نشریه مهندسی مکانیک
نشریه علمی انجمن مهندسان مکانیک ایران
ISME

دوره ۳۲، شماره ۵، شماره پیاپی ۱۵۲، آذر و دی ۱۴۰۲، صفحه ۱۳-۳
ISSN: 1605-9719
DOI: https://doi.org/10.30506/mmep.2023.2002571.2095

روش های انسداد جریان سیال در خطوط لوله

مونا محمدی*
دفتر بهره برداری و تعمیرات معاونت آبرسانی، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز

صابر علیدادی
دفتر بهره برداری و تعمیرات معاونت آبرسانی، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز

علیرضا محمدی
گروه برنامه ریزی تولید و انتقال معاونت بهره برداری، شرکت بهره برداری، تولید و انتقال آب جنوب‌شرق، اهواز

مقاله علمی ترویجی
دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷
بازنگری۱۴۰۲/۰۷/۰۳
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷

چکیده: یکی از مسایل مهم در بهره برداری و نگهداری از خطوط لوله در صنعت، انسداد جریان سیال در خط لوله به منظور انجام تعمیرات در پایین دست به هنگام حوادثی چون شکستگی و یا لزوم ایجاد تغییرات در خط لوله به منظور افزودن خط جدید، تعویض خط لوله، نصب شیر و یا فلنج در مسیر خط لوله است. در حال حاضر روش های مختلفی نظیر هات تپ، انجماد و توپی های انسداد جهت بستن مسیر خطوط لوله اعم از شرب و یا غیر شرب مورد استفاده قرار می گیرند. اما استفاده از این روش ها در همه انواع سیال و نیز قطرهای مختلف لوله عملی نبوده و می تواند موجب افزایش زمان تعمیرات، هدر رفت سیالی با ارزش مانند آب شرب و یا بالا بردن هزینه ها گردد. در این مقاله ضمن بیان روش های مختلف انسداد خطوط لوله در صنایع مختلف، روش و شرایط استفاده و نیز مشکلات و محدودیت های بکارگیری هر یک، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

واژه‌های راهنما: انسداد خط لوله، هات تپ، توپی انسداد، انجماد خط لوله

Fluid flow line-stopping methods in pipelines

Moona Mohammadi*
Operation and Maintenance Department, Water Supply Deputy, Khuzestan Water and Power Authority (KWPA), Ahvaz

Saber Alidadi
Operation and Maintenance Department, Water Supply Deputy, Khuzestan Water and Power Authority (KWPA), Ahvaz

Alireza Mohammadi
Generation and Transfer Planning Office, Operation Deputy, South East Company of Operation, Generation, and Transfer Water Ahvaz

Abstract: One of the essential issues in the operation and maintenance of pipelines in industry is the line-stopping of fluid flow in the pipeline to carry out downstream repairs during incidents such as breakage or the need to make changes in the pipeline to add a new line, replacing the pipeline, installing a new valve or flange in the pipeline. Various line-stopping methods are used in drinkable and undrinkable fluid in pipelines, such as hot tap, pipe freezing, and inflatable pipe plugs. However, these methods cannot be used in all types of fluids and variable pipe diameters, and they can increase maintenance time, waste valuable fluid such as drinking water, or increase costs. In addition to explaining the different methods of line-stopping in pipelines in various industries, this paper describes the problems and limitations of using each one.

Keywords: Line stopping, Hot tap, Pipe freezing, Inflatable pipe plug

* نویسنده مسئول، mohammadi.mn@kwpa.gov.ir

۱- مقدمه

به منظور انتقال سیال و یا گاز، به صورت گسترده‌ای از خطوط لوله استفاده می‌شود. دامنه کاربرد خطوط لوله از استفاده‌های خانگی تا صنایع مختلف نظیر نفت، گاز، پتروشیمی، صنایع غذایی و یا صنعت تولید و انتقال آب می‌باشد [۱]. استفاده و بهره برداری گسترده از خطوط لوله، مساله تعمیرات و نگهداری آن‌ها را بسیار حائز اهمیت ساخته است [۴-۲]. به منظور انجام این تعمیرات قطع کامل جریان سیال و انسداد خط لوله، لازم و ضروری می‌باشد.

عملیات مسدود کردن خط که با روش‌های مختلفی قابل انجام است، به منظور ایزوله کردن سیستم جهت انجام تعمیرات، نصب تجهیزات و یا تعویض خط لوله در پایین دست نقطه مسدود شده است [۵،۶]. این عملیات می‌تواند به صورت موقت بوده که بعد از حصول اهداف دنبال شده نسبت به حذف آن اقدام نموده و یا تغییرات دائمی در خط لوله ایجاد کرد [۱۰-۷].

قطع حرکت سیال با روش‌های انسداد این مزیت را دارد که در نزدیک‌ترین فاصله با محل حادثه، انسداد و قطع جریان سیال صورت گرفته و در کلیه نقاط بالادست، جریان سیال قطع نمی شود. بنابراین اختلالی نیز در حرکت سیال ایجاد نمی‌گردد [۱۱،۱۲].

روش‌های مختلفی به منظور انسداد در خطوط لوله اعم از شرب و غیر شرب به کار می‌رود. در این مقاله ضمن توضیح این روش‌ها، کاربردهای هر روش و محدودیت‌های آن تشریح شده است.

۲- روش‌های مختلف جهت انسداد در خطوط لوله

در قطرهای مختلف خط لوله و نیز در سیالات مختلف از روش-های مختلفی استفاده می‌شود که در مطالب بعدی به این موضوع پرداخته شده است.

۲-۱- روش انسداد هات تپ [1]

این روش می‌تواند در مقاطع و اندازه‌های مختلف خط لوله مورد استفاده قرار گیرد. هات تپ در سه نوع پروژه به شرح زیر قابل بکارگیری است [۱۵-۱۳]:

الف: مسدود سازی موقت خط (عملیات استاپل)

به مسدود سازی موقت خط لوله به منظور تعمیر و یا بهبود بخشی خطوطی که دچار آسیب دیدگی شده‌اند، استاپل اطلاق می‌شود. در این روش با استفاده از عملیات هات تپ چهار حفره در دو سوی مسیر آسیب دیده در خط لوله ایجاد می‌شود. دو حفره برای ایجاد مسیر بای پس مورد استفاده قرار گرفته و مسیر سیال از منطقه تعمیر منحرف و تخلیه می‌شود. دو حفره دیگر نیز برای مسدود سازی استفاده شده و با کمک شیرهای ایزوله، آن قسمت خط لوله، کاملا از سیال تخلیه می‌گردد. پس از جوشکاری خط جدید، پلاگ های مسدود کننده (موقت) جدا شده و سیال در درون خط لوله اصلی به جریان می‌افتد. پس از آن، قسمت بای‌پس نیز جدا شده و مسیر به حالت اولیه خود باز می‌گردد.

ب: ایجاد انشعاب از خط به منظور اتصال به دیگر سایت‌ها و واحدها

با توجه به نیاز سایت‌های مجتمع‌های پالایشگاهی و پتروشیمی، مجتمع‌های صنعتی و یا خطوط انتقال آب به انشعاب جدید، با استفاده از روش هات تپ که در بخش قبل توضیح داده شد، لوله برش داده شده و انشعاب جدید ایجاد می‌گردد.

ج: انسداد کامل خط لوله

در برخی موارد بر خلاف حالت‌های فوق، لازم است که یک خط لوله به طور کامل از مدار خارج و خط دیگری جایگزین گردد. در این حالت نیز با استفاده از روش پیش گفته، لوله برش داده شده و دو حفره ایجاد می‌شود سپس پلاگ‌های مسدود کننده در خط لوله جایگذاری می‌گردند و خط لوله برای همیشه مسدود می-شود.

شکل‌های (۱) و (۲) نحوه انجام عملیات هات تپ و مراحل مختلف انجام این عملیات را بر روی خط لوله نشان می‌دهند.

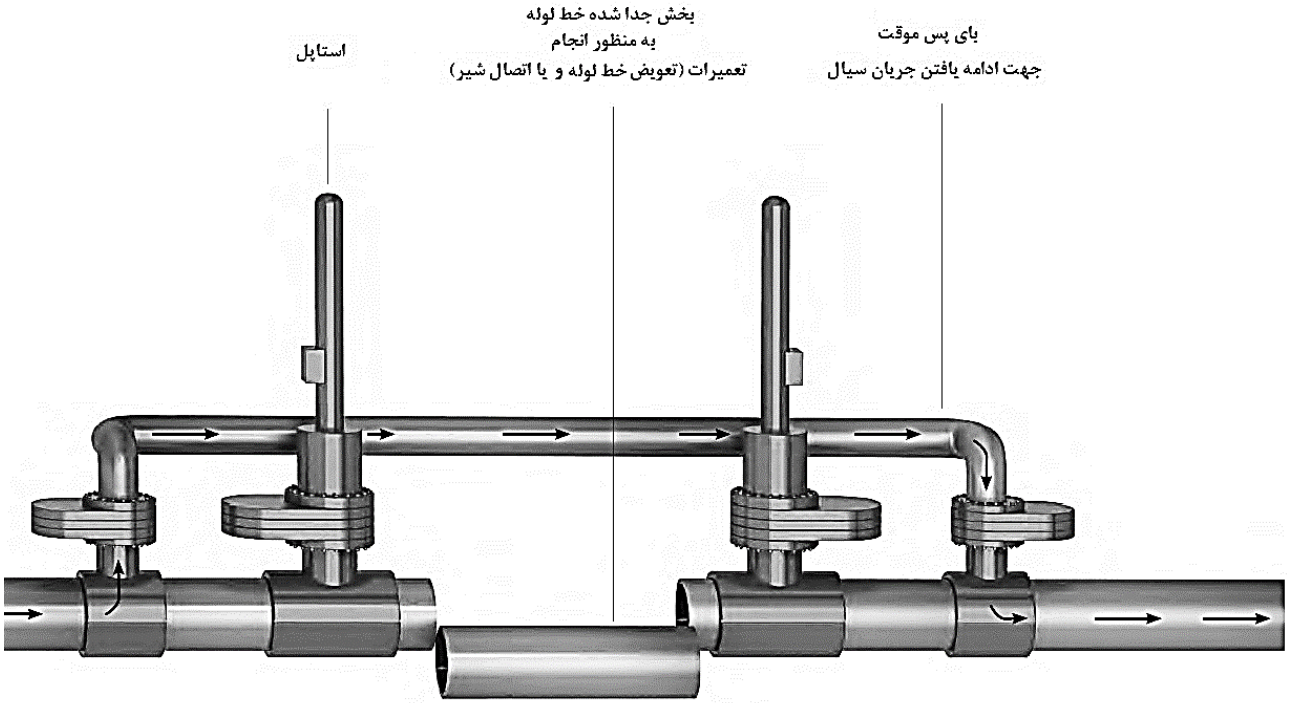
در روش هات تپ باید به این نکته توجه نمود که درصد اکسیژن موجود در خط لوله بسیار حائز اهمیت است. به این معنی که نباید در سیال جاری در لوله، اکسیژن برای احتراق وجود داشته باشد. استفاده از این روش علی رغم داشتن فواید و سهولت در تعمیرات پایین دست بدون قطع جریان (با ایجاد مسیر بای‌پس)، دارای ریسک‌هایی برای استفاده است. از جمله این ریسک‌ها می‌توان به ایجاد ترک‌های ریز در محل اتصال استاپل، خراب شدن او- رینگ[2] پس از اتمام عملیات و برداشتن استاپل (به هنگام بستن و پلاگ کردن محل اتصال استاپل) و همچنین مسائل ایمنی در حین انجام عملیات هات تپ اشاره

[1] Hot tap

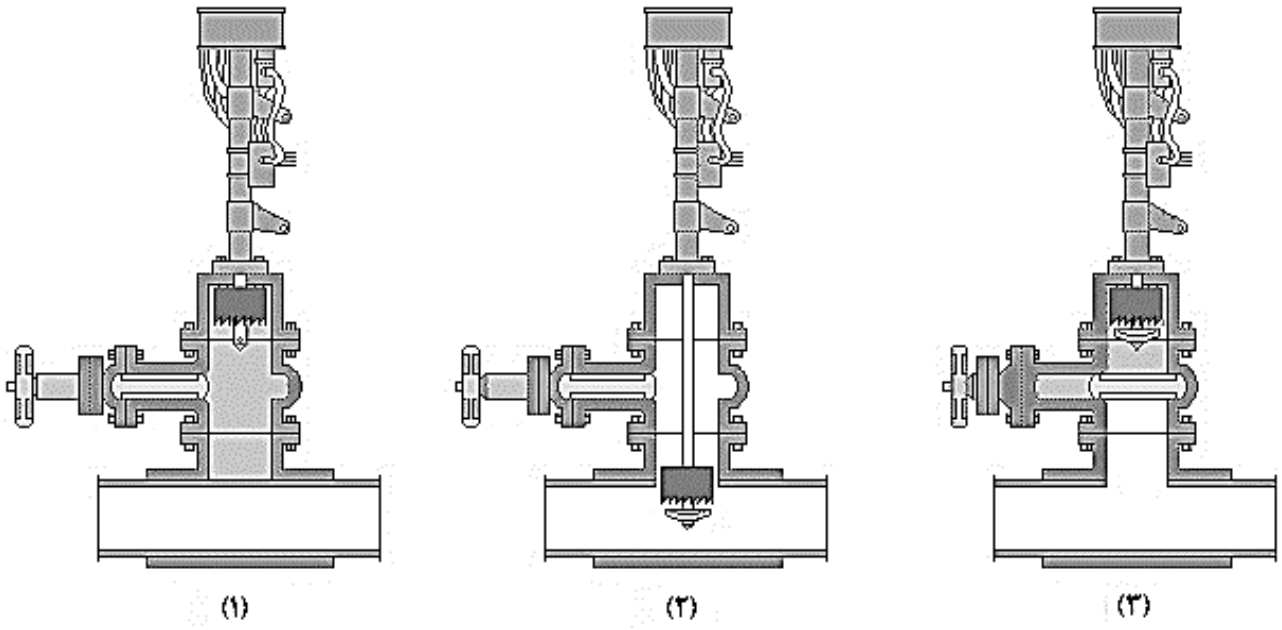
[2] O-ring

نمود [۱۶]. از دیگر موارد افزایش ریسک در استفاده از این روش، ایجاد خوردگی در محل انسداد (پلاگ) خط لوله است. به منظور به حداقل رساندن ریسک خوردگی استفاده از استاندارد API RP 2201[3] و پروتکل ASME PPC-2[4] به شدت مورد توصیه قرار گرفته است [۱۱].

همچنین جهت به حداقل رساندن آسیب‌های حین انجام عملیات انسداد خط لوله استفاده از دستور العمل‌های ایمنی سخت‌گیرانه بسیار ضروری است [۱۱].



شکل۱ نحوه انجام عملیات استاپل در روش هات تپ [۱۷]



شکل۲ مراحل ایجاد حفره بر روی خط لوله [۱۸]

[3] API RP 2201 Safe Hot Tapping Practices

[4] ASME PPC-2 Protocol

۲-۲-روش انجماد [5]

در این روش پوششی به صورت ژاکت حاوی گاز نیتروژن در اطراف لوله قرار می‌گیرد. با قرارگیری سیال در معرض گاز نیتروژن دمای سیال درون لوله کاهش یافته و سیال به تدریج یخ می‌زند. این روش برای نخستین بار در سال ۲۰۰۸ بکار رفت و با استفاده از یک ژاکت حاوی نیتروژن، سیال درون لوله منجمد گردید و تعمیرات در پایین دست لوله صورت گرفت. اما در سال‌های اخیر این روش توسعه یافته و از دو ژاکت حاوی نیتروژن برای انجماد سیال استفاده می‌شود [۱۹،۲۰]. این روش دارای مصارف گسترده‌ای از جمله تعمیرات خطوط لوله با قطرهای بزرگ در صنایع تا تعمیرات در بخش پایپینگ بیمارستان‌ها است و در مواردی استفاده می‌شود که روش هات تپ قابل استفاده نباشد [۲۱].

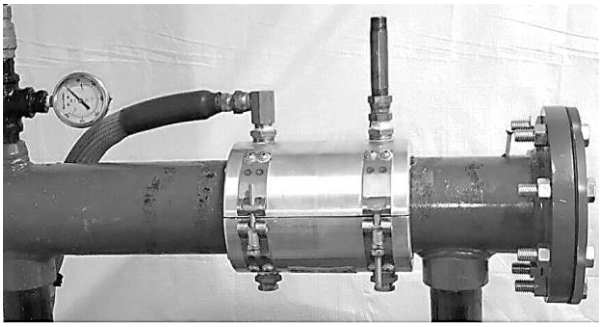
روش انجماد برای لوله‌های با قطر ۰/۵ تا ۳۰ اینچ (۱۲/۵ تا ۷۶۲ میلی‌متر) مناسب است که با توجه به قطر لوله زمان یخ زدن سیال نیز متفاوت می‌باشد [۲۲]. جدول (۱) مثالی از زمان‌های تقریبی مورد نیاز برای انجماد آب در قطرهای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود با افزایش قطر، میزان زمان مورد نیاز برای انجماد نیز افزایش می‌یابد. باید به این نکته توجه نمود که شرایط محیطی و نوع سیال نیز باید در محاسبه زمان مورد نیاز برای انجماد لحاظ گردد.

جدول ۱ مثالی از زمان‌های مورد نیاز برای انجماد خط لوله در قطرهای مختلف خط لوله [۲۱]

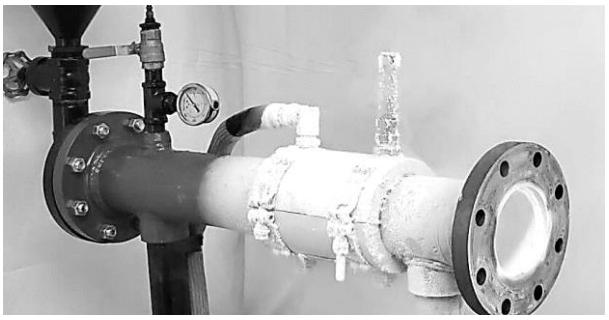
ردیف	قطر (mm)	قطر (inch)	زمان مورد نیاز (دقیقه)
۱	۱۲/۷	۰/۵	۶
۲	۱۵۲/۴	۶	۴۸
۳	۲۰۳/۲	۸	۹۰
۴	۳۰۴/۸	۱۲	۲۴۰
۵	۵۰۸	۲۰	۳۰۰

از جمله مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۰]:
الف: از روش هات تپ سریعتر است.
ب: دو سوی لوله‌ی منجمد شده، نیاز به آماده سازی خاص و یا جوشکاری خاص ندارند.
ج: زمان انجماد با توجه به قطر لوله، شرایط سیستم و دمای محیط قابل پیش بینی است و همین موضوع می‌تواند از زمان انجام فرآیند انجماد و دیگر برنامه‌های تعمیراتی، تخمین نسبتا دقیقی ایجاد نماید. به عبارت دیگر در این روش امکان برنامه ریزی فراهم است.

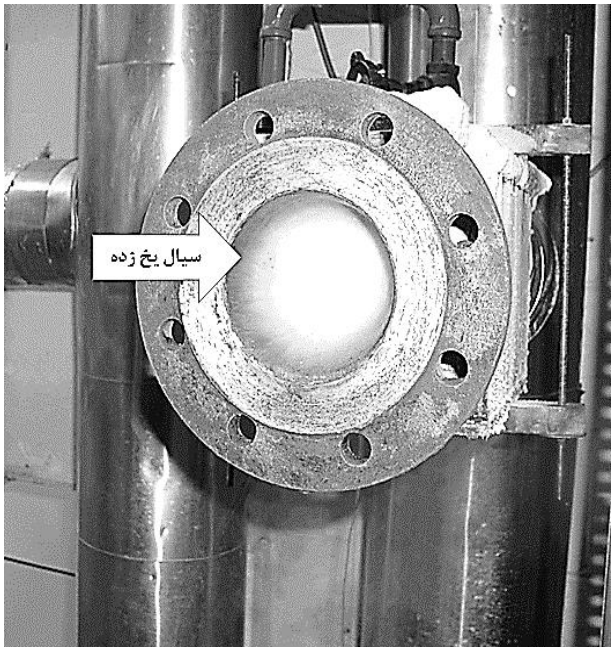
شکل‌های (۳)، (۴)، (۵) و (۶) نحوه قرار گیری ژاکت نیتروژن، قبل و بعد از انجماد، نحوه یخ زدن سیال درون لوله و نحوه نصب شیر (و یا فلنج[6] در پایین دست محل یخ زدگی را نشان می‌دهند.



شکل۳ نحوه قرارگیری ژاکت حاوی نیتروژن، پیش از انجماد [۲۳]

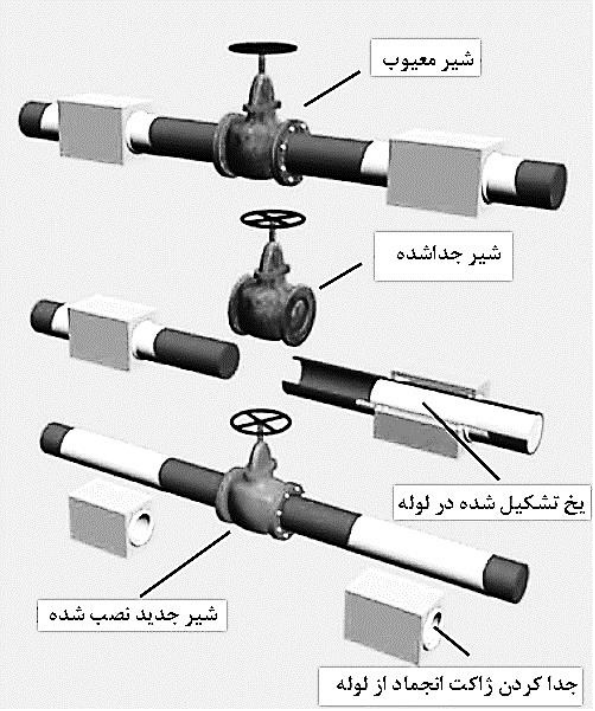


شکل۴ وضعیت لوله پس از یخ زدن با بکارگیری ژاکت نیتروژن [۲۳]



شکل۵ یخ زدن سیال درون لوله با استفاده از روش انجماد [۲۴]

[5] Pipe Freezing
[6] Flange



شکل۶ نحوه نصب شیر با استفاده از روش انجماد [۲۴]

در شکل (۶) به این نکته توجه گردد که برای تعویض شیر از دو ژاکت نیتروژن استفاده شده است. تحقیقات نشان می‌دهند استفاده از دو ژاکت انجماد، زمان تشکیل هسته منجمد را تا حدودی کاهش می‌دهد. به عنوان مثال برای یک لوله با قطر ۴۰۰ میلی‌متر زمان کامل شدن انجماد در مرکز لوله برای سیال آب در دو حالت بکارگیری یک ژاکت و دو ژاکت به ترتیب ۲۲۲/۷ دقیقه و ۲۰۸/۳ دقیقه می‌باشد. ملاحظه می‌شود بین این دو حالت، تفاوت زمانی چشمگیری وجود ندارد. بنابراین افزایش تعداد ژاکت‌ها نمی‌تواند بر روی زمان انجماد سیال تاثیر چشمگیری داشته باشد. علاوه بر این، پس از تشکیل هسته یخ زده در لوله، ادامه فرآیند یخ زدن منحصر به افزایش سطح یخ زده، در سیال، مجاور سطح لوله خواهد شد [۲۰].

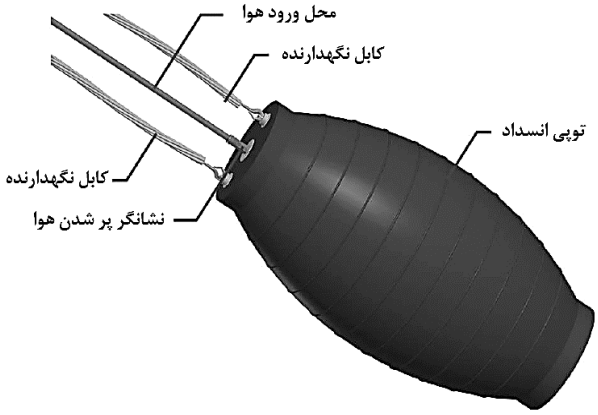
۲-۲- روش توپی انسداد[7]

از این روش جهت مسدود کردن موقت خط لوله، تست خط لوله حاوی سیال، مهار جریان آب و فاضلاب به هنگام تعمیرات، شستشوی شبکه و یا حتی برای انسداد تونل‌های راه آهن، مترو و سد به منظور جلوگیری از ورود سیلاب، استفاده می‌شود. انتخاب نوع توپی به نوع سیال، دمای سیال و فشار خط لوله بستگی دارد [۲۷-۲۵].

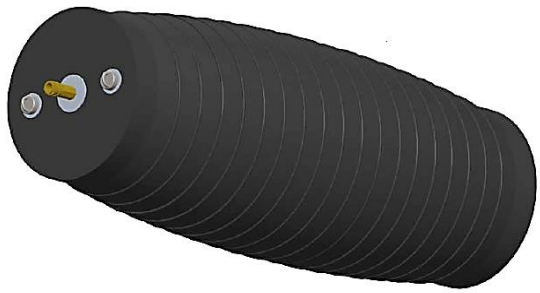
این توپی‌ها با توجه به انواع قطر لوله طراحی می‌شوند. به این معنی که با توجه به بازه‌ی قطر لوله باید قطر مناسب برای توپی انتخاب گردد [۲۶،۲۸].

نحوه عملکرد این توپی‌ها به این شکل است که یک مسیر برای ورود هوا به درون توپی تعبیه می‌شود. برای کنترل، نگهداری و یا بالا کشیدن آن نیز از دو کابل استفاده می‌شود. معیار انتخاب قطر مناسب برای توپی، قطر داخلی لوله است. به این ترتیب که قطر خارجی توپی انسداد باید با قطر داخلی لوله برابر باشد. شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) به ترتیب دو نمای توپی انسداد با نمایش اتصالات و بدون اتصالات و نحوه انتخاب قطر توپی را نشان می‌دهند.

کمترین فاصله مجاز قرارگیری توپی از ابتدای خط لوله به اندازه قطر داخلی خط لوله است (شکل ۱۰). به عبارت دیگر، علاوه بر اینکه قطر خارجی توپی باید با قطر داخلی لوله برابر باشد، لازم است به اندازه یک قطر خط لوله با دهانه خط لوله فاصله داشته باشد. این موضوع برای انسداد کامل خط لوله کاملا ضروری است [۲۶،۲۸].

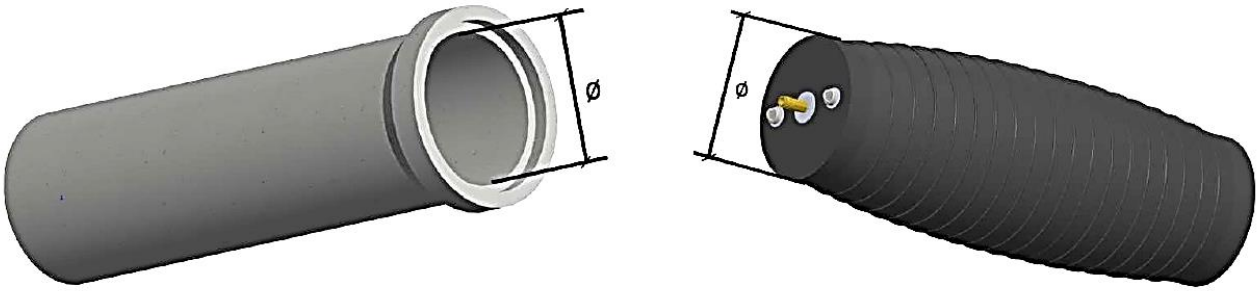


شکل۷ توپی انسداد با نمایش اتصالات [۲۸]

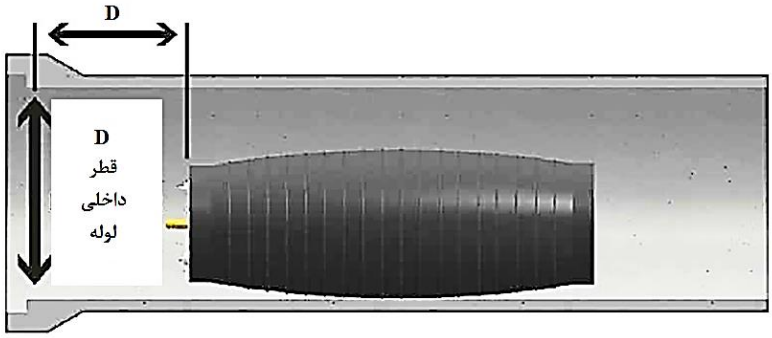


شکل۸ توپی انسداد بدون اتصالات [۲۸]

[7] Inflatable pipe plug

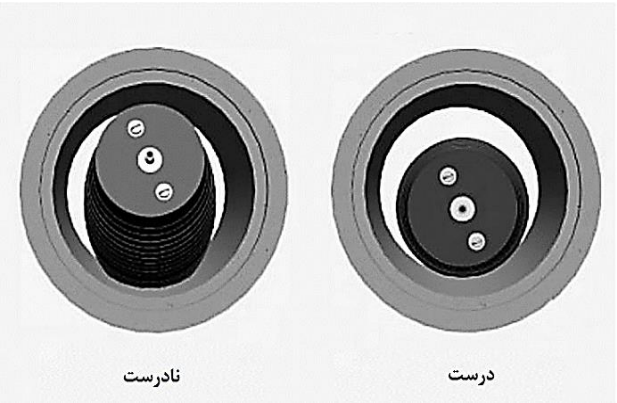


شکل۹ نحوه انتخاب قطر توپی انسداد [۲۸]

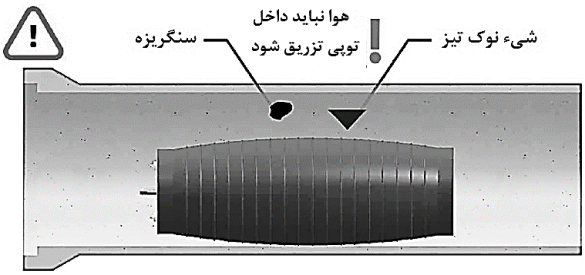


شکل۱۰ محل قرارگیری توپی از ابتدای خط لوله [۲۸]

پس از انتخاب قطر مناسب برای توپی و مشخص نمودن محل قرارگیری آن در خط لوله، نکته مهم دیگر نحوه قرارگیری صحیح آن در خط لوله است. شکل (۱۱) نحوه قرارگیری صحیح توپی در خط لوله را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود توپی باید به صورت مستقیم و بدون هیچ‌گونه زاویه‌ای با خط تقارن محوری لوله قرار گیرد. جهت جلوگیری از هر گونه آسیب، لازم است سطح خارجی توپی و سطح داخلی لوله کاملا از هر گونه سنگریزه، برآمدگی و هر شیء اضافه‌ای که توپی امکان برخورد با آن دارد، تمیز شود (شکل ۱۲). شکل (۱۳) وضعیت صحیح قرار گیری توپی قبل از تزریق هوا (الف)، بعد از تزریق هوا و انسداد کامل مسیر سیال (ب) و قرارگیری غیر صحیح توپی (ج) در خط لوله را نشان می‌دهد.

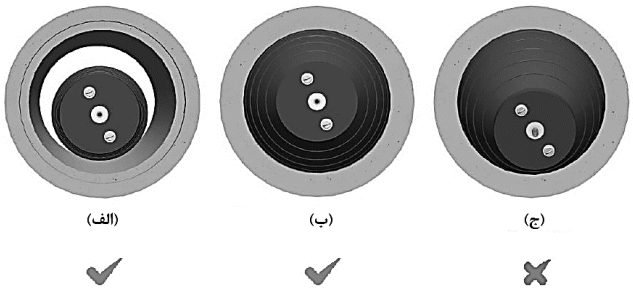


شکل۱۱ نحوه قرار گیری صحیح توپی در خط لوله [۲۸]



شکل۱۲ لزوم خارج کردن سنگریزه و هر شیء نوک تیز در محل قرار گیری توپی [۲۸]

باید به این نکته توجه نمود که نباید قبل از ورود توپی به لوله، هوا به درون توپی تزریق گردد، بلکه پس از قرارگیری صحیح آن در لوله و بررسی سطوح خارجی و داخلی لوله، عملیات تزریق هوا به توپی و افزایش فشار در آن صورت گیرد. زیرا علاوه بر اینکه خطر انفجار توپی بر اثر فشار خارجی اعمال شده وجود دارد، امکان مماس شدن کامل آن با جداره لوله و یا قرارگیری صحیح در داخل لوله کاهش یافته و به همان نسبت بازده توپی به منظور جلوگیری از جریان سیال درون لوله کاهش می‌یابد. به هنگام خارج ساختن توپی نیز، ابتدا باید هوای داخل آن تخلیه و سپس اقدام به خارج نمودن آن نمود. زیرا علاوه بر مسایل ایمنی، امکان خروج آسان آن به دلیل افزایش ابعاد وجود ندارد [۲۸،۲۶]. توپی‌های انسداد در قطرهای مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل‌های (۱۴) و (۱۵) دو شکل متفاوت از توپی انسداد را در قطرهای مختلف نشان می‌دهند.



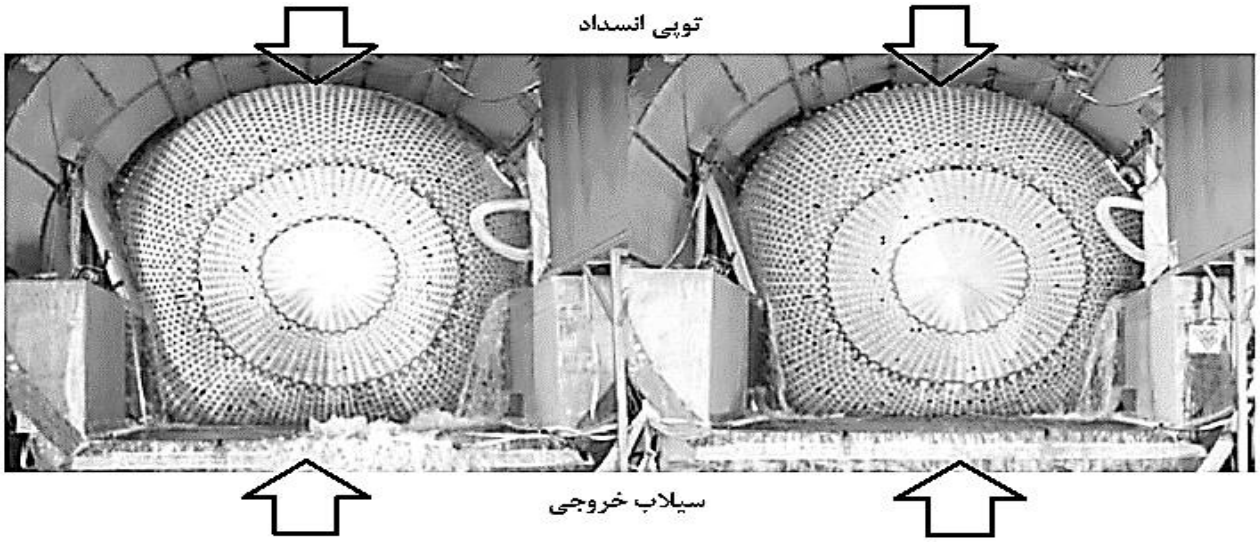
شکل۱۳ سه وضعیت قرارگیری توپی، (الف): قبل از تزریق هوا، (ب): بعد از تزریق هوا، (ج): قرارگیری نادرست

بیشتر قطرهای در دسترس توپی‌ها، در خط تولید متداول شرکت‌های تولید کننده قرار دارند. اما در مورد قطرهای بزرگ، مورد استفاده در تونل‌های راه آهن، سدها و یا مترو باید به صورت سفارشی تولید شوند [۳۰-۲۸].

شکل (۱۶) نمونه‌ای از توپی انسداد مورد استفاده برای جلوگیری از ورود سیلاب به تونل راه آهن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده، آزمایش‌های انجام شده بر روی این توپی موفقیت آمیز بوده است [۲۶].

شکل۱۴ توپی انسداد غیر استوانه‌ای در اندازه‌های مختلف [۲۹]

شکل۱۵ توپی انسداد استوانه‌ای در اندازه‌های مختلف [۳۱]



شکل۱۶ تست توپی انسداد در ورودی تونل راه آهن [۲۶]

توپی‌ها در دو نوع تک سایزی و چند سایزی مورد استفاده قرار می‌گیرند .توپی‌های تک سایز دارای یک قطر واحد هستند. به عنوان مثال یک توپی دارای قطر ۲۰۰ میلی‌متر تنها برای قطر لوله ۲۰۰ میلی‌متری مناسب است. در حالی‌که توپی‌های دارای چند سایز یک بازه از قطر لوله را پوشش می‌دهند. توپی چند سایزی ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌متری می‌تواند در حداقل و حداکثر قطر لوله ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌متر مورد استفاده قرار گیرد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). در صورتی که از توپی تک سایزی استفاده شود در آن صورت برای هر قطر لوله به یک توپی مجزا نیاز خواهد بود و به این ترتیب تعداد توپی‌ها و نیز هزینه تهیه و نگهداری آن‌ها افزایش خواهد یافت. اما اگر تمامی لوله‌ها در قطرهای متفاوت در یک زمان نیازمند انسداد در مسیر جریان باشند در این صورت لازم است از توپی‌های انسداد تک سایزی استفاده شود [۲۹،۳۲].

در استفاده از توپی‌های انسداد لازم است به موارد زیر توجه ویژه‌ای صورت گیرد [۲۶،۲۸]:

۱- از یک فشار سنج کالیبره جهت اندازه گیری فشار توپی به منظور آگاهی از افزایش بیش از حد فشار (در حین ورود سیال به آن) استفاده شود.

۲- لازم است بیرون توپی کاملا مورد بررسی قرار گیرد. از توپی‌های دارای بریدگی، خراشیدگی، نشتی، برآمدگی، ترک خوردگی و خرابی در اتصالات باید پرهیز نمود. این نوع توپی‌ها غیر استاندارد بوده و می‌توانند به هنگام افزایش فشار دچار انفجار شده و خسارت‌های مالی و حتی جانی ایجاد نمایند.

۳- توپی انسداد باید در محل خشک، به دور از نور آفتاب و در دمایی کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود.

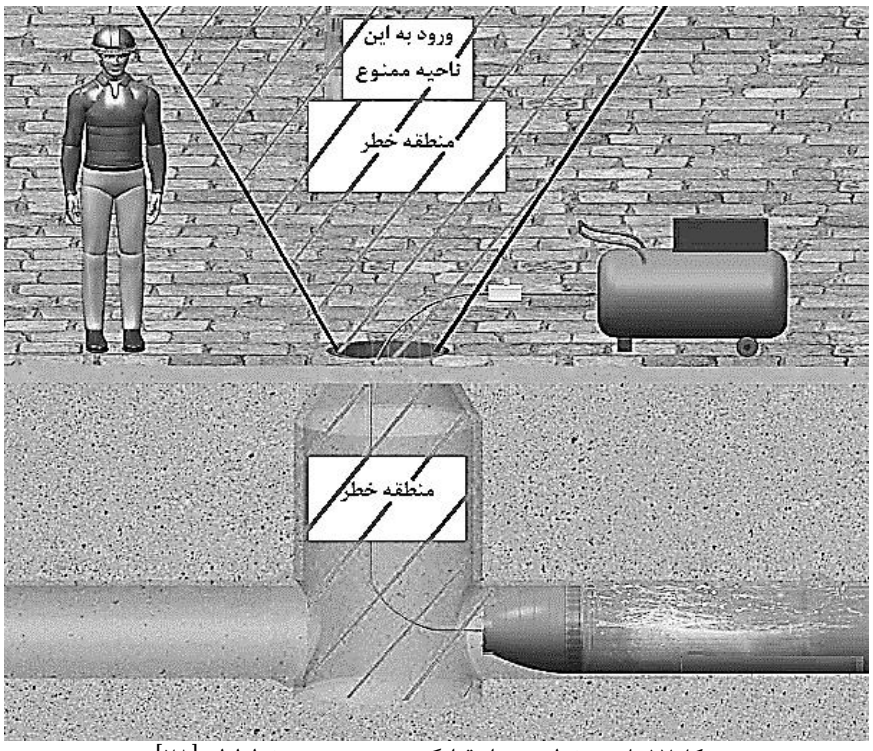
یکی از مسایل بسیار مهم در خصوص توپی‌های انسداد رعایت مسایل ایمنی است. با توجه به اینکه خطر انفجار در این توپی‌ها می‌تواند به دلایل مختلفی ایجاد گردد، لازم است اپراتور، ضمن رعایت کلیه نکات ایمنی که در بخش‌های قبلی ذکر گردید در فاصله ایمن از این توپی‌ها قرار گرفته و در ناحیه خطر قرار نگیرد [۲۸،۳۰]. شکل‌های (۱۷) و (۱۸) ناحیه خطر را بعد از قرارگیری توپی انسداد درون خط لوله نشان می‌دهند.

۳- نتیجه‌گیری

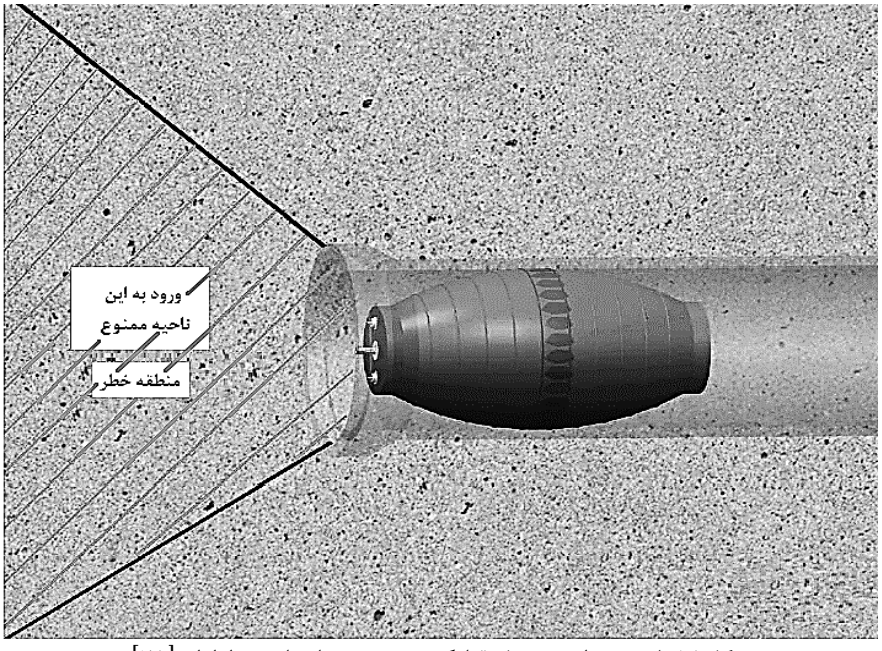
در این مقاله ضمن بیان روش‌های مختلف انسداد خط لوله از قبیل هات تپ، انجماد و توپی انسداد، محدوده کاربردی هر یک توضیح داده شده است. روش هات تپ به منظور انسداد کامل خط لوله، ایجاد انشعاب از خط لوله برای اتصال به دیگر سایت‌ها و واحدها و یا مسدود سازی موقت خط لوله به منظور بهبود و یا تعمیر، بخشی از خطوط که دچار آسیب دیدگی شده‌اند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که استفاده از روش هات تپ امکان پذیر نباشد از روش انجماد استفاده می‌شود. این روش علاوه بر اینکه از روش هات تپ سریعتر است، دو سوی لوله نیز نیاز به آماده سازی خاصی ندارد. اما این روش به دلیل اینکه در قطرهای بالای خط لوله، نیازمند زمانی در حدود ۴ یا ۵ ساعت برای انجماد است در شرایطی که کوتاهی زمان تعمیرات فاکتور مهمی تلقی می‌شود، قابل استفاده نیست. روش سوم برای انسداد خط لوله استفاده از توپی انسداد است. این روش برای شبکه لوله‌های آب و یا فاضلاب به جهت انجام تعمیرات، شستشو و یا تست شبکه و همچنین برای تونل‌های مترو، سد و یا راه آهن به منظور جلوگیری از ورود سیلاب قابل استفاده است. نگهداری از این توپی‌ها نیازمند محیطی با دمای کمتر از ۴۰ درجه، به دور از نور مستقیم خورشید و نیز به دور رطوبت است.

توپی‌های انسداد، در دو حالت تک سایز و یا چند سایز در دسترس می‌باشند. در حالت تک سایز، قطر توپی قابل تغییر نیست ولی در حالت چند سایز با تغییر حجم و فشار سیال درون توپی، می‌توان اندازه آن را افزایش و یا کاهش داد. در حالت کلی به جهت ایجاد صرفه جویی و سهولت نگهداری، بهتر است از توپی چند سایز استفاده شود اما اگر در یک زمان واحد، انجام عملیات انسداد خط لوله برای سایزهای مختلف خط لوله مد نظر باشد، استفاده از توپی‌های تک سایز اجتناب ناپذیر خواهد بود.

با توجه به پیشرفت‌های اخیر جهانی در خصوص روش‌های مختلف انسداد خط لوله، انتظار می‌رود در داخل کشور نیز، این روش‌ها، در صنایع گوناگونی نظیر نفت، گاز و پتروشیمی، تولید و انتقال آب شرب، سد، راه آهن و مترو به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین انجام تحقیقات متعدد در این زمینه از سوی پژوهشگران داخلی برای استفاده از، هر یک از روش‌های پیش گفته، در صنایع مختلف کاملا ضروری می‌باشد.



شکل۱۷ ناحیه خطر پس از قرارگیری توپی درون خط لوله [۲۸]



شکل۱۸ ناحیه خطر در محل قرارگیری توپی در ابتدای خط لوله [۲۸]

۴- تشکر و قدردانی

از دفتر نوآوری، توسعه فناوری و پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان که در امر این پژوهش نگارندگان را یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

۵- مراجع

[1] N. Lile, M. Jaafar, M. Roslan, and M. M. Azmi, "Blockage detection in circular pipe using vibration analysis," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, vol. 2, no. 3, pp. 252-257, 2012, doi: 10.18517/ijaseit.2.3.197.

[2] M. Mohitpour, T. Van Hardeveld, W. Peterson, and J. Szabo, *Pipeline operation & maintenance: a practical approach*, Second ed. ASME Press, 2010, doi: https://doi.org/10.1115/1.859605.

[3] "Chapter 18 Pipeline inspection, maintenance and repair," in *Elsevier Ocean Engineering Series*, vol. 3: Elsevier, 2001, pp. 325-352, doi: https://doi.org/10.1016/S1571-9952(01)80032-5.

[4] H. Iqbal, S. Tesfamariam, H. Haider, and R. Sadiq, "Inspection and maintenance of oil & gas pipelines: a review of policies," *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 13, no. 6, pp. 794-815, 2017, doi: https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1187632.

[5] M. Xie and Z. Tian, "A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data," *Engineering Failure Analysis*, vol. 92, pp. 222-239, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.05.010.

[6] G. A. Antaki, *Piping and pipeline engineering, design, construction, maintenance, integrity, and repair*, First ed. CRC Press 2003, doi: https://doi.org/10.1201/9780203911150.

[7] M. Yadegari and A. Bak Khoshnevis, "A numerical study over the effect of curvature and adverse pressure gradient on development of flow inside gas transmission pipelines," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 42, no. 8, p. 413, 2020, doi: https://doi.org/10.1007/s40430-020-02495-z.

[8] H. Haghighatjoo, M. Yadegari, and A. Bak Khoshnevis, "Optimization of single-obstacle location and distance between square obstacles in a curved channel," *The European Physical Journal Plus*, vol. 137, no. 9, p. 1042, 2022, doi: 10.1140/epjp/s13360-022-03260-y.

[9] K. Farrag, "Selection of pipe repair methods," Gas Technology Institute, Illinois, USA, 2013. [Online]. Available: https://docplayer.net/19919624-Selection-of-pipe-repair-methods.html.

[10] M. S. Jameel, A. Rana, and A. Ahmad, "Inspection and maintenance oil & gas pipelines: a review," presented at the 2nd Ahi Evran International Conference on Scientific Research, Ankara, Turkey, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/364324267_Inspection_And_Maintenance_Of_Oil_Gas_Pipelines_A_Review.

[11] C. Shargay, K. Daru, and J. J. Desai, "Hot tapping in oil refineries: corrosion and material concerns," in *ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference*, 2017, vol. 6A: Materials and Fabrication, doi: https://doi.org/10.1115/pvp2017-65422.

[12] T. McKone and G. Cooper, "Hot tap fittings: to extrude or fabricate," in *ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference*, 2017, vol. 6B: Materials and Fabrication, doi: https://doi.org/10.1115/pvp2017-65819.

[13] C. Herckis, "Hot tapping and plugging procedures enable replacement of concrete pressure pipelines reaching the end of service life without service interruption," in *Pipelines* Maryland, USA, 2015, pp. 1452-1460, doi: https://doi.org/10.1061/9780784479360.133.

[14] C. S. Cross, "Guidelines for hot-tapping, engineering design manual," vol. 13-III Engineering Guide. [Online]. Available: https://www.academia.edu/43812158/GUIDELINES_FOR_HOT_TAPPING.

[15] "Hot Taping." Pishgam Sanat Abzar. http://hottaping.com (accessed 27 March, 2017).

[16] C. Ozarpa and M. Elhan, "Risk in the hot-tap operation," presented at the 26th World Gas Conference, Paris, France, 2015. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/358043002_RISK_IN_THE_HOT-TAP_OPERATION.

[17] "Hot Tapping and Plugging Solution." TDW. https://www.sanmargprojects.com/downloadpdf/TDW%20HT&P%20Brochure%20200728.pdf (accessed 1 January, 2022).

[18] "Introduction to Hot Tapping and Line Stopping." Wermac. https://www.wermac.org/specials/hottap.html (accessed 1 January, 2023).

[19] Y. Takefuj and T. Okubo, "Double-ice-plug freezing using liquid nitrogen for water pipe repairs," *Urban Water Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 97-99, 2018, doi: https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1395900.

[20] J. I. Corbescu, "Cryogenic pipe freezing, a modern method for the maintenance of NPP hydraulic circuits," Ph.D. Thesis, School of Energy Engineering, University Politechnica of Bucharest, 2021. [Online]. Available: https://docs.upb.ro/wpcontent/uploads/2021/11/REZUMAT-TEZA_Corbescu_EN.pdf.

[21] F. L. Liu, S. K. S. Fan, E. Ndi, and J. F. Tu, "An Efficient no-shutdown pipe-fixing freezing design for water management system in hospitals during covid-19: A case study," *Water*, vol. 13, no. 19, p. 2725, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/w13192725.

[22] "Pipe Freezing." Inline. https://inlineps.com/pipe-freezing/ (accessed 1 January, 2022).

[23] "Line & Pipe Freezing." Pacific Flow Control LTD. https://pacificflowcontrol.ca/pipe-line-freezing/ (accessed 1 January, 2023).

[24] "Pipe Freezing." APS. https://www.alliedpipefreezing.co.uk/services/pipefreezing/ (accessed 1 January, 2022).

[25] E. M. Sosa, G. J. Thompson, and E. J. Barbero, "Experimental investigation of initial deployment of inflatable structures for sealing of rail tunnels," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 69, pp. 37-51, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.06.001.

[26] E. M. Sosa, G. J. Thompson, G. M. Holter, and J. M. Fortune, "Large-scale inflatable structures for tunnel protection: a review of the resilient tunnel plug project," *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, vol. 1, no. 1, p. 11, 2020, doi: https://doi.org/10.1186/s43065-020-00011-0.

[27] I. Pecora, E. M. Sosa, G. J. Thompson, and E. J. Barbero, "FE simulation of ceiling deployment of a large-scale inflatable structure for tunnel sealing," *Thin-Walled Structures*, vol. 140, pp. 272-293, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.03.043.

[28] "User Manual of Pipe Plugs." Plugco. https://www.plugco.net/files/2022/03/User-Manual-of-Pipe-Plug.pdf (accessed 1 March, 2022).

[29] "Inflatable Pipe Stopper." Caldertech. https://www.caldertech.com.au/wpcontent/uploads/2019/10/Caldertech_Inflatable_Pipe_Stoppers.pdf (accessed 1 October, 2019).

[30] E. M. Sosa and G. J. Thompson, "Inflatables for protection of tunnels: an overview of ten years of progress," presented at the IASS Annual Symposium & Structural Membranes, Barcelona, Spain, 2019. [Online]. Available: https://congress.cimne.com/Formandforce2019/admin/files/fileabstract/a647.pdf.

[31] "Advantages of the Pipe Plugs and the Conical Plugs." Plugco. https://www.plugco.net/advantages-of-the-plugs (accessed 2 June, 2022).

[32] "Multiple Pipe Plug vs. Single Size Plug." Plugco. https://www.plugco.net/multiple-pipe-plug-vs-single-size-plug (accessed 1 October, 2019).