواحی کوچکی از لوله ایجاد شده اند، با پوشش دادن مجدد اصلاح می شوند. پتانسیل های پایین که در فاصله بیشتری گسترده شده اند ممکن است به علت ضعف پوشش، فقدان و ناکافی بودن حفاظت

کاتدی ایجاد شده باشند. تامین حفاظت کاتدی لازم برای این نواحی عموماً از نظر اقتصادی به صرفه است. البته باید دقت کافی صورت گیرد تا پلاریزاسیون بیش از حد (over Polarization) در نواحی حفاظت شده یا تداخل با دیگر سازه ها اتفاق نیفتد.

## روش های ترمیم

چهار نوع اصلی عملیات ترمیم عبارتند از:

- عملیات ترمیم بسترهای آندی سطحی یا توزیع شده و سیستم های فداشونده
- عملیات ترمیم بسترهای آندی پیوسته با طول زیاد
- پوشش دهی مجدد لوله
- تعویض لوله

## بسترهای آندی سطحی

استفاده از بسترهای آندی سطحی یا توزیع شده و یا بسترهای آندی فداشونده، معمولاً ارزان ترین روش ترمیم است. این روش را می توان به طور موثر در نواحی که لوله سالم بوده

و عموماً پتانسیل یکنواختی از حفاظت کاتدی وجود دارد، به کاربرد. این محل ها را باید با تست پاسخ جریان مورد آزمایش قرارداد تا در مورد تامین جریان اضافی و افزایش حفاظت کاتدی اطمینان حاصل شود. تست های مربوط به مقاومت خاک نیز باید انجام گیرد. تست پاسخ جریان شامل نصب یک بستر آندی موقت و اعمال جریان DC به خط لوله و افزایش میزان حفاظت است. در ادامه نمودار جریان و تغییرات مشاهده شده در پتانسیل لوله نسبت به خاک را می توان رسم نمود. در این حالت می توان جریان مورد نیاز برای به دست آوردن پتانسیل مطلوب لوله به خاک را تعیین کرد. هنگامی که نوع بستر آندی تعیین می گردد، باید راجع به مقاومت مخصوص خاک، مقدار جریان مورد نیاز و محل جغرافیایی (که بستر آندی در آنجا نصب می شود) ملاحظات انجام گیرد. نوع بسترهای آندی و شرایط که عموماً هر کدام از آنها در آن نصب می شوند، در جدول (۱) آمده است.

نوع بستر آندی	مقاومت مخصوص خاک	جریان مورد نیاز	ملزومات جغرافیایی
آند عمیق	کم تا زیاد	کم تا زیاد	ناحیه کمی مورد نیاز است
آند متداول سطحی	کم	کم تا زیاد	ناحیه کمی مورد نیاز است
بستر آندی توزیع شده	کم تا زیاد	کم تا زیاد	در امتداد خط لوله نصب می شود
بستر آندی فدا شونده	کم	کم	به صورت بسترهای آندی متداول یا توزیع شده نصب می شود

جدول (۱): نوع بستر آندی و شرایط نصب آن.



دسترس:

- قیر ذغال سنگ (coal tar)
- اپوکسی قیر ذغال سنگ (coal tar epoxy)
- اپوکسی مایع (liquid epoxy)
- نوارها (tapes)
- اورتان‌ها (urethanes)

هر پوشش دارای مزایا و معایبی است که باید قبل از دادن پوشش مورد بررسی قرار گیرد. فاکتورهایی نظیر خاک، دمای کاری، آماده‌سازی سطح و عوامل دیگری که بر روی کیفیت و عمر پوشش تأثیر می‌گذارند باید مدنظر

به صورت دستی است. برای قطرهای بزرگ‌تر و مقاطع طویل تری که نیاز به پوشش دهی مجدد دارند، استفاده از تجهیزات اتوماتیک اقتصادی‌تر است. به عنوان مثال تجهیزات اتوماتیک برای مقاطعی با طول بلندتر از 75ft اقتصادی‌تر است. این سیستم‌ها برای آماده‌سازی سریع، موثر و با کیفیت سطح لوله برای عملیات پوشش دهی مجدد که شامل برداشتن پوشش و آماده‌سازی سطح است، طراحی شده‌اند. سیستم‌های اتوماتیک عموماً از پاشیدن آب با فشار بالا

اگر تست‌های انجام شده نشان دهند که جریان اضافی از بسترهای متداول آنیدی، حفاظت کافی را ارائه نخواهد داد، دو راه حل تعویض پوشش یا نصب یک آنند طویل و پیوسته در امتداد یک خط پیشنهاد می‌شود. هر کدام از این دو راه حل در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند.

### پوشش دهی مجدد لوله

در مورد پوشش دهی مجدد لوله هنگامی تصمیم گرفته می‌شود که در تست بررسی از فاصله نزدیک، نواحی

با پتانسیل پایین (در مقایسه با پتانسیل‌های نواحی مجاور) موجود باشند یا بررسی پوشش نشان دهد که عیوبی در آن

وجود دارد. حفاری موضعی نیز می‌تواند محل پوشش دهی مجدد لوله را تعیین کند. اگر هر کدام از این شرایط موجود باشند، پوشش دادن مجدد لوله یک راه حل حیاتی به حساب می‌آید. در حال حاضر دوروش پوشش دهی مجدد وجود دارد:

- روش دستی

- روش اتوماتیک

پوشش دهی مجدد به روش دستی برای مقاطع کوچکی از لوله از نظر اقتصادی به صرفه است. این موضوع در نواحی که فضا محدود است نیز موثر واقع می‌شود. پوشش دهی مجدد به روش دستی معمولاً شامل برداشتن دستی پوشش و انجام عملیات ماسه پاشی قوی و اعمال پوشش جدید

(20000psi) برای برداشتن پوشش تخریب شده استفاده می‌کنند. این روند توسط پاشیدن ماسه با فشار بالا یا متوسط برای ایجاد طرح لنگری شکل بر سطح لوله برای پوشش جدید دنبال می‌شود.

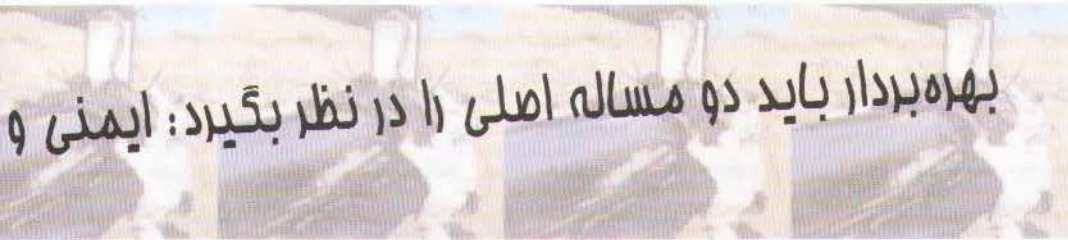
دیگر ملاحظات پوشش دهی مجدد شامل نوع خاک و ترکیب پوشش تخریب شده است. اگر صخره‌ای جامد موجود باشد، فضای کافی باید در زیر لوله فراهم شود تا پوشش قدیمی به راحتی جدا و برداشته شده و پوشش جدید به طور موثر اعمال گردد. هنگام پوشش دهی مجدد لوله، در مورد نوع پوشش مورد استفاده نیز باید تصمیم لازم اتخاذ شود.

فهرست برخی از پوشش‌های قابل

قرار گیرند. هزینه ماده پوشش عموماً در صد کمی از مجموع هزینه پوشش دهی مجدد را شامل می‌شود. بنابراین پوششی با کیفیت بالا را می‌توان انتخاب نمود.

### آند پیوسته

یک آنند طویل و پیوسته معمولاً به موازات و نزدیک خط لوله با فاصله‌ای حدود ۱۰ برابر قطر لوله یا حداقل 10ft و در همان عمق لوله نصب می‌گردد. این مورد معمولاً هنگامی در نظر گرفته می‌شود که خاک مقاومت بالا یا متغیری داشته و حفاظت کاتدی به میزان کافی تأمین یا توزیع نشده یا پوشش موجود تخریب شده باشد و نتواند حفاظت کاتدی مورد نیاز را



## بهره‌بردار باید دو مساله اصلی را در نظر بگیرد: ایمنی و



نواحی معیوب پوشش کمک خواهد کرد. نوع بسترآندی انتخاب شده به مقاومت مخصوص خاک، محل فیزیکی، در دسترس بودن جریان برق و مقدار جریان لازم برای حفاظت کاتدی بستگی دارد.

در تصمیم‌گیری برای انجام ترمیم، جمع‌آوری داده‌ها تا آنجایی که امکان دارد (صرف‌نظر از بدنه، پوشش و حفاظت کاتدی) علاوه بر دیگر اطلاعات و معرفی داده‌ها به روشی که به آسانی قابل فهم باشد، بسیار مهم است. هنگامی که نتایج بررسی از فاصله نزدیک و توپک‌های هوشمند موجود باشند، نمایش اطلاعات با استفاده از الگوهایی که تشابه داده‌ها به راحتی در آن قابل مشاهده باشد، بسیار مفید و لازم است. این موضوع در تعیین علل مشکلات انتخاب بهترین جواب یا راه‌حل کمک خواهد کرد. ■

منابع:

- 1) Herbert L. And Gohn W. Fluharty, "Determining Factors in Pipeline Rehabilitation", The International Pipeline Monitoring & Rehabilitation Seminar, Houston, TX, 1994.
- 2) Werner, Daniel P., "Pipeline Rehabilitation Planning and Project Execution", American Gas Association, Operation Section Proceedings, 1995.
- 3) R. Lewis, "Pipeline Integrity Evaluation", Pipeline Pigging and Integrity Monitoring Conference, Houston, TX, 1993.
- 4) Jill Borgmeier, "Smart Pigging of Northwest Pipelines 10inch Piceams Creek Lateral", Operation Section Distribution and Transmission Conference, Sparks, NV, 1995.

## تصمیم‌گیری برای انجام عملیات ترمیم

هنگامی که در مورد ترمیم تصمیم گرفته می‌شود، بررسی ساختمان لوله از لحاظ سالم بودن اهمیت بسیاری دارد. اگر دیواره لوله دچار تخریب قابل توجهی شده باشد بهتر است که لوله تعویض گردد تا این که ترمیم شود. ارزیابی بدنه لوله از طریق توپک‌های هوشمند یا حفاری موضعی و اندازه‌گیری ضخامت از طریق روش‌هایی مانند

برآورده‌سازد. این روش برای خطوط لوله لخت نیز موثر است.

این روش اغلب اقتصادی‌تر از روش پوشش دهی مجدد خطوط لوله طویل است خصوصاً اگر پنبه‌نسوز (asbestos) در پوشش قدیمی روی لوله موجود باشد. آند پیوسته، جریان لازم برای حفاظت کاتدی را تامین و توزیع کرده و در خاک‌هایی که مقاومت مخصوص بالا و متغیری دارند بسیار سودمند است. آند از یک پلیمر یا هادی کربنی تشکیل شده است که در ستونی از coke breeze نصب می‌شود



## سلامت عمومی، اقتصادی بودن عملیات فضا لوله

تا ناحیه موثر آند را افزایش دهد. طول عمر مورد انتظار برای این سیستم حدود ۲۰ سال و بیشتر است.

### تعویض لوله

این روش معمولاً پرهزینه‌ترین روش محسوب می‌شود. هنگامی که ساختمان لوله آنقدر خراب باشد که نتواند در مقابل فشار کاری مقاومت کند تنها انتخاب، تعویض لوله است. همچنین اگر هزینه روش‌های دیگر درصد بالایی از هزینه تعویض لوله را شامل شوند، جایگزینی لوله بهترین انتخاب است. خسارت وارده به لوله در اثر خوردگی داخلی و خارجی و عوامل دیگر می‌تواند سبب انتخاب این روش گردد.