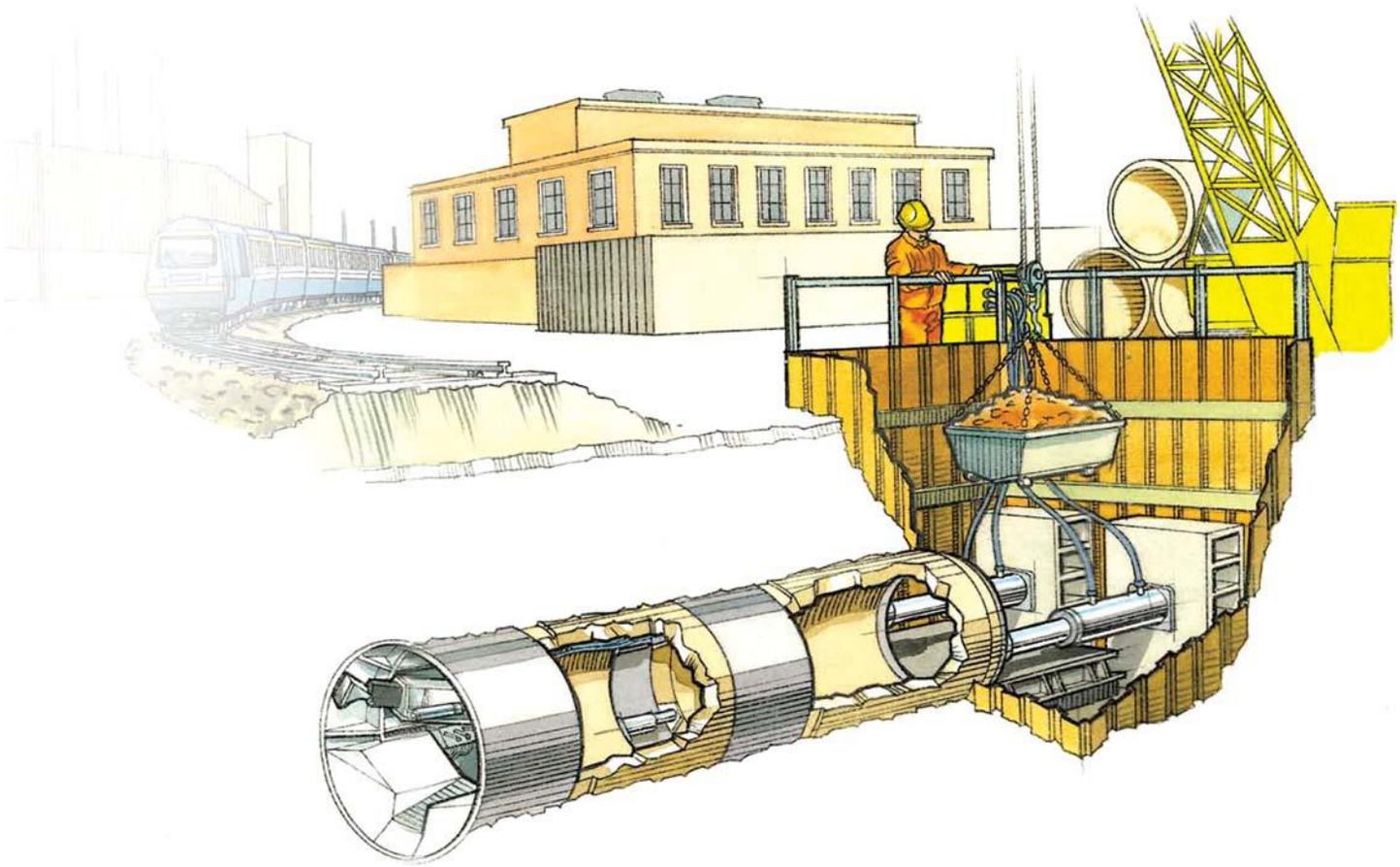
تکنولوژی‌های بدون ترانشه
پایپ جکینگ و میکروتونلینگ

Pipejacking & Microtunneling



تهیه شده در واحد روابط عمومی و مستند سازی شرکت کیسون

فهرست مطالب

۱. روش پایپ‌جکینگ
مقدمه
رواداری و گودال رانش
دیوار رانش
گودال دریافت
۲. کاربردهای روش پایپ‌جکینگ
۳. بررسی مسیر و مطالعات زمین‌شناسی
کلیات
مطالعات دفتری
مطالعات میدانی
مکان‌های چاه‌های گمانه
تامین اطلاعات
حفاری در زمین‌های ناپایدار
۴. روش‌های طراحی و ساخت
پارامترهای موثر در انتخاب روش و تجهیزات
گودال‌های کاری
روش‌های حفاری در پایپ‌جکینگ
حفاری به روش تخلیه گلاب
لوله‌های مورد استفاده در پایپ‌جکینگ
۵. طول پایپ‌جکینگ، بارها و رواداری‌ها
طول رانش
ایستگاه‌های میان لوله‌ران
روانکاری
بارهای رانش
رواداری‌های پایپ‌جکینگ

۶. پایپ‌جکینگ و لوله‌های بتن پلیمری
کلیات
ویژگی‌ها و مزیت‌های لوله‌های بتن پلیمری
مصالح مورد استفاده در تولید لوله‌های بتن پلیمری
روش تولید لوله‌های بتن پلیمری
مشخصات مهندسی لوله‌های بتن پلیمری
سیستم اتصال لوله‌های بتن پلیمری
کنترل کیفیت لوله‌های بتن پلیمری
۷. مزیت‌های پایپ‌جکینگ
مزیت‌های فنی
مزیت‌های ایمنی
مزیت‌های زیست محیطی و اجتماعی
۸. ملاحظات مالی در انتخاب روش احداث تاسیسات زیرزمینی
۹. توسعه روزافزون تکنولوژی‌های بدون ترانشه
پیش‌گفتار
گزینه‌های تکنولوژیکی
گذشته و آینده تکنولوژی‌های بدون ترانشه
توسعه تکنولوژی‌های بدون ترانشه در چین
تکنولوژی‌های بدون ترانشه در آمریکا
۱۰. اجرای طرح فاضلاب همدان به روش پایپ‌جکینگ توسط مشارکت کیسون- مشرف
اطلاعات پایه
شرح کلی پروژه
بررسی مسیر و مطالعات زمین شناسی
مسیر
مطالعات اولیه
آزمایش های ژئوتکنیک
مطالعات تکمیلی
لوله رانی در طرح فاضلاب همدان
گودال رانش، گودال دریافت و منهول ها
عملیات لوله رانی
اتصال، آببندی و روانکاری
تجهیزات
لوله های بتن پلیمری در طرح فاضلاب همدان
دستاوردهای روش لوله رانی در طرح فاضلاب همدان

۱۱. موخره
۱۲. منابع
۱۳. واژگان تخصصی

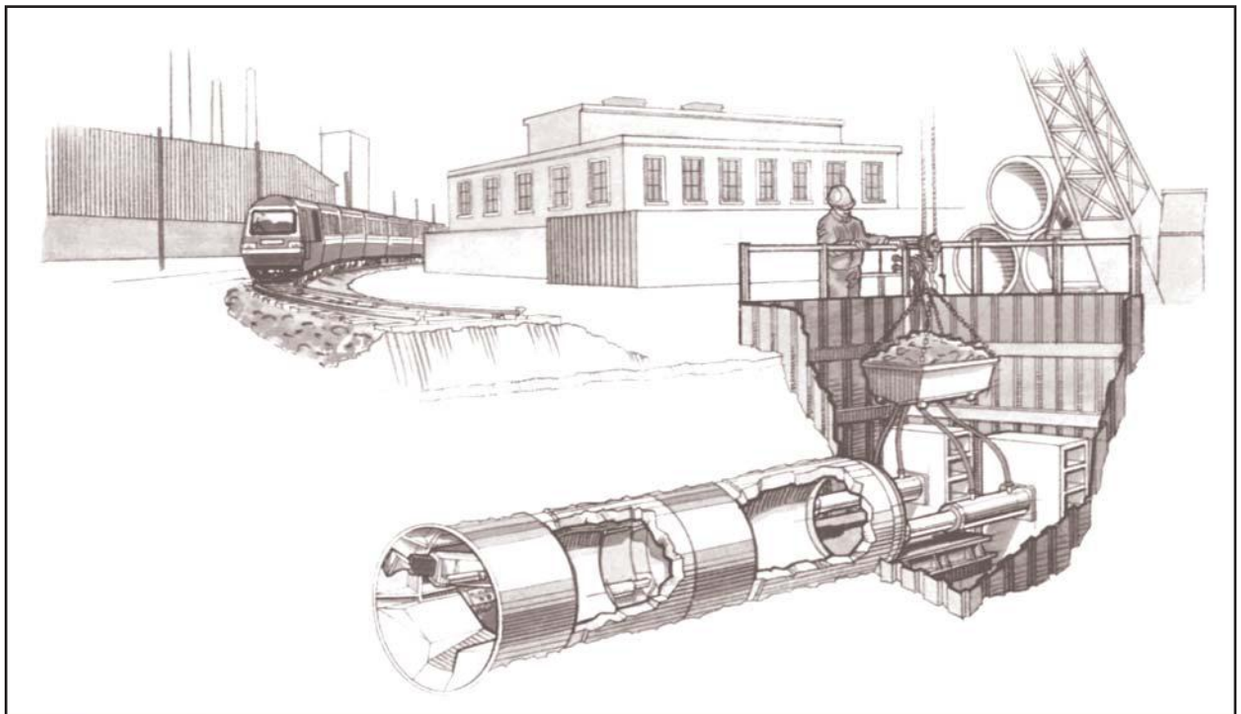
تکنولوژی‌های بدون ترانشه
پایپ جکینگ و میکروتونلینگ

۱-روش پایپ جکینگ

مقدمه

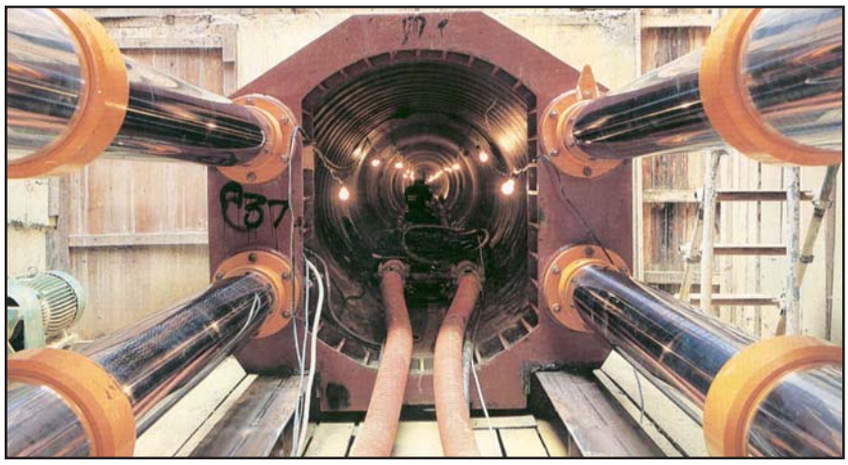
لوله رانی که در اقطار کوچکتر به آن میکروتونلینگ گفته می‌شود، روشی است برای نصب خطوط لوله، کانال‌ها و آبروها. در این روش از جک‌های هیدرولیکی بسیار قوی برای راندن لوله‌هایی با طراحی مخصوص استفاده می‌شود. لوله‌ها در پشت سپر قرار گرفته و همزمان با حفر زمین توسط سپر به درون زمین رانده می‌شوند. حاصل این روش احداث یک خط لوله انعطاف پذیر، ناتروا و به لحاظ سازه‌ای مقاوم است.

به لحاظ نظری هیچ‌گونه محدودیتی در مورد طول رانش وجود ندارد، گرچه ممکن است ملاحظات مهندسی و اقتصادی محدودیت‌هایی را ایجاد کنند. رانش‌هایی به طول چند صد متر، چه در یک خط مستقیم، چه در شعاع‌های مختلف، قابل اجرا هستند و لوله‌هایی با اقطار ۱۵۰ تا ۳۰۰۰ میلیمتر و حتی بیشتر را می شود با استفاده از سیستم مناسب نصب کرد. سیستم‌های حفاری گوناگونی شامل دستی، مکانیکال و کنترل از راه دور را می‌توان در پایپ جکینگ استفاده کرد .



چیدمان تجهیزات پایپ جکینگ

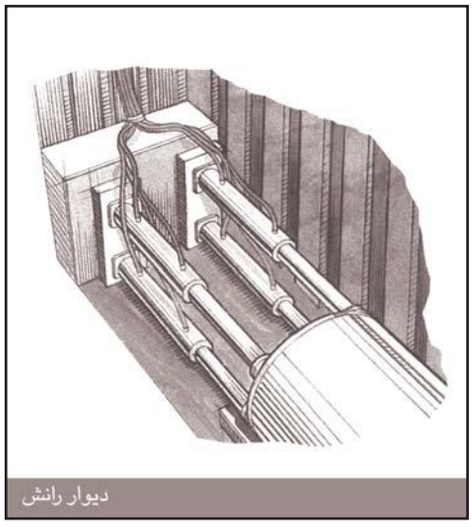
روداری و گودال رانش



رواداری‌ها در روش پایپ جکینگ قابل مقایسه با دیگر روش‌های حفاری تونل است. در واقع **روش پایپ جکینگ عموماً در شرایط و با مشخصات مشابه نیاز به قطر حفاری کمتری از تونل‌های سگمنتی دارد، استحکام زمین را افزایش و احتمال حرکت زمین را کاهش می‌دهد.**

برای نصب یک خط لوله به روش پایپ جکینگ ابتدا باید گودال‌های رانش و دریافت ساخته شوند. ابعاد و مشخصات ساخت گودال رانش براساس الزامات پروژه و عوامل اقتصادی به عنوان متغیر اصلی، فرق می‌کنند. روش حفاری نیز بر اندازه گودال تاثیر می‌گذارد. در شرایط خاص می‌توان اندازه گودال را کاهش داد.

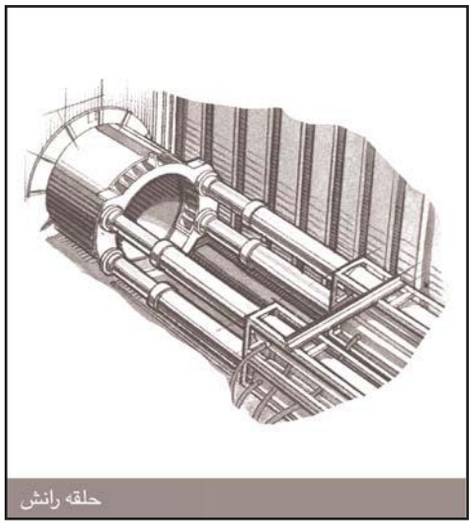
دیوار رانش



دیوار رانش

برای تامین مقاومت لازم در مقابل فشار جک، دیوار رانش (Thrust wall) اغلب از بتن مسلح ساخته می‌شود. در زمین‌های نامناسب، از سازوکارهایی مانند متراکم سازی یا ترتیبات ویژه دیگری برای افزایش توان واکنش دیوار رانش استفاده می شود. زمانی که عمق کافی برای احداث چال رانش در اختیار ما قرار ندارد، مقاومت در مقابل فشار رانش به کمک طراحی سازه‌هایی که با استفاده از شمع و مهارهای زمینی یا روش‌های دیگر انتقال بارهای افقی را انجام می‌هند، تأمین می‌شود.

گودال دریافت



حلقه رانش

برای حصول اطمینان از این که نیروهای رانش به صورت یکدست به تمام قطر لوله ها وارد می‌شود، از یک حلقه رانش (Thrust ring) برای انتقال بار استفاده می‌شود. جک‌ها به صورت هیدرولیکی به یکدیگر متصل می‌شوند تا نیروی اعمال شده آن‌ها یکسان باشد. تعداد جک‌هایی که استفاده می‌شود بستگی به قطر لوله‌ها، مقاومت آن‌ها، طول رانش و مقاومت اصطکاکی پیش‌بینی شده دارد.

یک گودال دریافت که اندازه آن برای خارج کردن سپر رانش کافی باشد معمولا در انتهای هر رانش احداث می‌شود. همراستا سازی اولیه پایپ جکینگ از طریق استقرار دقیق نرده‌های راهنما در داخل گودال رانشی که در آن لوله‌گذاری انجام می‌شود، تامین می‌گردد. برای دست یافتن به دقت لازم در همراستا سازی در طول عملیات پایپ جکینگ، باید از سپرهای قابل هدایت استفاده شود و به‌طور منظم آن‌ها را به لحاظ خط و راستا براساس یک مبنای ثابت، کنترل کرد. در پایپ جکینگ‌های ساده و کوتاه، کنترل‌های فوق را می‌توان با استفاده از تجهیزات

سیستم هدایت رایانه ای عملیات میکروتونلینگ

سنتی نقشه‌برداری اعمال کرد؛ اما حفاری‌های سریع و تکنیک‌های کنترل از راه دور نیاز به سیستم‌های الکترونیک هدایت از دور پیچیده و استفاده از ترکیبی از لیزر و روش‌های رایانه‌ای دارند.

زمانی‌که عملیات پایپ جکینگ یا میکروتونلینگ در زیر سفره آب انجام می‌شود، معمولاً باید از دیوار هدایت (Headwall) و استقرار سیستم آب‌بندی در درون چال‌های رانش و دریافت استفاده کرد. استفاده از این اقلام باعث جلوگیری از نفوذ آب‌های زیرزمینی، از بین رفتن زمین اطراف و حفظ موادی که برای روانکاری استفاده می‌شود، می‌گردد.

۲-کاربردهای روش پایپ جکینگ و میکروتونلینگ

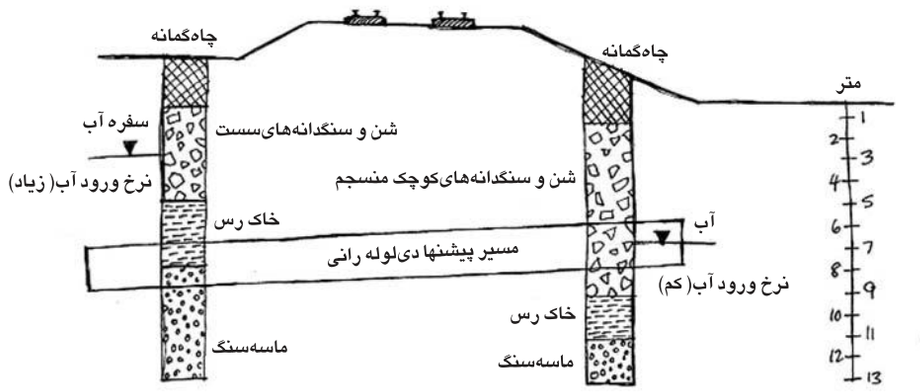
کاربردهای اصلی پایپ جکینگ و میکروتونلینگ شامل احداث سازه های زهکشی و دفع فاضلاب، جایگزین کردن و پوشش خطوط موجود فاضلاب، خطوط اصلی گاز و آب، خطوط نفت، گاز، برق، مخابرات و غیره می‌شود. از این تکنیک هم‌چنین می‌توان برای عبور از زیر موانعی مانند بزرگراه‌ها، خطوط قطار، رودخانه‌ها، کانال‌ها، ساختمان‌ها و فرودگاه‌ها که در مسیر خط لوله قرار دارند جهت به حداقل رساندن اختلال در عبور و مرور و سایر فعالیت‌هایی که در سطح زمین انجام می‌شود، استفاده کرد. پایپ جکینگ بطور معمول به عنوان جایگزین برای روش‌های ترانشه باز و سایر روش های حفاری تونل استفاده می‌شود. با این روش می‌توان خطوط بسیار طولانی را در اقطار بالا اجرا کرد. تکنیک‌های ویژه‌ای برای انجام عملیات لوله‌رانی در زمین‌های منسجم، غیر منسجم، سنگی (از جمله بولدر) و مخلوط وجود دارد.

۳-بررسی مسیر و مطالعات زمین شناسی

کلیات

هنگام طراحی و برآورد هزینه پروژه‌های پایپ جکینگ ابتدا باید یک بررسی دقیق و همه جانبه از ساختار زمین در مسیر اجرای خط لوله و شرایط ژئولوژیکی که در هر مقطع ممکن است با آن روبرو شویم، انجام شود. هم چنین باید جزئیات سفره‌های آب اطراف خط لوله در

گزارش مربوطه ثبت شود. بررسی میدان حتماً باید توسط یک کارشناس یا مشاور با صلاحیت ژئوتکنیک که تجارب قابل ملاحظه‌ای در پروژه‌های حفاری تونل دارد، تحت هدایت طراح تونل، انجام شود.



اطلاعات پایه‌مورد نیاز برای‌طراحی عملیات‌پایپ جکینگ

مطالعات دفتری

برای تمام پروژه‌های خطوط لوله تاسیسات شهری باید مطالعات دفتری از طریق ارزیابی منابع موجود، نقشه‌ها، عکس‌های هوایی، نقشه‌های تاسیسات شهری و مطالعات موجود درباره مسیر احداث خط لوله، انجام شوند. مطالعات دفتری برای درک مسائل ژئولوژیکی و ژئوتکنیکی و تعیین دامنه مطالعات نفوذی (Intrusive Investigation)، ضروری هستند.

مطالعات میدانی

مطالعات و تکنیک‌های اکتشافی میدانی باید با ساختار زمین و عمق حفاری جهت اجرای مسیر لوله رانی طراحی شده متناسب باشند. آزمایش‌های ژئوفیزیکی، گودال کنی، آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)، حفاری ضربه‌ای و دورانی چال‌های گمانه باید با توجه به خصوصیات زمین مورد استفاده قرار گیرند. مطالعات و بررسی‌های آزمایشگاهی باید موارد مرتبط با شرایط زمین و تکنیک‌های حفاری تونل را که احتمال دارد به کار گرفته شوند، پوشش دهند.

در جدول صفحه بعد پارامترهایی که باید در هر نوع خاک بررسی شوند، ذکر شده است:

پارامترهایی که باید برای انواع خاک ها در نظر گرفته شوند

آزمایش	خاک های غیر منسجم (Non-cohesive)	خاک های منسجم (Cohesive)	خاک های مخلوط (Mixed soils)	مصالح خاکریز (fill material)	سنگ (Rock)
وزن مخصوص و میزان رطوبت	✓	✓	✓	✓	✓
زاویه اصطکاک	✓		✓	✓	
توزیع اندازه دانه‌ها	✓	✓	✓	✓	
سایایی (Abrasivity)	✓	✓	✓	✓	✓
انسجام (Cohesion)		✓	✓	✓	
نوع و نسبت کانی‌ها	✓	✓	✓	✓	✓
آزمایش نفوذ استاندارد	✓	✓	✓	✓	
تراوایی و خصوصیات جریان‌های زیرزمینی	✓		✓	✓	✓
مواد سمی موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی	✓	✓	✓	✓	✓
فراوانی و خصوصیات بولدرها و سایر سنگ‌ها	✓	✓	✓	✓	✓
وجود گازها				✓	✓
مقاومت فشاری					✓
سنجش کیفیت سنگ					✓
نمونه‌برداری استوانه‌ای					✓
مقاومت کششی					✓
انرژی مخصوص (حفرپذیری)					✓
ویژگی‌های ژئوتکنیکی	✓	✓	✓		✓
دامنه خمیری		✓	✓		

مکان‌های چاه‌های گمانه

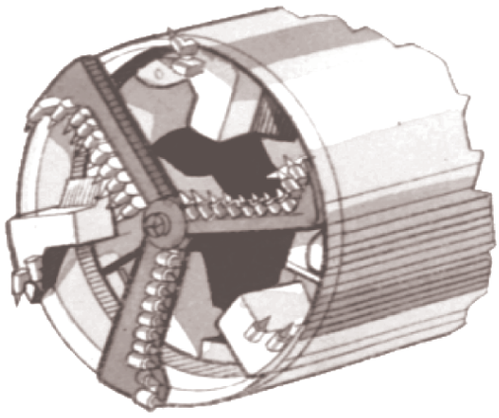
در هیچ شرایطی نباید چاه‌های گمانه روی خط تونل حفر شوند. چاه‌های اکتشافی باید به گونه‌ای انتخاب شوند که اطلاعات لازم را در خصوص انواع خاکی که در مسیر حفر تونل با آن‌ها روبرو می‌شویم، در اختیار ما قرار دهند. کلیه چاه‌های گمانه باید با دقت پوشانده و آبندی شوند. پیزومترها باید در مکان‌هایی که توصیه شده نصب شوند. چاه‌های گمانه همواره باید افق تونل و سطح زیرآبگذر را در برگیرند تا امکان شناسایی تغییراتی که در لایه‌های زیرین تونل اتفاق می‌افتد و می‌تواند بر احداث تونل اثر گذارد، فراهم شود. چاه‌های گمانه باید در مجاورت شفت‌ها حفر شوند. حفر چاه‌های گمانه اضافی باید جهت شناسایی مکان تغییرات مهم ژئولوژیکی و یافتن راه حل برای ابهامات ژئوتکنیکی در نظر گرفته شوند.

تأمین اطلاعات

تمام اطلاعات تاریخی و بررسی‌های میدانی باید در یک فرمت تعریف شده در اختیار پیمانکار پایپ جکینگ قرار داده شود تا امکان ارزیابی دقیق از تکنیک‌های مناسب برای اجرای کار فراهم گردد. در صورتی‌که مسیر خط لوله بعد از بررسی‌های دفتری و میدانی تغییر داده شود، باید لزوم حفر چاه‌های جدید گمانه بررسی شود تا مطمئن شویم اطلاعات موجود مسیر جدید را پوشش می‌دهند و نیازی به انجام مطالعات اضافی نیست.

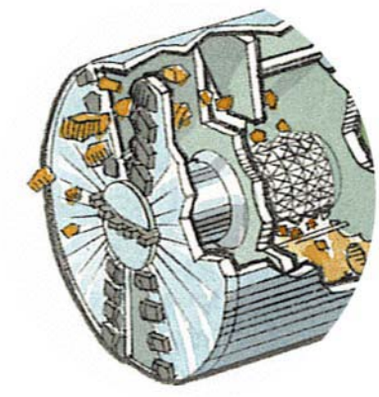
حفاری تونل در زمین‌های ناپایدار

روش‌های حفاری تونل بستگی به پایداری زمین دارند. در شرایطی که احتمال برخورد با زمین‌های ناپایدار وجود دارد، باید با اتخاذ تدابیری سینه تونل (Face of the tunnel) کنترل و از ریزش جلوگیری شود تا امکان اجرای عملیات حفاری در شرایط ایمن فراهم شود. کنترل سینه کار می‌تواند با استفاده از روش‌های مناسب حفاری تونل مانند هوای فشرده، دستگاه‌های تمام رخ (Full face) متعادل کننده فشار زمین، یا دستگاه‌های حفار تونل (TBM) که در زمین‌های سست به کار می‌روند، انجام شود.



از فرایندهای ژئوتکنیکی زیر می‌توان برای پایدارسازی زمین استفاده کرد:

- زهکشی بوسیله چاه.
- تزریق دوغ آب سیمان، بنتونیت یا مواد شیمیایی.
- منجمدسازی زمین در شرایط استثنایی.



انتخاب فرایند تابعی است از خصوصیات زمین، میزان رطوبت و بویژه تجزیه و تحلیل اندازه دانه‌های خاک.

۴-روش های طراحی و ساخت

پارامتر های موثر در انتخاب روش و تجهیزات

بعد از ارزیابی پارامترهای مهندسی، زیست محیطی و اقتصادی، روش حفاری پایپ جکینگ و احداث گودال‌ها براساس عوامل مختلف از جمله موارد زیر انجام می‌شود:

- شرایط زمین.
- جزئیات تاسیسات و سازه‌های زیرزمینی موجود در مسیر لوله رانی.
- ابعاد و موقعیت آدم‌روها و نواحی کاری.
- طول رانش‌ها.
- اقطار و جنس لوله‌ها.
- عوامل اقتصادی.

شرایط زمین نقشی اساسی در تعیین نوع گودال، روش حفاری و سیستم های تحکیم زمین دارد. هر یک از این موارد ممکن است با محدودیت هایی از نظر قطر لوله یا طول رانش روبرو باشند. تعامل بین این متغیرها، همراه با ملاحظات فیزیکی پروژه مانند محل احداث آدم روها و اندازه نواحی کاری، نهایتاً باید به یک یا چند راه حل که می‌توانند براساس هزینه و مهندسی ارزش ارزیابی شوند، منجر گردد.

گودال‌های کاری (Working shafts)

در عملیات لوله رانی می‌توان از روش‌های مختلفی برای احداث گودال یا شفت‌کاری استفاده کرد، از جمله:

- پوشش سگمنتی.
- صندوقچه های (Cassions) پیش‌ساخته یا درجا.
- سپر کوبی فلزی یا سکانتی.
- حفاری کم عمق با استفاده از تکیه گاه چوبی.
- حفاری شیب دار.
- مهارهای زمینی.
- پاشش بتن.

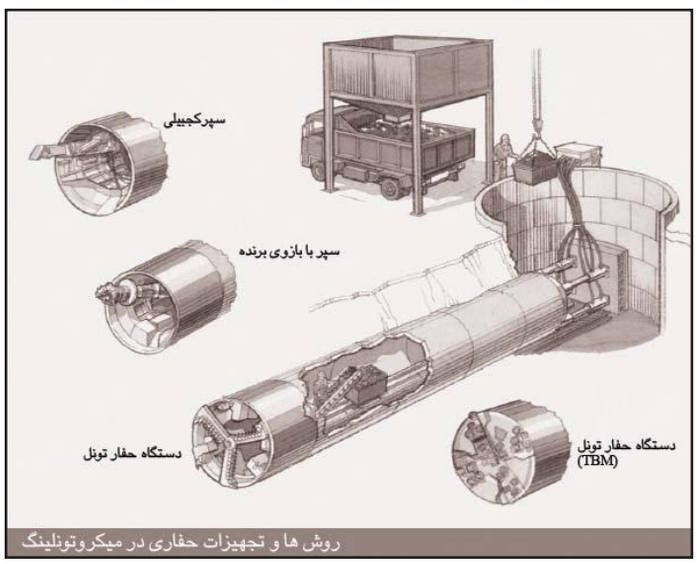
در شرایط خاص ممکن است لازم باشد از روش‌های کنترل سطح آب‌های زیرزمینی و عمل آوری زمین (Soil conditioning) برای فراهم آوردن امکان ادامه عملیات احداث گودال‌ها استفاده شود که مهمترین آنها از قرار زیر است:

- احداث چاه‌های زهکش و عمیق.
- هوای فشرده.
- دوغ آب معلق.
- تثبیت شیمیایی.
- منجمد کردن زمین.

روش‌های حفاری در پایپ جکینگ

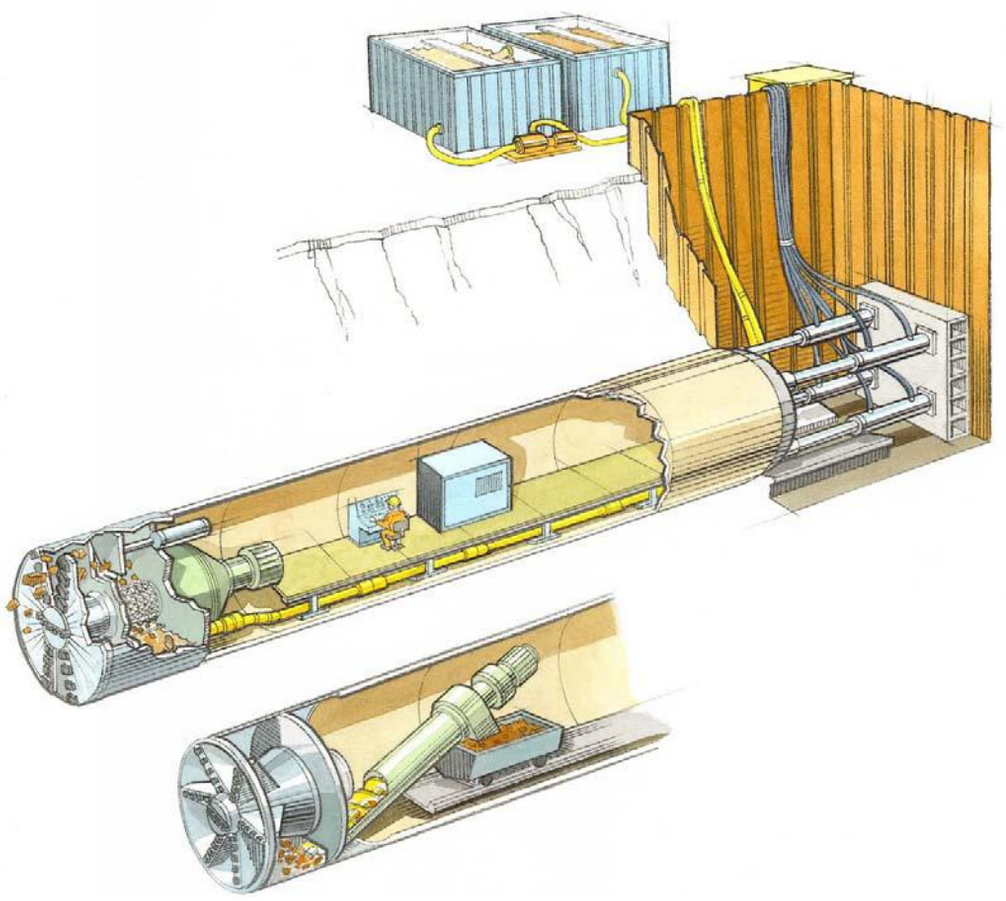
در اکثر موارد انتخاب روش حفاری و تجهیزات مربوطه به انتخاب روش مناسب تحکیم زمین بستگی خواهد داشت . در زیر به تعدادی از روش‌های متداول حفاری در پایپ‌چکینگ اشاره شده‌است.

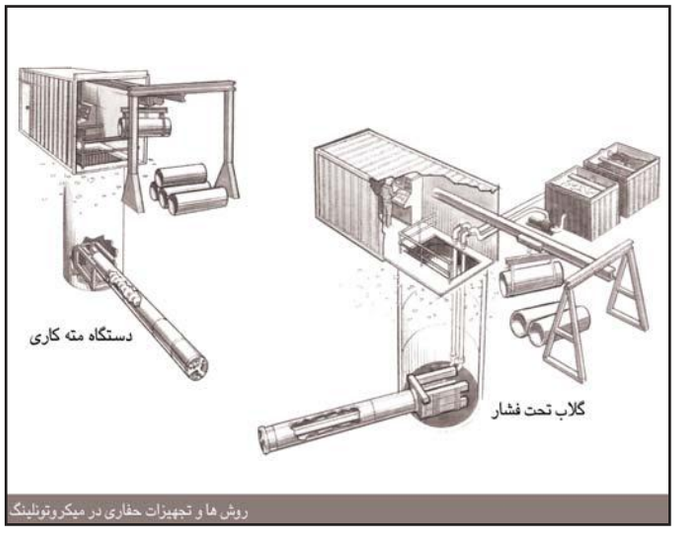
- **دستگاه حفار تونل (TBM)** - از یک سپر با کلاهک برنده دوار تشکیل شده‌است. انواع کلاهک‌های برنده جهت استفاده در انواع زمین‌ها وجود دارند.
- **سپر با بازوی برنده (Cutter boom shield)** - یک سپر سینه باز که روی آن یک بازوی حفار نصب شده است.
- **سپر کجبیلی (Backacter shield)** - یک سپر سینه باز که روی آن یک کجبیل حفار نصب شده است.
- **دستگاه گلاب تحت فشار (Pressurised slurry machine)** - یک دستگاه حفار سینه پر (Full face) که بوسیله آن مصالح از سینه کار به صورت گلاب معلق به خارج تخلیه می‌شود. انواع کلاهک‌های برنده برای حفاری در گستره وسیعی از زمین‌ها وجود دارند. هم چنین روی این دستگاه می‌توان تجهیزات خرد کننده برای مقابله با قلوه سنگ‌ها و بولدرهای کوچک نصب کرد.



روش ها و تجهیزات حفاری در میکروتونلینگ

- **دستگاه تعادل فشار زمین (Earth pressure balance machine)** - یک دستگاه سینه پر حفاری تونل است که بوسیله آن مصالح حفاری شده با استفاده از یک مته پیچ‌دار یا نقاله پیچ‌دار از سینه کار به سطح زمین منتقل می‌شود. سینه کار از مصالح حفاری شده که در پشت کلاهک برنده تحت فشار قرار دارد، تامین می‌شود. کنترل فشار از طریق اندازه‌گیری میزان تخلیه مصالح بوسیله مته پیچ دار یا نقاله پیچ دار، انجام می‌شود.





روش ها و تجهیزات حفاری در میکروتونلینگ

■ **دستگاه میکروتونلینگ (Microtunnelling machine)** - با این دستگاه کنترل کامل از راه دور با استفاده از تجهیزات رایانه‌ای مستقر در سطح زمین انجام می‌شود. دستگاه‌های میکروتونلینگ از دو نوع عمده زیر تشکیل می‌شوند:

■ **گلاب تحت فشار (Pressurised slurry)** - مانند دستگاه‌های حفار تونل (TBM)، مصالح حفاری شده از سینه کار را به شکل دوغاب معلق به سطح زمین منتقل می‌کند.

■ **دستگاه مته‌کاری (Auger machine)** - خاک‌های حفاری شده بوسیله آچار پیچ گوشتی پوشش‌دار از سینه کار به سطح زمین منتقل می‌شود.

■ **هند شیلد باز (Open hand shie)** - از یک سپر سینه باز (Open-face shield) که در آن حفاری دستی صورت می‌گیرد تشکیل شده است. از این روش برای حفاری‌های بالاتر از ۱۲۰۰ میلی متر در مسیرهای کوتاه استفاده می‌شود.

حفاری به روش تخلیه گلاب

در مواردی که در پایپ جکینگ و میکروتونلینگ برای نصب لوله‌ها از سیستم گلاب تحت فشار استفاده می‌شود، کنترل و مدیریت تجهیزاتی که خاک حفاری شده را از گلاب جدا می‌کنند برای موفقیت عملیات پایپ جکینگ و میکروتونلینگ از اهمیت زیادی برخوردار است.

در سیستم دوغاب از سیال‌های با مایه آب (Water-based fluid) برای انتقال خاک حفاری شده از دستگاه حفار تونل به سطح زمین استفاده می‌شود. در این فرایند خاک حفاری شده از گلاب جدا می‌شود و گلاب برای استفاده در حفاری‌های بعدی حفظ می‌شود.

چند عامل فورمولاسیون (ترکیب) گلاب را مشخص می‌کنند که مهمترین آنها مشخصات زمین مسیر لوله رانی و میکروتونلینگ است. البته طول و عمق رانش نیز از اهمیت زیادی برخوردار است.

لوله های مورد استفاده در پایپ جکینگ

بتن مهمترین ماده‌ای است که برای‌ساخت لوله‌های مورد نیاز در روش پایپ جکینگ بویژه در اقطار ۴۵۰ تا ۳۰۰۰ میلیمتر، استفاده می‌شود. در اقطار زیر ۴۵۰ میلیمتر معمولاً لوله‌های سفالی با مقاومت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. از لوله‌های فولادی یا فایبرگلاس هم در موارد خاص استفاده می‌شود.

انتخاب نوع لوله براساس متغییرهایی مانند قطر، طول رانش، خصوصیات خاک و استفاده نهایی خط لوله انجام می‌شود.

۵-طول پایپ جکینگ، بارها و رواداری‌ها

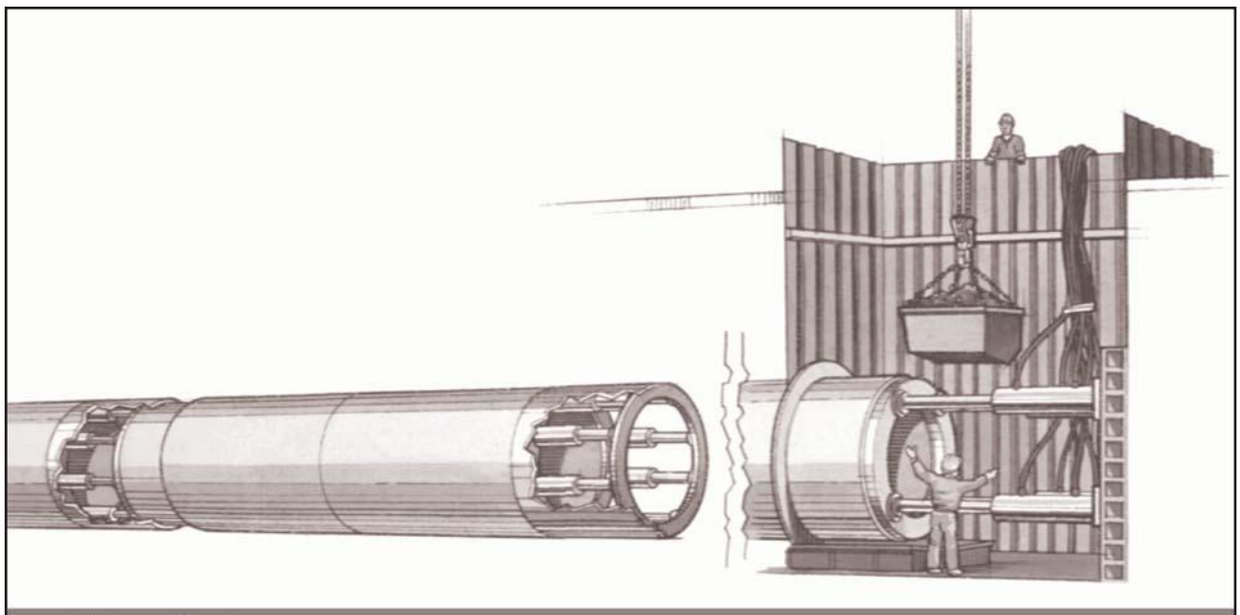
طول رانش

طول رانش با روش پایپ جکینگ بستگی به چندین متغییر مرتبط با هم دارد: پایداری و خصوصیات اصطکاکی زمینی که در آن حفاری تونل انجام می‌شود، وزن و طول لوله‌ها، قطر لوله‌ها، روش حفاری، توان دیوار رانش و قدرت جک‌ها. مهمترین محدودیت‌ها را خصوصیات زمین و آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کنند. البته طول رانش را می‌توانیم با استفاده از روش‌های مختلف بهینه کنیم.

ایستگاه‌های میان لوله ران

برای توزیع مجدد نیروی رانش وارده به قطار لوله، اغلب از ایستگاه‌های میان لوله‌ران در فواصل خاصی در طول مسیر خط لوله استفاده می‌شود. میان لوله‌ران‌ها مسیر لوله‌رانی را به طول‌های قابل مدیریت تقسیم می‌کنند. در این ایستگاه‌ها، با استفاده از جک‌های هیدرولیکی، این امکان فراهم می‌شود که به‌طور همزمان از چند لوله‌ران کوچکتر استفاده شود. هر میان لوله‌ران از رشته لوله ما قبل خود به عنوان دیوار رانش استفاده می‌کند. استفاده از میان لوله‌ران‌ها باعث کاهش احتمال خرابی لوله‌ها می‌شود، زیرا بیشینه نیرو هر رشته لوله بستگی به تعداد و ضریب اصطکاک لوله ها دارد. هر میان لوله ران به طور مستقل از ایستگاه اپراتور قابل کنترل است.

از میان لوله‌ران‌ها علاوه بر افزایش طول رانش برای کاهش فشاری که به دیوار رانش وارد می‌شود نیز استفاده می‌کنند. میان لوله‌ران‌ها، به خصوص در زمین‌های سست، از کارآیی بالایی برخوردارند.

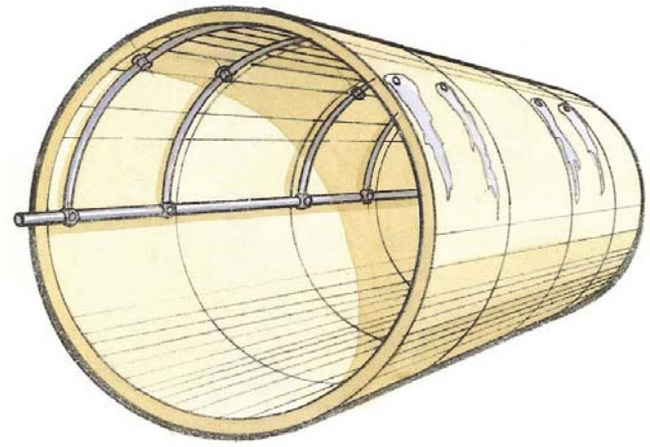


ایستگاه میان لوله ران

روانکاری

مهمترین نیروهایی که در عملیات لوله‌رانی باید بر آن‌ها غلبه کرد وزن قطار لوله و نیروهای اصطکاکی که در اطراف آن متمرکز شده اند، است. بدیهی است هر چه قطر لوله‌ها طویل تر باشد اصطکاک نیز به دلیل افزایش سطح تماس بین سطح لوله و زمین، بیشتر می‌شود. مشکل اصطکاک معمولاً به دو طریق حل می‌شود:

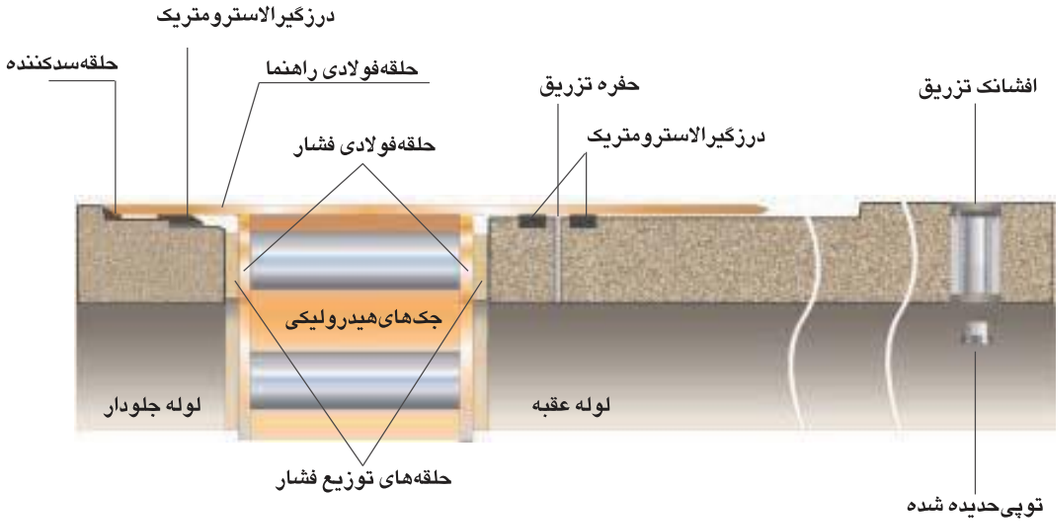
۱- انتخاب لوله‌هایی با کمترین قطر ممکن، ۲- روانکاری. در سال های اولیه پایپ جکینگ این مشکل از طریق نصب قاب‌های لوله‌ران جهت افزایش مقاومت لوله‌ها و بالا بردن فشار جک‌ها حل می‌شد. البته این روش در بسیاری از موارد منجر به خرابی زود هنگام لوله‌ها می شد، زیرا در شرایط سخت فشار وارده بر لوله‌ها فراتر از توان باربری آن‌ها بود. امروز با استفاده از دوغاب بنتونیت یا مخلوط بنتونیت و پلیمر می‌توان بر بسیاری از مشکلات بارگذاری غلبه کرد.



مخلوط دوغاب روانکاری به گونه‌ای طراحی شده که کارآیی لازم را در شرایط سخت داشته باشد. در مواردی که ماده روانکاری در خاک اطراف مسیر رانش جذب یا زهکش نمی‌شود می‌توان از یک فورمولاسیون ساده برای روانکاری استفاده کرد. در مواردی که ماده روان کننده جذب می‌شود یا فشار زمین بالا است، می‌توان با اصلاح ماده روان کننده از ریزش زمین جلوگیری و آن را تحکیم کرد.

ماده روان ساز بوسیله لوله‌هایی که در داخل قطار اصلی نصب شده اند منتقل و از طریق درگاه‌هایی که در داخل دیواره لوله‌ها ایجاد شده به درون سیستم تزریق می‌شود. هر درگاه تزریق بوسیله یک خط روانکاری تغذیه می‌شود. تزریق یا به صورت دستی از ایستگاه اپراتور یا به وسیله یک سیستم کامپیوتری از یک مرکز توزیع چند شاخه‌ای کنترل می‌شود. سیستم کامپیوتری از کارآیی بسیار بالاتری برخوردار است، زیرا به آپراتور اجازه می‌دهد مقادیر مشخصی از ماده روان ساز را در مکان مناسب تامین و عمل روانسازی را در سراسر مسیر رانش بهینه کند.

در بسیاری از پروژه‌ها استفاده از مواد و روش صحیح روان‌سازی باعث کاهش قابل ملاحظه بار رانش و مشکلات مربوط به تحکیم زمین می‌شود و با فراهم آوردن امکان استفاده از قاب‌های رانش کوچکتر، اندازه گودال رانش را به حداقل می‌رساند و در نتیجه هزینه کل پروژه را کاهش می‌دهد. با استفاده از روان سازها و تکنیک‌های جدید نصب لوله، امروز می‌توان یک مسیر ۱۰۰۰ متری را در یک رانش لوله‌گذاری کرد.



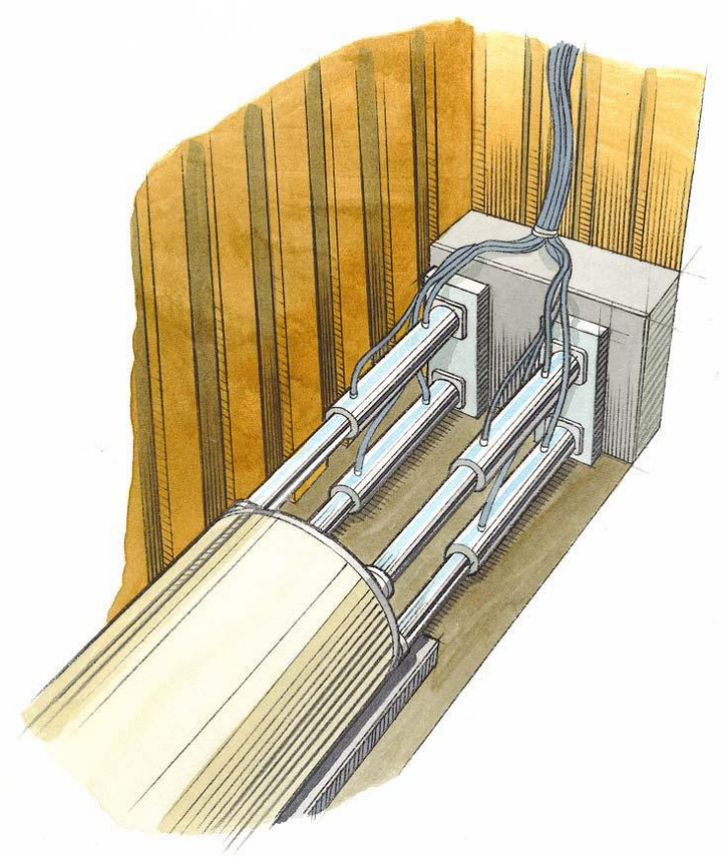
بارهای رانش

بارهای لازم برای راندن خط لوله به جلو به طور عمده تابعی از نیروهای اصطکاکی و چسبندگی موجود در اطراف خط لوله هستند. این نیروها بوسیله متغیرهایی مانند خصوصیات قوسی، زاویه اصطکاکی، عمق لایه سربار (Overburden)، عمق آب‌های زیرزمینی، بارهای اضافی دیگر، طول و قطر لوله‌ها و نهایتاً زمان رانش بستگی دارد. گرچه برآورد دقیق این نیروها با استفاده از تئوری‌های مکانیک خاک بسیار مشکل است، اما پیمانکاران مجرب پروژه های لوله‌رانی توانسته‌اند مقادیر نسبی آنها را مشخص کنند. به طور معمول، نیروهای اصطکاکی بین ۰/۰۵ و ۲/۵ تن در هر متر مربع مساحت محیطی خارجی هستند. استفاده از تکنیک‌های پیشرفته تزریق روان ساز، نیروهای اصطکاکی در هر متر مربع را به ۰/۰۱ تن در هر متر مربع می‌رسانند. در صورت روبه‌رو شدن با مقاومت اصطکاکی بالا، استفاده از میان لوله‌ران‌ها در فواصل معینی از مسیر رانش توصیه می‌شود.

برای مقاومت در مقابل بارهای رانش، در انتهای گودال رانش یک دیوار رانش که قادر به تحمل بار رانش باشد و به طور مناسبی این بار را به زمین اطراف منتقل کند، ساخته می شود.

رواداری های پایپ جکینگ

در زمین‌های پایدار، خود ایستا و یکدست رواداری قابل قبول برای لوله‌های آدم‌رو ۵۰ ± میلیمتر از خط واقعی و ۵۰ ± از تراز واقعی در هر نقطه از مسیر رانش است. در میکروتونلینگ رواداری های از ۲۵± میلی متر در خط و تراز دست یافتنی هستند؛ اما در برخی زمین‌ها، بویژه زمین‌های ناپایدار یا مسیرهایی که با موانع زیادی روبرو هستند، به سختی می‌توان به چنین رواداری هایی دست یافت. در چنین شرایطی، استفاده از لوله های بزرگتر توصیه می‌شود. تنظیم خط و تراز باید بطور تدریجی انجام شود تا انحراف زاویه‌ای در حد مجاز باقی بماند.

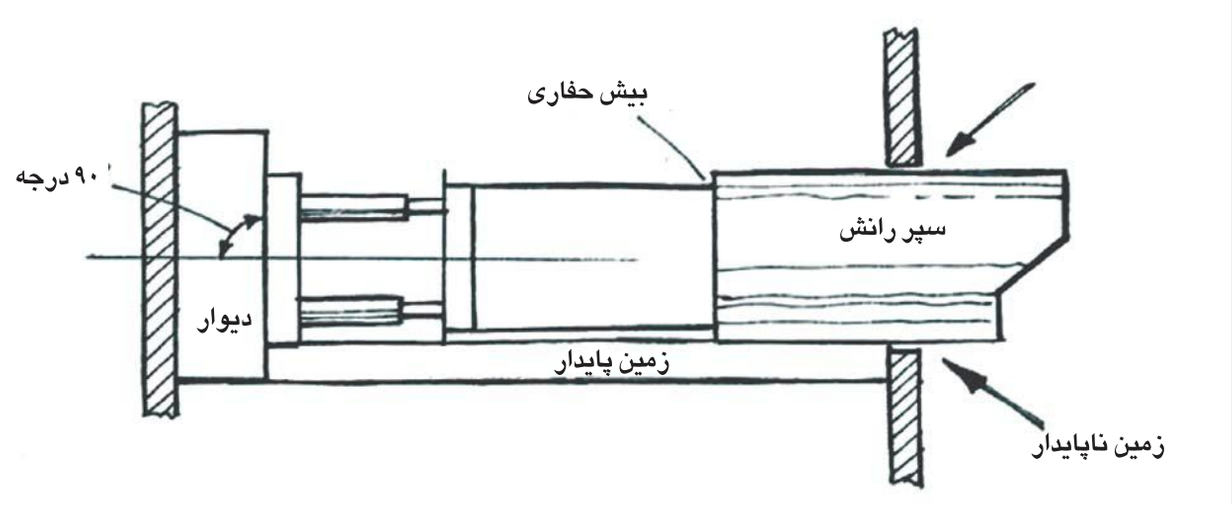


۶-پایپ جکینگ و لوله‌های بتن پلیمری

کلیات

لوله‌های بتن‌پلمیری را می‌توان در اقطار ۸ الی ۱۰۲ اینچ و طول ۳ متر و حتی بیشتر تولیدکرد. علی‌رغم مقاومت بسیار بالا، ضخامت لوله‌های بتن‌پلیمری به‌مراتب کمتر از لوله‌های بتنی است. لوله‌های بتن‌پلیمری را هم چنین می‌توان به‌صورت سگمنتی (در مقطع‌های ۱۲۰ درجه) جهت استقرار مستقیم در پشت سپر رانش ساخت. اتصالات فاق و زبانه (Tongue & Groove) با رزین غیر اشباع بهم چسبانده و فضای حلقوی بین جداره خارجی لوله و زمین با دوغاب پر می‌شود.

به دلیل مقاومت فشاری فوق العاده بالای بتن پلیمری (حداقل ۱۳۰۰۰ psi)، لوله‌های بتن‌پلیمری، حتی با ضخامت کمتر از لوله‌های سنتی بتنی، به راحتی می‌توانند بارهای به‌مراتب بالاتر رانش را تحمل کنند. رواداری‌های بسیار فشرده لوله‌های بتن‌پلیمری و جداره بسیار صاف، یکدست و بدون منفذ خارجی آن‌ها، به علاوه مقاومت فشاری بالا، باعث شده لوله‌های بتن پلیمری به بهترین گزینه، بویژه در پروژه‌های پیچیده لوله‌رانی تبدیل شوند.



ویژگی‌ها و مزیت‌های لوله بتن پلیمری

دلایل بسیاری برای استفاده از لوله‌های بتن‌پلیمری در عملیات پایپ‌جکینگ و میکروتونلینگ وجود دارد. در جدول زیر به برخی مشخصات و مزیت‌هایی که لوله‌بتن پلیمری را به بهترین گزینه در جهان تبدیل کرده، اشاره شده است:

مشخصات	مزیت‌ها
مصالح مقاوم در برابر خوردگی	■مقاوم در برابر ph یک تا ده و عمر مفید بیشتر از ۵۰ سال. ■نیازی به پوشش، روکش، حفاظت کاتدی و محافظ‌های ضد خوردگی ندارد. ■مشخصات هیدرولیکی ثابت در طول زمان.
ویژگی‌های مقاومتی برتر	■مقاومت فشاری بالا (حداقل ۱۳۰۰۰ psi) ■تحمل بالاتر در مقابل نیروی رانش در مسیرهای طولانی‌تر و رواداری بیشتر در رانش‌های مجدد.
مشخصات بی‌نظیر هیدرولیکی	■حرکت روان ■ضریب جریان "n" مانینگ ۰/۰۰۹ ■افت اصطکاک کم و نرخ بالای جریان ■تجمع لجن و گل به حداقل می‌رسد، هزینه تمیز کاری کاهش می‌یابد. ■مقاومت سایشی بسیار بالا
سیستم برتر اتصال	■نا تراوایی تا ۳۵ psi ■اجرای اتصالاتی که امکان هر گونه نشت از داخل لوله به بیرون و از بیرون به درون را منتفی می‌کند. ■سادگی متصل کردن لوله‌ها باعث کاهش زمان نصب می‌شود.
تکنولوژی پیشرفته طراحی‌لوله	■مطابقت با استانداردهای DIN و ASTM ■کیفیت یکدست لوله‌ها باعث عملکرد بسیار خوب و مطمئن آنها در شرایط گوناگون می‌شود.
مناسب برای عملیات میکروتونلینگ	■ابعاد بسیار دقیق و بدون انحنا ■قابلیت بالای توزیع یکدست نیروهای رانش ■حلقه راهنمای فولادی برخوردار از حداکثر دوام در طول عملیات لوله‌رانی. ■بار متمرکز (Point load) کمتر و کاهش خطر شکستگی ■سطح خارجی صاف، یکدست و بدون منفذ - کاهش اصطکاک سطحی (Skin friction) و فشار رانش در شروع عملیات مجدد حتی بعد از وقفه‌های طولانی.

مصالح مورد استفاده در تولید لوله‌های بتن‌پلیمری

لوله‌های بتن پلیمری ترکیبی از چسب رزین پلی‌استر، ماسه کوارتز، سیلیکات و پرکننده کوارتز هستند. از آنجا که سیمان پورتلند عملکرد ضعیفی در محیط‌های اسیدی و قلیایی دارد، از آن به عنوان متصل کننده استفاده نمی‌شود. در تولید لوله‌های بتن‌پلیمری از رزین پلی‌استر برای پیوند دانه‌های سیلیکات که در کوره خشک شده‌اند، استفاده می‌شود و بدین ترتیب یک ماتریس متراکم مقاوم در برابر خوردگی ایجاد می‌گردد. برای کاربردهای خاص که نیاز به مقاومت بالاتری در مقابل مواد شیمیایی وجود دارد، از رزین ونیل‌استر (Vinyl ester) برای تولید لوله‌های بتن‌پلیمری استفاده می‌شود.

روش تولید لوله‌های بتن‌پلیمری

برای تولید لوله‌های بتن‌پلیمری از یک فرآیند بتن‌ریزی عمودی (Vertical casting) که روشی است مشابه لوله‌های بتنی استفاده می‌شود. در این فرآیند مقادیر کاملاً معینی از مواد مختلف با هم مخلوط می‌شوند. کمیت مواد اولیه، ترتیب مخلوط کردن آن‌ها و اضافه کردن مواد همگی بوسیله کامپیوتر کنترل می‌شوند. سپس مواد مخلوط شده به درون قالب‌های عمودی ریخته می‌شود و با تراکم ارتعاشی، یک کامپوزیت بدون خلا (Void free) و چگال بدست می‌آید. لوله‌های بتن‌پلیمری ابتدا در قالب عمل‌آوری می‌شوند و بعد از اینکه بتن خود را گرفت، قالب‌ها برداشته شده و لوله برای عمل‌آوری نهایی به داخل کوره تونلی (Tunnel kiln) هدایت می‌شود. استفاده از قالب‌های فولادی با دقت ابعادی بسیار بالا (High dimensional accuracy) منجر به تولید لوله‌هایی با رواداری‌های ابعادی بسیار فشرده و قطر بسیار دقیق از ابتدا تا انتهای لوله می‌شود.

مشخصات مهندسی لوله‌های بتن‌پلیمری

به‌دلیل ترکیب مؤثر چسب پلی‌استر و مصالح دانه‌ای در یک ماتریس بسیار یکدست و چگال، لوله‌های بتن‌پلیمری از ویژگی‌های مکانیکی فوق‌العاده‌ای برخوردارند. این ویژگی‌ها نقش مهمی در احداث خطوط لوله با کیفیت برتر ایفا می‌کنند.

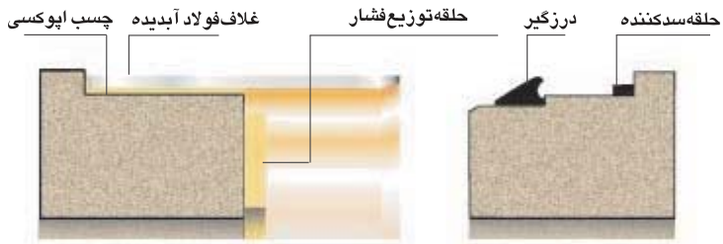
جدول زیر بخشی از مشخصات فنی مهمتر لوله‌های بتن‌پلیمری را نشان می‌دهد:

مشخصه	مقدار	آزمایش
مقاومت فشاری	13,000 psi min.	ASTM C579, Method B
ضریب خمشی الاستیسیته	4.0×106 psi	ASTM D790
مقاومت کششی	870 psi	ASTM D638
مقاومت خمشی	2,900 psi	ASTM D790
ضریب انبساط طولی حرارتی	10 to 20×10-6 in/in/C	DIN 53752
زبری مطلق	0.39×10.4 ft.	
مقاومت سایشی	0.2mm after 100,000 cycles	Darmstadt Procedure

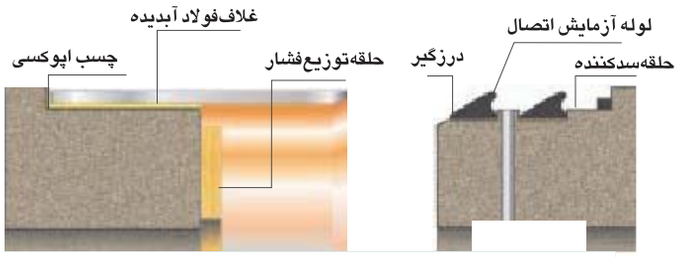
سیستم اتصال لوله‌های بتن پلیمری

سیستم اتصال لوله‌های پلیمری در روش پایپ‌جکینگ از یک حلقه فایبرگلاس که با فشار بر روی واشر های لاستیکی مستقر در دیواره لوله قرار می‌گیرد، تشکیل شده‌است. در کاربری‌های خاص مانند محیط‌های نمک‌دار، می‌توان از فولاد آبدیده و آلیاژ تیتانیم استفاده‌کرد. حلقه آب‌بند به یک واشر لاستیکی که کاملاً به دیواره لوله متصل شده، جفت می‌شود. طراحی تفصیلی اتصال بستگی به قطر لوله دارد. در زیر روش‌های اتصال برای اقطار مختلف لوله‌های بتن پلیمری نشان داده‌شده‌است:

قطر ۸ الی ۴۵ اینچ



قطر ۳۹ الی ۷۲ اینچ



قطر ۷۸ اینچ به بالا

کنترل کیفیت لوله‌های بتن پلیمری

برای حصول اطمینان از رعایت استانداردهای مربوطه، تعدادی لوله به طور اتفاقی انتخاب و تحت بازرسی‌ها و آزمایش‌های زیر قرار می‌گیرند:

۱- استادکاری (Workmans hip)

۲- ابعاد شامل:

- قطر لوله
- طول لوله
- ضخامت لوله
- صاف بودن لوله
- دایره کامل بودن لوله

۳- آزمایش سه نبشی (Three-edge bearing test)

۴- مقاومت فشاری

مقاومت شیمیایی لوله‌های بتن پلیمری از طریق انتخاب حداقل شش نمونه و واردکردن باری برابر ۶۰ درصد مقاومت اولیه سه نبشی به آن‌ها در حالی‌که در معرض دو محلول شیمیایی [N(PH 0.5) sulfuric acid and water and sodium hydroxide at a PH of 10.0 1.0]| برای مدت ۱۰۰۰ ساعت قرار داده شده‌اند، راست‌آزمایی می‌شود.

۷-مزیت های پایپ جکینگ

مزیت‌های فنی

مهمترین مزیت‌های فنی روش پایپ جکینگ از قرار زیر است.

- استحکام ذاتی.
- جداره داخلی یکدست و صاف و سیالی مناسب.
- عدم نیاز به اجرای پوشش ثانوی (Secondary lining).
- اتصالات بسیار کمتر در مقایسه با تونل های سگمنتی.
- جلوگیری از نفوذ آب‌های زیر زمینی از طریق استفاده از لوله‌هایی با اتصالاتی ناتروا و آب‌بند.
- خطر نشست بسیار کمتر از روش‌های سنتی.
- ایجاد حداقل اختلال در سطح زمین.
- به حداقل رساندن عملیات ترمیمی (برگردان به حالت اول).
- کاهش جابجایی و تغییر مسیر تاسیسات زیرزمینی در مناطق شهری.

مزیت‌های ایمنی

پایپ جکینگ ذاتاً روش ایمن‌تری از ترانشه باز و حتی تونل‌های سگمنتی است. در استانداردهای ایمنی کشورهای توسعه یافته توصیه می‌شود در هر کجا که ممکن است به جای ترانشه باز از روش‌های بدون ترانشه مانند پایپ جکینگ استفاده شود. با توجه به تفاوت‌های بسیار زیادی که در تعداد پرسنل و در نتیجه نفر / ساعت کار انجام شده وجود دارد،به خودی خود احتمال وقوع حوادث در روش پایپ جکینگ به شدت کاهش می‌یابد. از آنجایی که پایپ جکینگ در عمق زمین انجام می‌شود احتمال برخورد با خطوط برق و در نتیجه برق گرفتگی عملا حذف می‌شود. به علاوه به دلیل ارتباط بسیار کم با عامه مردم و ترافیک ، احتمال حوادث مرتبط با این عوامل نیز به شدت کاهش می‌یابد.

طبق آمار جمع‌آوری شده توسط انجمن بین‌المللی پایپ جکینگ، ضریب ایمنی در روش پایپ‌جکینگ و میکروتونلینگ چندین برابر بالاتر از استانداردهای تعیین شده برای کارهای سیویل است.

مزیت های زیست محیطی و اجتماعی

روش پایپ جکینگ مزیت‌های زیست محیطی فراوانی در مقایسه با روش سنتی ترانشه باز دارد. روش پایپ جکینگ به شدت حمل مصالح به محل فعالیت‌های اجرایی را کاهش می‌دهد و باعث می‌شود تعداد و دفعات تردد ماشین آلات و تجهیزات به طور قابل ملاحظه‌ای کم شود و در نتیجه حوادث مرتبط با آن‌ها نیز کاهش یابد. با توجه به این که در روش پایپ جکینگ تقریبا تمام فعالیت‌ها در زیرزمین انجام می‌شوند، مداخله ناچیزی با محیط زیست اطراف و در نتیجه تخریب آن وجود دارد.

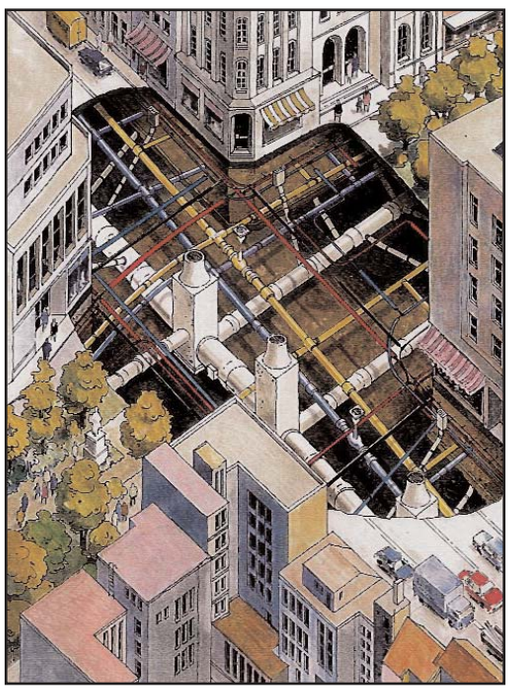
جدول زیر اثرات زیست محیطی پایپ جکینگ و ترانشه باز در احداث دو خط لوله با اقطار مختلف را مقایسه می‌کند. در این مقایسه فرض شده خاک حفاری شده از محل عملیات اجرایی به محل از پیش تعیین شده‌ای حمل می‌شود و بعد از نصب لوله، روی آن با مصالح خاکریزی که از خارج به سایت وارد می‌شود، پر می‌گردد. از آنجائیکه احداث آدم روها و حمل لوله به کارگاه ساختمانی در هر دو روش انجام می‌شود، اثرات زیست محیطی آن‌ها در این مقایسه در نظر گرفته نشده‌اند.

جدول مقایسه روش پایپ جکینگ و ترانشه باز در دو خط لوله فاضلاب به اقطار ۶۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌متر

لوله به قطر ۶۰۰ میلیمتر، عمق ۴ متر، طول ۱۰۰ متر			خط لوله به قطر ۱۲۰۰ میلیمتر، عمق ۴ متر، طول ۱۰۰ متر	
روش	ترانشه باز	پایپ جکینگ	ترانشه باز	پایپ جکینگ
عرض حفاری	۱۴۰۰ میلی‌متر	۷۶۰ میلی‌متر	۲۳۵۰	۱۴۵۰ میلی‌متر
عرض جایگزینی (Reinstatement width)	۱۷۰۰ میلی متر	۷۶۰ میلی متر	۲۶۵۰ میلی متر	صفر
حجم حفاری در هر متر لوله گذاری	۱۱/۹ تن	صفر	۱۸/۲۷ تن	صفر
تعدادی کامیون های استفاده شده برای جابجایی مصالح در صد متر خط لوله	۱۳۶	۸	۳۲۰	۲۱

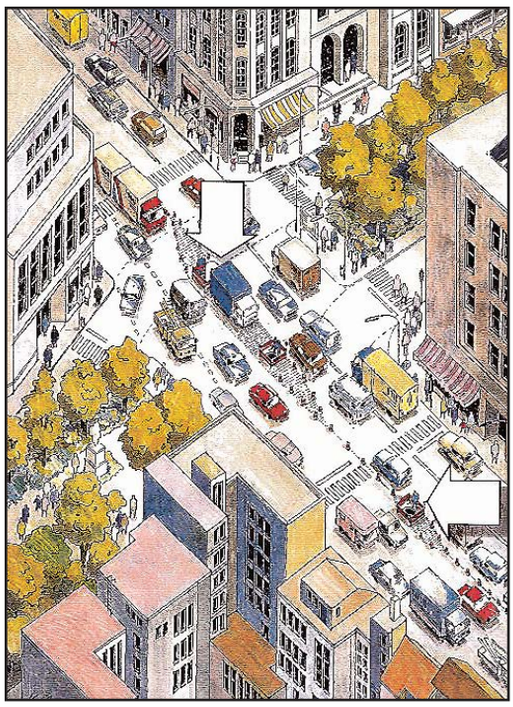
منبع: An Introduction to Pipejacking and Microtunnelling Design, the Pipejacking Association of the United Kingdom

زیرساخت‌های شهری مانند خطوط فاضلاب، برق، مخابرات، آب و غیره بخش عمده‌ای از هزینه‌های شهری را تشکیل می‌دهند. بیش از ۱۰۰ سالی است که شبکه‌های توزیع این خدمات در زیرزمین در لوله‌ها یا کانال‌هایی جای داده شده‌اند که تعمیر، گسترش و جابجایی آن‌ها با روش ترانشه باز صورت می‌گیرد. در مناطق شهری این شبکه‌ها در بسیاری از موارد از زیر سیستم‌های حمل و نقل عمومی مانند بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و تقاطع‌های شلوغ عبور می‌کنند. زمانی که این شبکه‌ها به خوبی تعمیر و نگهداری نشوند، شهروندان با مشکلات عدیده‌ای از قبیل قطع آب، برق و غیره روبرو می شوند. در سیستم‌های فاضلاب شهری خرابی‌ها ممکن است منجر به آلوده شدن سفره‌های آب زیر زمینی شده و صدمات زیادی به سلامت شهروندان و محیط زیست وارد کنند.



معمولاً قدیمی‌ترین زیرساخت‌های خدمات شهری نزدیک به سطح زمین ساخته شده‌اند. تاسیساتی که بعداً احداث شده، اغلب زیر شبکه قبلی یا در جوار آن‌ها یافت می‌شوند. عملیات نصب و تعمیر تأسیسات خدمات شهری که در سطح زمین انجام می‌شوند اجباراً باعث اختلال در ترافیک، کسب و کار و دیگر خدمات شهری می‌شوند. این اختلالات طبیعتاً اثرات نامطلوبی بر محیط زیست منطقه از نظر کیفیت هوا، آلودگی صوتی، انتشار آلاینده‌های مختلف و هم چنین پوشش‌های گیاهی و حتی ساختمان‌ها می‌گذارند.

تامین و نگهدای ایمن و کارآمد شبکه‌های خدمات شهری ما را ملزم می‌کند از تکنولوژی‌های سازگار با محیط زیست استفاده کنیم. فناوری‌های بدون ترانشه (Trenchless Technologies) از جمله پایپ جکینگ و میکروتونلینگ که حفاری در سطح زمین را به حداقل ممکن می‌رسانند، می‌توانند به میزان قابل ملاحظه ای اثرات منفی زیست محیطی احداث، تعمیر و نگهداری تاسیسات زیرزمینی شهرها را کاهش دهند. با به حداقل رساندن حفاری در سطح زمین، اختلال در ترافیک و در نتیجه آلودگی هوا و آلودگی صوتی کاهش می‌یابد. تکنولوژی‌های بدون ترانشه قادرند از مصالح موجود خطوط لوله سود برده و ضایعات ناشی از حفاری زمین و آسفالت را به



حداقل برسانند. تاکنون هزاران کیلومتر تاسیسات زیرزمینی با استفاده از تکنولوژی های بدون ترانشه ساخته شده و مزیت‌های این تکنولوژی سازگار با محیط زیست در احداث، تعمیر و نگهداری شبکه‌های زیرزمینی خدمات شهری به اثبات رسیده است.

شهر نشینی با سرعت فزاینده‌ای در کشورهای در حال توسعه گسترش می‌یابد و در نتیجه جمعیت بیشتری از مردم جهان در شهرها ساکن می‌شوند. در عین حال، خطرات بهداشتی ناشی از کمبود امکانات همراه افزایش تراکم جمعیت و به دلیل این که مردمان بیشتری باید از منابع محدود موجود استفاده کنند به صورت تساعدی افزایش می‌یابد.

گرچه از نقطه نظر تکنولوژیکی تامین آب سالم و خدمات بهداشتی برای مردمانی که در مناطق شهری در نزدیکی یکدیگر زندگی می‌کنند آسان‌تر از مناطق پراکنده روستایی است، اما هزینه سرانه تامین این خدمات روزبه‌روز بیشتر می‌شود. در واقع بحران بهداشت شهری در کشورهای در حال توسعه صدمات زیادی را به شهرنشینان این کشورها به لحاظ سلامتی، اقتصادی و زیست محیطی وارد می کند. معمولاً تمایل زیادی از جانب دولت‌ها برای تامین این خدمات وجود دارد، منوط بر این که شبکه‌های ایجاد شده مناسب، موثر و هزینه آن‌ها قابل تحمل باشد. اما ضرورت آگاه سازی و افزایش توان تصمیم‌گیری موثر توسط ارگان‌های حکومتی بویژه در سطوح استانی کاملاً احساس می‌شود. باید اطلاعات دقیقی در اختیار متولیان تاسیسات زیر زمین شهری گذاشته شود تا آن‌ها بتوانند تصمیماتی اتخاذ کنند که به بهبود و توسعه پایدار سیستم‌های توزیع آب و شبکه‌های بهداشتی منجر شود.

فناوری‌های سازگار با محیط زیست به فناوری هایی می‌گویند که در مقایسه با فناوری‌های دیگر از عملکرد زیست محیطی بسیار بهتری برخوردارند. به طور کلی، فناوری‌هایی سازگار با محیط زیست آلایندگی بسیار کمتری دارند، ضایعات کمتری تولید می‌کنند، مقدار بیشتری از ضایعات و محصولاتشان را بازیافت می‌کنند و در مقایسه با فناوری‌هایی که جایگزین آن‌ها شده‌اند، ضایعات جانبی خود را به روش های قابل قبول تری از نظر زیست محیطی مدیریت می‌کنند.

فناوری‌هایی مانند پایپ جکینگ و میکروتونلینگ که برای حل مشکلات مهندسی و زیست محیطی بکار گرفته می‌شوند را فناوری‌های سازگار با محیط زیست (Environmentally sound technologies) می‌نامند. در برخورد با مشکلات بهداشتی شهرها، تکنولوژی‌های بدون ترانشه مانند پایپ جکینگ و میکروتونلینگ مزیت های قابل ملاحظه زیست محیطی و سایر مزایا مانند ایجاد فرصت‌های جدید شغلی، کاهش اختلال در تردد وسایل نقلیه و در نتیجه نارضایتی کمتر مردم و کاهش مصرف سوخت را به‌همراه دارند.

پروژه‌های تاسیسات زیرزمینی عموماً برای مقاصد زیر اجرا می‌شوند:

- احداث یا توسعه شبکه های تاسیساتی.
- افزایش ظرفیت شبکه موجود.
- انتقال تاسیسات خدماتی از سطح به زیرزمین.
- جایگزینی خطوط لوله فرسوده.
- بهسازی خطوط موجود.

تمام پروژه‌های فوق کم و بیش نیاز به دسترسی‌های سطحی دارند. اگر این پروژه با تکنولوژی‌های بدون ترانشه مانند پایپ جکینگ و میکروتونلینگ اجرا شوند، کاهش زمان و فضای مورد نیاز برای انجام عملیات اجرایی در سطح زمین در مقایسه با روش سنتی ترانشه باز باعث ایجاد مزیت‌های قابل ملاحظه‌ای برای ساکنین منطقه، مغازه‌ها و ادارات و عامه مردم خواهد شد. تردیدی نیست که تمام فعالیت ساختمانی روی محیط زیست تاثیر می گذارند و هزینه هر صدمه‌ای که به محیط زیست یا کیفیت زندگی می‌زنند توسط جامعه پرداخت خواهد شد، گرچه این گونه هزینه‌ها اغلب به‌صورت کمی قابل اندازه‌گیری نیستند.

اثرات زیست محیطی پروژه‌های تاسیسات زیرزمینی را می توان ذیل سرفصل های زیر طبقه‌بندی کرد:

- مزاحمت‌ها و نارضایتی‌های ناشی از جابجایی تاسیسات، ایجاد ترافیک و افزایش حوادث.
- کاهش کیفیت زندگی به دلیل ایجاد آلودگی صوتی، آلودگی هوا و صدمه به محیط زیست.
- صدمه زدن به جاده ها، بزرگراه‌ها به خاطر حمل و جابجایی خاک و سایرمصالح.
- ایجاد وضعیت اضطراری به دلیل صدمه زدن به دیگر تاسیسات زیرزمینی.
- افزایش نارضایتی و شکایت به دلیل وارد کردن خسارت به ساختمان‌ها، آثار تاریخی، بناهای مذهبی و محیط زیست.
- صدمه زدن به کسب‌وکار به دلیل ایجاد اختلال در رفت و آمد.
- هزینه‌های جانبی ناشی از عدم نصب یا ترمیم مناسب خرابی‌ها.
- ادعاها و دعاوی حقوقی به دلیل صدمه زدن به محیط زیست و بهداشت ساکنین منطقه.

تصمیم‌گیران باید هزینه‌ها و خسارات فوق را با مزیت‌های تکنولوژی‌های بدون ترانشه مانند پایپ جکینگ به دقت مقایسه کنند تا بتوانند بهترین روش ممکن را با توجه به منابعی که در اختیار دارند انتخاب کنند. **تکنولوژی و روش‌های بدون ترانشه، اگر به دست مهندسین و پیمانکاران مجرب اجرا شوند، جایگزین بسیار موثر و سازگار با محیط زیست برای نصب، نگهداری و تعمیر تاسیسات زیرزمینی هستند و می‌توانند به میزان قابل ملاحظه‌ای اثرات مخرب فوق و هزینه‌های مرتبط با آن‌ها را کاهش دهند.**

۸-ملاحظات مالی‌در انتخاب روش احداث تاسیسات زیرزمینی

علاوه بر عوامل اجتماعی و زیست محیطی، می‌توان یک مقایسه اقتصادی بین تکنولوژی‌های بدون ترانشه و روش‌های سنتی ترانشه باز انجام داد. اما در عمل این مقایسه زیاد ساده نیست. گرچه به لحاظ فنی بهترین راه حل بستگی به شرایط زمین و عمق سفره آب دارد، ولی در اجرا محدودیت‌های مالی پروژه نقش مهمتری در فرایند تصمیم‌سازی بازی می‌کنند. اما همواره این سئوال مطرح است: «هزینه برای کی؟».

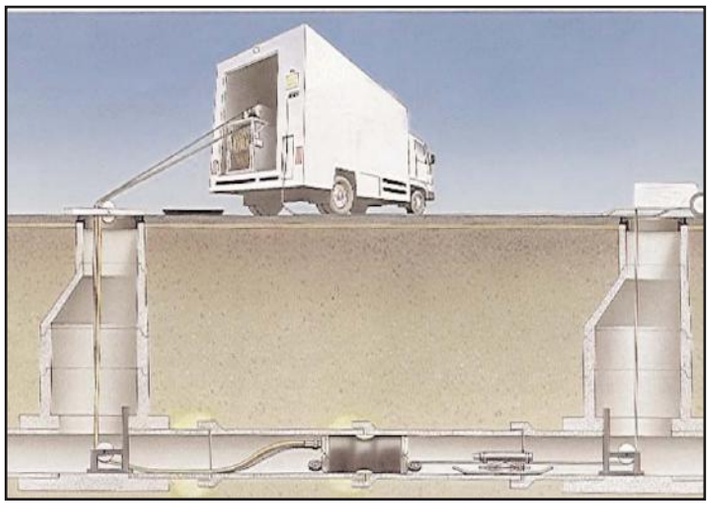
کارفرما معمولاً عهده دار هزینه‌های مستقیم قرارداد و احتمالاً جبران خسارات وارده به ساکنین منطقه است. این عموماً بدین معنا است که بسیاری از هزینه‌های اجتماعی و زیست محیطی طرح به دوش شهروندان منطقه و نسل های آینده گذاشته خواهد شد. به علاوه **سیاست‌ها و روش‌های مالی موجود هزینه‌های واقعی نصب، نگهداری و تعمیر تاسیسات خدمات شهری را اغلب پنهان می‌کنند. این امر می‌تواند این برداشت را ایجاد کند که روش‌های ترانشه باز ارزانتر هستند، در حالی که وقتی هزینه‌های اجتماعی و زیست محیطی طرح‌ها را در نظر می‌گیریم در اکثریت موارد روش‌های بدون ترانشه هزینه بسیار کمتری را به جامعه تحمیل می‌کنند.**

هزینه‌های مستقیم روش‌های بدون ترانشه و ترانشه باز مانند نیروی انسانی، مصالح و تجهیزات را می‌توان به راحتی محاسبه کرد. هزینه‌های غیر مستقیم مانند بازسازی سطح زمین، تعمیرات دراز مدت جاده و ساختمان‌ها، عمر مفید تاسیسات، کارهای اضافی

برنامه‌ریزی نشده مانند صدمه زدن به دیگر تاسیسات زیرزمینی، اغلب از هزینه‌های مستقیم پروژه نیز فراتر می‌روند. متاسفانه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به این هزینه‌ها توجهی نمی‌شود، در حالی‌که در کشورهای توسعه یافته این متغیرها نقش بسیار مهمی در فرایند تصمیم سازی ایفا می‌کنند. بدون شک یکی از مزیت‌های بزرگ روش‌هایی مانند پایپ جکینگ پائین تر بودن هزینه‌های غیر مستقیم به دلیل حفاری بسیار ناچیز در سطح زمین، عدم اختلال در عبور و مرور و کسب و کار، صدمه کمتر به محیط زیست، ایمنی بالاتر زمان کوتاه تر و... است. در مقایسه با روش‌های ترانشه باز، تکنولوژی‌های بدون ترانشه مزیت‌های زیست محیطی، اجتماعی و مالی فراوانی را در اختیار متولیان شهرها قرار می‌دهند و امکان توسعه پایدار شهری (Sustainable urban development) را فراهم می‌آورند. به علاوه و شاید مهمتر از همه امروزه تامین بهداشت، سلامتی و ایمنی کارگران، اپراتورهای تجهیزات و عامه مردم در سراسر جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بسیاری از کشورها قوانینی را در این زمینه وضع کرده‌اند. در خصوص تاسیسات زیرزمینی باید گفت هر قدر کارگران و آپراتورها به تجهیزات مکانیکی و برقی نزدیکتر باشند، هر قدر در فضاهای بسته‌تر، عمق بیشتر یا نزدیکتر به عبور و مرور وسائط نقلیه کار کنند، خطر حوادث افزایش می‌یابد. **در پروژه‌هایی که با روش‌های بدون ترانشه اجرا می‌شوند، حفاری در سطح زمین به گودال‌های ورود و خروج محدود می‌شود و اغلب می‌توان این گودال‌ها را دور از مناطق پرخطر و ترافیک احداث کرد. روش‌های بدون ترانشه هم‌چنین به خاطر استفاده بسیار گسترده از تجهیزات و فرایندهایی که از راه دور کنترل می‌شوند، به طور طبیعی کارگران را از مناطق و فعالیت های خطرناک دور نگاه می‌دارند.**

۹- توسعه روزافزون تکنولوژی های بدون ترانشه

پیش گفتار



تا چند دهه گذشته برنامه‌ریزان و متولیان زیرساخت‌های شهری بر این باور بودند که تکنیک‌های اجرایی مبتنی بر ترانشه باز تنها گزینه برای احداث، تعمیر و نگهداری تاسیسات زیرزمینی هستند. فرض بر این بود که تاسیسات موجود شرایط مناسبی دارند مگر این که شواهدی عکس آن را ثابت کند. اما واقعیت چیز دیگری بود. تاسیسات زیر زمینی بدون این که مسئولین متوجه باشند به تدریج خراب و خدمات بدون هشدار قبلی قطع می‌شدند و در بسیاری از موارد یک وضعیت اضطراری که نیاز به واکنش سریع داشت را ایجاد می‌کردند.

طی سه دهه گذشته (حتی در جهان توسعه یافته) مشخص شد که اطلاعات ناچیزی در مورد تاسیسات زیرزمینی موجود وجود دارد. نقشه‌های تاسیسات زیرزمینی یا وجود نداشتند یا اطلاعات کمی در خصوص ظرفیت و کیفیت این تاسیسات ارائه می‌دادند. به علاوه وضعیت پوشش لوله‌ها مشخص نبود و نشت لوله‌ها و نفوذ فاضلاب به آب‌های زیرزمینی و مشکلات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از آن‌ها مورد توجه قرار نمی‌گرفت.

به تدریج تحقیق برای کسب اطلاعات در مورد تاسیسات زیرزمینی که به دلیل کوچک بودن امکان ورود پرسنل خدماتی به داخل آن ها نبود، آغاز شد. استفاده از تلویزیون‌های مدار بسته همراه با ابزارهای کنترل از راه دور تحول بزرگی را در این عرصه ایجاد کردند. اکنون مهندسین می‌توانستند شرایط داخلی خطوط لوله را ببینند، خرابی‌ها را شناسایی و تعمیرات مورد نیاز را انجام دهند. تقاضا برای این روش‌ها در سراسر جهان به شدت توسعه یافت و عصر جدیدی در مهندسی عمران – عصر تکنولوژی‌های بدون ترانشه – آغاز شد. اما علی رغم این مسئله متاسفانه اکثر تاسیسات زیرزمینی، بویژه در جهان در حال توسعه، هنوز با استفاده از روش سنتی ترانشه باز نصب، تعمیر و نگهداری می‌شوند.

در ابتدا از تکنولوژی‌های بدون ترانشه صرفاً در موارد خاص استفاده می‌شد. برای مثال تحقیق در مورد میکروتونلینگ در پاسخ به تصمیم دولت ژاپن مبنی بر نوسازی شبکه‌های فاضلاب در شهرهای بزرگ شروع شد. در سنگاپور هم به دلیل تراکم بالای جمعیت عملاً استفاده ار روش ترانشه باز غیر ممکن شده بود. لذا پایپ جکینگ و میکروتونلینگ به عنوان یک جایگزین به طور جدی مورد توجه دولت قرار گرفت. در اروپا، آلمان آغازگر تحقیق در مورد پایپ جکینگ و میکروتونلینگ بود. دولت تصمیم گرفت از تکنولوژی‌های بدون ترانشه در شهرهای بزرگ، بویژه در شمال آلمان که ساختار زمین مناسب‌تر بود، استفاده کند. در انگلستان که اکثر شهرهای بزرگ در دوران انقلاب

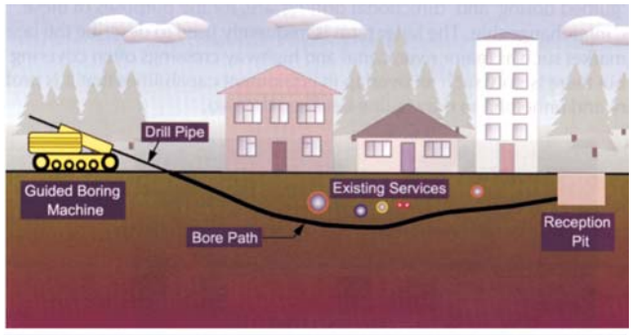
صنعتی در قرن نوزدهم ساخته شده بودند، ضرورت جایگزینی و بهسازی شبکه های بسیار فرسوده و قدیمی فاضلاب، آب و لوله‌های چدنی گاز و غیره محرک اصلی بود.

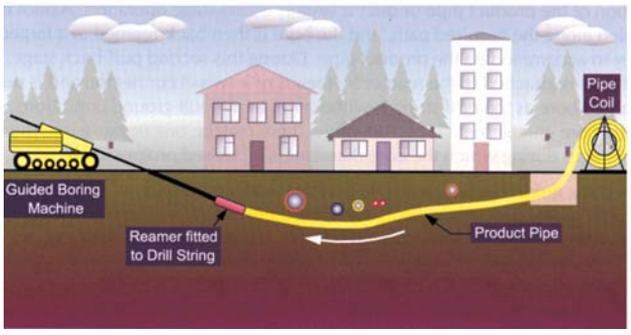
گزینه‌های تکنولوژیکی

در حال حاضر دو رویکرد تکنولوژیکی برای دسترسی به تاسیسات زمینی وجود دارد: ترانشه باز و بدون ترانشه. دسترسی با روش ترانشه باز دارای چهار مرحله است:

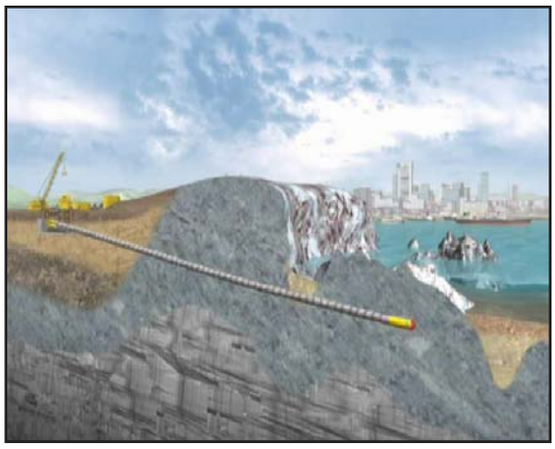
- حفر ترانشه، حمل مصالح حفاری شده و جبران اختلالات احتمالی در سایر خدمات.
- لوله‌گذاری و اتصال لوله‌ها.
- پر کردن ترانشه و متراکم کردن مصالح خاکریز.
- بازسازی سطح زمین (معمولاً آسفالت مجدد).

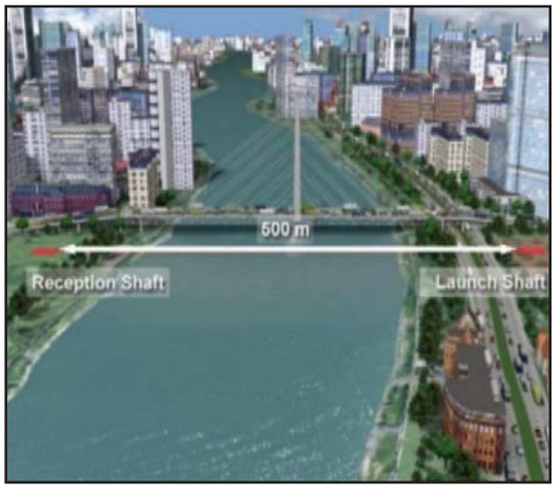
مشخصه هر چهار مرحله را میزان کار فیزیکی که باید انجام شود، تعیین می‌کند. **به طور معمول باید حدود ۵۰ برابر فضایی که بوسیله لوله اشغال می‌شود طی حفاری ترانشه و پر کردن مجدد آن، جابه جا شود.** به علاوه، بخش عمده‌ای از فعالیت‌ها در هر چهار مرحله شدیداً کاربر است و نیاز به استخدام مهارت‌های مختلف و هماهنگی بین چندین شرکت و ارگان‌دولتی دارد. لذا یک پروژه بزرگ فاضلاب شهری ممکن است بسیار طولانی شود و تاثیرات بسیار زیان آور اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به همراه داشته باشد. البته در روش های بدون ترانشه هم باید کارهایی در سطح زمین انجام شود، ولی ابعاد آن قابل مقایسه با روش ترانشه باز نیست. در پروژه‌هایی که با استفاده از تکنولوژی‌های بدون ترانشه اجرا می‌شوند، ابتدا باید شرایط و ساختار زمین و دیگر تاسیسات زیر زمینی دقیقاً بررسی شوند تا تکنولوژی مناسب براساس یافته‌ها انتخاب شود. بدیهی است مطالعات اولیه جهت انتخاب تکنیک مناسب، تعیین مکان گودال‌های دسترسی و مسیر خط لوله جدید هزینه‌بر است. اما با توجه به مزیت‌های فراوانی که قبلاً در خصوص تکنولوژی‌های بدون ترانشه گفته شد، به علاوه زمان کوتاه‌تر، این هزینه کاملاً قابل توجیه است.





فناوری‌های بدون ترانشه مزیت‌های دیگری نیز دارند. برای مثال، در خط لوله‌های جدید مهندسین می توانند بدون محدودیت لوله‌ها را در مناسبترین لایه زمین نصب کنند. این مزیت، بویژه در احداث خطوط فاضلاب، منجر به صرفه‌جویی‌های قابل ملاحظه‌ای از طریق حفظ جریان ثقلی (Gravity flow) و عدم نیاز به ایستگاه‌های پمپاژ (تلمبه‌خانه) می شود. همانطور که همه می‌دانیم، در تمام پروژه‌ها زیرزمینی که با روش ترانشه باز اجرا می‌شوند، هزینه رابطه مستقیمی با عمق کار دارد. به بیان دیگر هر قدر عمق افزایش یابد هزینه هم کم و بیش به همان نسبت افزایش می‌یابد. در نتیجه همواره تلاش می‌شود تاسیسات زیرزمینی تا حد امکان نزدیک به سطح زمین نصب شوند و دسترسی‌ها هم تا حد امکان کوتاه و مستقیم باشند. اما در پروژه‌هایی که با روش‌های بدون ترانشه اجرا می شوند رابطه معنی‌داری بین هزینه و عمق وجود ندارد. برای بهسازی تاسیسات قدیمی، می‌توان از نقاط دسترسی موجود استفاده و کار را طوری برنامه ریزی کرد که اختلال در سطح زمین به حداقل برسد. هم چنین تکنیک های بدون ترانشه برای تعمیر تاسیسات صدمه دیده از راه دور بدون این که نیازی به دسترسی مستقیم باشد، وجود دارند. به علاوه روش‌هایی ابداء شده که به مهندسین اجازه





می‌دهند خطوط جدید لوله را در مقابل حرکت‌های ناشی از نشست و زمین لرزه مقاوم‌تر کنند.

در پروژه‌های جدید، خصوصیات زمین و عمق حفره آب تاثیر زیادی بر انتخاب تکنولوژی و فرایند اجرا دارند. **با استفاده از تکنولوژی هایی مانند پایپ جکینگ و میکروتونلینگ، طراحان پروژه‌ها می‌توانند از مناسبترین شرایط زمین بدون توجه به عمق بهره ببرند و تاسیسات زیرزمینی جدید را در مناطقی احداث کنند که قبلاً غیر ممکن بود. برای مثال در مناطقی که امکان رانش زمین وجود دارد یا نزدیک به آبراهه‌هایی که در معرض سیل های ناگهانی هستند قرار گرفته، مهندسین با استفاده از روش‌هایی مانند پایپ جکینگ می‌توانند خطوط خدمات شهری را زیر صفحه برش زمین نصب کنند. در مناطق بسیار سرد، خطوط را می‌توان در زیر لایه همیشه یخ بسته (Permafrost) نصب کرد. با تکنولوژی‌های بدون ترانشه هم‌چنین این امکان وجود دارد که بدون وارد کردن کوچکترین صدمه‌ای، خطوط لوله را از زیر بناهای تاریخی و فرهنگی، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و مناطق برخودار از اهمیت زیست محیطی به راحتی عبور داد- کاری که با روش ترانشه باز غیر ممکن است.**

توانایی نصب لوله در عمق بیشتر این امکان را ایجاد می‌کند که خطوط لوله در مسیرهای طولانی تر، با شیب کم نصب شوند. این امر فرایند طراحی را هم بسیار ساده می‌کند. این قابلیت هم‌چنین به ما امکان می‌دهد در مناطقی که تراکم تاسیسات زیرزمینی وجود دارد، خطوط لوله را زیر تاسیسات زیر زمینی موجود نصب کنیم. بدین ترتیب به جرأت می‌توان گفت **تکنولوژی های بدون ترانشه نظیر پایپ جکینگ و میکروتونلینگ مرزهای تمام شیوه‌های کهنه احداث خطوط زیرزمینی را در نوردیده‌اند و نقشی یگانه و فزاینده در فراهم آوردن خدمات بویژه در شهرهای بزرگ ایفاء می‌کنند. در حالیکه در گذشته عمق توسط روش های ترانشه باز دیکته می‌شد، امروز دیگر عمق یک عامل محدود کننده نیست. در مناطقی که تاسیسات زیرزمینی وجود دارند می‌توان آن‌ها را بازسازی و بهسازی کرد و در مناطقی که نیاز به خدمات جدید دارند، می توان آن ها را در زیر تاسیسات موجود احداث کرد.** بدیهی است امکان بازسازی و بهینه سازی به جای اضافه کردن خطوط زیرزمینی جدید مزیت‌های زیست محیطی فراوانی را در بر دارد.

گذشته و آینده تکنولوژی های بدون ترانشه

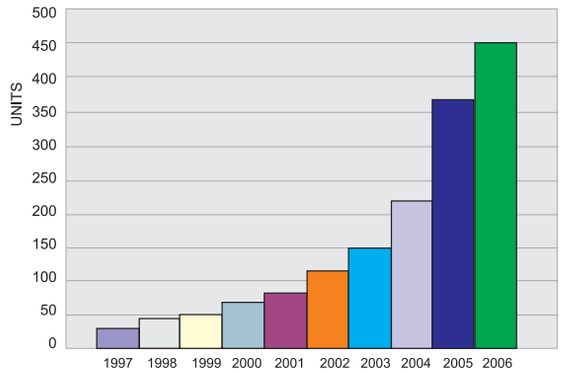
تمام اطلاعات و شواهد موجود حاکی از آن است که طی چند دهه گذشته تکنولوژی‌های بدون ترانشه با سرعت فزاینده‌ای جایگزین روش‌های ترانشه باز می‌شوند. متاسفانه آماری که روند رشد تکنولوژی های بدون ترانشه را در سطح جهان نشان دهد تهیه نشده یا تهیه کننده این جزوه به آن دسترسی نداشت:اما گسترش این فناوری‌ها در کشورهای توسعه یافته مانند آمریکا و در حال توسعه مانند چین که در زیر بررسی می شوند بسیار سریع بوده است.

توسعه فناوری های بدون ترانشه در چین

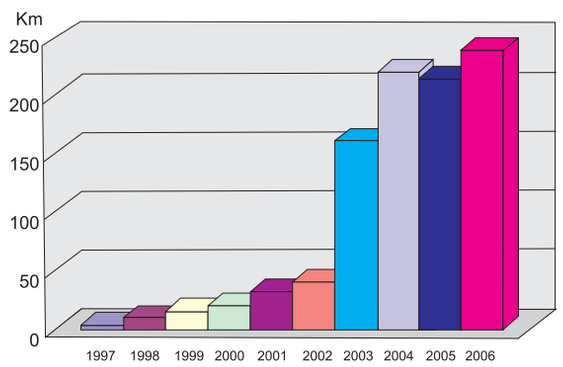
برای مقابله با رشد جمعیت و فرسودگی تاسیسات زیرزمینی موجود، چین با تشکیل کانون فناوری بدون ترانشه (China Society for Trenchless Technology) در سال ۱۹۹۸ وارد عرصه فناوری‌های بدون ترانشه جهت دست‌یابی به توسعه پایدار در تاسیسات خدمات شهری خود شد.

در سال ۱۹۹۶ که اولین سمپوزیوم فناوری های بدون ترانشه در پکن برگزار شد، حتی یک پیمانکار فناوری‌های بدون ترانشه از جمله پایپ جکینگ و میکروتونلینگ در چین وجود نداشت. حدود ۱۰ سال بعد، بیش از ۲۲۰ پیمانکار در این رشته فعالیت می‌کردند و تجهیزات فناوری‌های بدون تراشه مانند دستگاه‌های حفاری افقی جهت‌دار (Horizontal Directional Drilling Machine) به ۲۲۰۰ و تجهیزات پایپ جکینگ به بیش از ۴۵۰ دستگاه رسید. فقط در سال ۲۰۰۵ حدود ۱۴۰ دستگاه پایپ جکینگ در چین تولید و فروخته شد. قطر لوله‌هایی که در عملیات پایپ جکینگ استفاده می‌شوند از ۶۰۰ میلیمتر تا ۴۲۰۰ میلیمتر بوده است. سهم دستگاه‌های پایپ جکینگ از کل بازار تجهیزات فناوری‌های بدون ترانشه در سال ۲۰۰۶ به ۴۵۰ میلیون دلار و حجم کل بازار فناوری‌های بدون ترانشه به بیش از ۹۵۰ میلیون دلار رسید. به علاوه، در همین سال ۱۱۰ سازنده مشغول تولید انواع و اقسام تجهیزات مربوط به فناوری‌های بدون ترانشه بودند. اما علی رغم تمام این تحولات، در حال حاضر تکنولوژی‌های بدون ترانشه فقط ۸ درصد کل بازار چین را در اختیار دارند که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰ به بیش از ۳۰ درصد برسد.

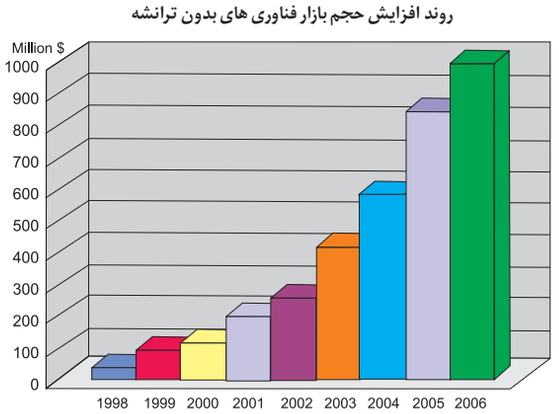
روند افزایش استفاده از دستگاه های پایپ جکینگ



احداث تاسیسات زیرزمینی با فناوری های بدون ترانشه



روند افزایش حجم بازار فناوری های بدون ترانشه



تکنولوژی‌های بدون ترانشه در آمریکا

طول تاسیسات زیرزمینی آمریکا در سال ۱۹۹۸ حدود ۶ میلیون کیلومتر برآورد شده است. برخی از برآوردهای جدید طول شبکه های خدماتی این کشور را تا ۲۳ میلیون کیلومتر هم تخمین زده‌اند. جدول زیر حجم هزینه در این حوزه و سهم تکنولوژی‌های بدون ترانشه را در حوزه آب و فاضلاب در آمریکا نشان می‌دهد:

جدول هزینه در تاسیسات زیرزمینی آب و فاضلاب در سال ۲۰۰۵

نوع کار	هزینه به میلیارد دلار	سهم فناوری های بدون ترانشه
بازسازی و بهسازی	۴/۵	٪۶۸/۱
پروژه های جدید	۷/۷	٪۱۵/۷

منبع: 9TH Annual Municipal Sewer & Water Survey, Underground Construction, Feb. 2006

در حال حاضر فناوری‌های بدون ترانشه بیشترین سهم را در بهسازی و توسعه سیستم‌های فاضلاب شهری در آمریکا دارند. تمام کارشناسان پیش بینی می‌کنند سهم فناوری‌های بدون ترانشه از حدود ۳۵ درصد در سال ۲۰۰۵ به حدود ۵۰ درصد در سال ۲۰۲۰ برسد.

۱۰. اجرای طرح فاضلاب همدان به روش پایپ‌جکینگ توسط مشارکت کیسون- مشرف

اطلاعات پایه

عنوان پروژه: تهیه، حمل، نصب، آزمایش و راه‌اندازی لوله‌های پیش پوشش داده شده به روش لوله‌رانی

کارفرما: شرکت آب و فاضلاب استان همدان

مدت پیمان: ۳۶ ماه

مشاور: شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس

پیمانکار: شرکت کیسون در مشارکت با شرکت مشرف از کویت

محل کار: شهر همدان – مرکز استان همدان

شرح کلی پروژه

بالا آمدن سطح آبهای زیرزمینی و نامناسب بودن بافت زمین در همدان، باعث شده امکان دسترسی به چاه‌های جذبی در این شهر وجود نداشته باشد. حفر قنات‌ها و چاه‌ها در فاصله اندکی از فاضلابروهای قدیمی با سازه‌های خشکه‌چینی شده و قابل‌نفوذ، باعث نشت فاضلاب در آب‌های قابل شرب و تخلیه مستقیم فاضلاب در رودخانه‌ها نیز موجب بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی و بیماری‌های عفونی شده است. از این رو، طرح و اجرای شبکه مدرن فاضلاب در شهر همدان در اولویت برنامه‌های اجرایی مدیریت استان قرار گرفته است. با توجه به پیچیدگی‌های شبکه‌های تأسیسات زیرزمینی همدان، مشارکت کیسون – مشرف، استفاده از فناوری بدون ترانشه پایپ جکینگ را برای اجرای بخشی از فاضلاب این شهر باستانی، پیشنهاد کرد و هم اکنون بیش از نیمی از مسیر موجود در قرارداد طرح را با موفقیت به انجام رسانده است.

بررسی مسیر و مطالعات زمین‌شناسی

مسیر

بنا بر قرارداد، مشارکت کیسون – مشرف موظف به اجرای ۹۲۴۵ متر فاضلاب در شهر همدان است. پیش از اینکه اجرا به شیوه پایپ‌جکینگ به‌طور قطعی اعلام شود، ۵۴۴ متر از مسیر قرارداد به‌صورت ترانشه باز اجرا شد. بعد از تصویب نهایی، ۸۱۹۴ متر از مسیر به‌صورت پایپ‌جکینگ و بخش کوچک باقیمانده، با توجه به مناسب نبودن جنس زمین، به‌طول ۵۰۷ متر به روش هندشیلد انجام می‌شود. این پروژه در ۱۲ خیابان شهر همدان اجرا می‌شود.

مطالعات اولیه

همدان از دیدگاه زمین‌شناختی در زون سنندج – سیرجان قرار دارد. وجود سنگ‌های گوناگون رسوبی و آذرین و تغییر شکل یافتن آن‌ها موجب پیچیدگی زمین‌شناسی این منطقه شده است. مطالعات اولیه زمین‌شناسی همزمان با تهیه نقشه‌های مناقصه توسط مشاور تهیه گردید. از آنجائیکه مطالعات صورت گرفته جهت اجرای خط فاضلاب به روش ترانشه باز انجام شده بود، با تغییر روش اجرایی به پایپ جکینگ، مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک تکمیلی انجام گردید.

آزمایش‌های ژئوتکنیک

آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های خاکی شامل آزمایش‌های دانه‌بندی، تعیین حدود اتربرگ، تعیین رطوبت، دانسیته و برش مستقیم و آزمایش‌های روی نمونه‌های سنگی شامل تهیه مقاطع میکروسکوپی و بررسی‌آنها، آزمایش‌های تعیین دانسیته، جذب آب، مقاومت تک محوری، بار نقطه‌ای و آزمایش تعیین شاخص ساینده‌گی سورشار (CAI) بوده است.

مطالعات تکمیلی

مطالعات ژئوتکنیک تکمیلی طرح فاضلاب همدان طی شهریور و مهر ماه سال ۱۳۸۴ انجام شده است. در این مطالعات تعداد ۳۲ گمانه ماشینی به عمق ۱۰ متر و ۲ چاهک دستی به عمق ۶ متر حفاری شده که نمونه‌های مورد نظر جهت انجام آزمایش نیز برداشت شده است. بر اساس اطلاعات حاصله از حفر گمانه‌ها، مشاهده گردید که لایه‌های خاک تا عمق مورد کاوش (۱۰ متر) آبرفتی بوده و غالباً از لایه‌های ماسه‌ای با مقادیر سیلت، رس و شن تشکیل شده است. در میان لایه‌های خاک بولدرهایی به ضخامت ۳۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر دیده‌شده است. جنس این قطعات سنگی به‌طور کلی از گابرو، گرانیت، و شیست تشکیل یافته‌و سخت‌ترین شرایط را برای عملیات میکروتونلینگ فراهم کرده است.

لوله‌رانی در طرح فاضلاب همدان

گودال رانش،گودال دریافت و منهول‌ها

برای اجرای طرح لوله‌رانی گام اول پیاده سازی محل احداث گودال‌های رانش و دریافت است. پیاده‌سازی گودال‌ها و منهول‌ها به عواملی چون محل تأسیسات زیربنایی موجود در مسیر، شیب، تنظیم سیرکلاسیون ترافیک، فاصله مطمئن با سازه‌های اطراف، جنس زمین و ابعاد منهول‌ها بستگی دارد.

پس از اینکه گودال‌ها،با در نظر گرفتن موارد فوق، طراحی شدند، تیم نقشه‌برداری محل گودال‌ها را بر روی زمین جانمائی نموده و علامت می‌زند تا عملیات برش آسفالت آغاز شود.

عمق گودال‌های رانش و دریافت،در طرح فاضلاب همدان، بین ۶ تا ۱۲ متر است. یکی از دلایلی که گودال‌ها در این عمق‌ها احداث می‌شوند رعایت فاصله ایمن لوله‌رانی (2.5 D) از سطح زمین و تأسیسات زیربنائی است، تا بدین صورت از تأثیر منفی لرزش‌های حاصل از لوله‌رانی بر این تأسیسات کاسته شود. از دیگر عوامل می‌توان به پارامترهایی چون شیب‌طبیعی مسیر و شیب لوله‌رانی اشاره نمود.

پس از خاکبرداری محل گودال تا ارتفاع مورد نظر،داخل آن‌ها صندوقچه بتن مسلح احداث می‌شود؛ بدین معنی که دور تا دور گودال حفاری شده و در جدار آن دیواره بتن مسلح با ضخامت‌های افزاینده از لیفتهای بالا به پایین، اجرا می‌گردد. نقش این دیواره‌های بتن مسلح یکپارچه در حقیقت ایجاد یک سپر محافظتی در برابر رانش خاک است. رانش خاک ممکن است به دلیل رانش طبیعی آن و یا وارد آمدن فشار ناشی از ورود دستگاه حفار به زمین و انتقال لوله به داخل مسیر باشد.

در گودال‌هایی که مسیرهای ورودی و خروجی با یکدیگر دارای زوایایی بیش از ۱۰ درجه هستند، از دیوار فشاری (wall Thrust) استفاده می‌شود. دیوار فشاری در حقیقت یک دیواره عمود بر محور طولی جک است. دلیل احداث آن این است که سطح جک همواره بر امتداد لوله‌رانی عمود باشد. در مواردی از دیواره خود گودال به عنوان دیوار فشاری استفاده می‌شود. در نهایت بر روی این دیواره،حلقه ورود نصب می‌شود. مشارکت کیسون – مشرف در پروژه فاضلاب همدان ۹۵ گودال، عموماً به صورت مکعب مستطیل، و ۱۰۰ عدد منهول اجرا می‌کند.

عملیات لوله‌رانی

عملیات لوله‌رانی پس از مستقر کردن جک و دستگاه درون گودال رانش، تراز کردن آن‌ها در سطح مورد نظر و احداث دیوار فشاری پشت جک آغاز می‌شود. سپس لیزر هدایت کننده دستگاه تنظیم شده و دستگاه حفار بر روی جک نصب و پس از تنظیم در تراز پیش‌بینی شده، توسط تیم نقشه‌برداری و اپراتورها کنترل می‌شود. پس از اتصال سیکل‌های هیدرولیک، مسیرهای رفت و برگشت آب و کابل‌های کنترل، دستگاه آماده حفاری می‌شود. اپراتور از داخل اتاق کنترل (Control cabin) حرکت دستگاه را آغاز می‌کند. در طرح فاضلاب همدان پس از آنکه دستگاه حفار و قطعه انتهایی آن، مجموعاً به طول ۶ متر، اقدام به حفاری نمود و وارد تونل زیرزمینی شد، زمان رانش اولین لوله فرا می‌رسد. لوله‌ها، یکی پس از دیگری، به درون گودال رانش منتقل و توسط جک دستگاه به داخل مسیر رانده می‌شوند. این عمل تا پایان خط و رسیدن دستگاه به گودال دریافت ادامه می‌یابد.

بر روی سر دستگاه حفار تعدادی دیسک و دندانه نصب می‌شود. سر دستگاه حفار به وسیله هیدروموتوری که در دستگاه قرار دارد، با سرعت تقریبی ۴ –۳ دور در دقیقه در هردو جهت، حرکت می‌کند. اپراتورها و عوامل اجرایی پروژه فاضلاب همدان،بر اساس مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته،برای افزایش راندمان حفاری، تیغه‌هایی به سر برنده دستگاه اضافه کرده‌اند.
مسیر حرکت دستگاه توسط لیزری که بر دیوار گودال نصب شده و با یک علامت مشخص‌کننده لیزری (تارگت) که درون دستگاه قرار دارد، قابل کنترل است. حرکت دستگاه،از طریق مونیتور واقع در اتاق کنترل، قابل بررسی است. اپراتور دستگاه هر گونه انحراف مسیری را که در حرکت دستگاه مشاهده کند، به سرعت شناسایی کرده، نسبت به اصلاح آن اقدام می‌کند.

برای خارج کردن مصالح حفاری شده توسط دستگاه، آب از تانک‌های مستقر شده در بیرون گودال رانش، توسط پمپ تغذیه (Feed pump) با فشار به محل حفاری ارسال می‌شود. مخلوط آب و مواد حفر شده، توسط پمپ تونل (Tunnel pump) به داخل گودال رانش و از آنجا به کمک پمپ تخلیه (Discharge pump) به دستگاه جدا کننده آب و مواد زائد، ارسال می‌شود. در حقیقت با ایجاد این چرخه، گل و لای زائد از سیستم خارج شده و آب مورد نیاز به مسیر باز می‌گردد.

پس از اتمام لوله‌رانی یک خط، دستگاه از داخل گودال دریافت خارج می‌شود. همزمان مراحل شستشوی دستگاه و قطعات آن صورت می‌گیرد.
از آنجایی که در شهر همدان بافت زمین بسیار سخت بوده و بولدرهای بزرگی در این شهر دیده شده است، مشارکت کیسون- مشرف برای برخی مسیرها از روش هندشیلد استفاده کرده است.

اتصال،آببندی و روانکاری

دور لوله‌های بتن پلیمری، که در طرح فاضلاب همدان به کار می‌رود، حلقه‌ای با مواد GRP(پلاستیک تقویت شده با فایبرگلاس fiber-glass reinforced plastic) وجود دارد. این حلقه برای اتصال محکم لوله‌ها به یکدیگر، در هنگام اجرای عملیات لوله‌رانی، کاربرد دارد.
برای آب‌بندی درز بین لوله‌ها، لاستیک آب‌بند (Rubber)، در قسمت نرینه یک لوله، به مواد GRP لوله دیگر، متصل می‌شود.
در طرح فاضلاب همدان،برای کاهش اصطکاک تماس بین جدار خارجی لوله‌ها و سطح زمین حفاری شده از ماده روانساز بنتونیت استفاده می‌شود. روانکاری،در عین حال، برای سهولت اجرای عملیات لوله‌رانی و تثبیت خاک‌های سست اطراف لوله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تجهیزات

در این پروژه، از دو دستگاه حفار، هر دو به قطر ۱۲۰۰ میلیمتر با قابلیت افزایش قطر به ۱۴۰۰ میلیمتر استفاده شده است. دستگاه TC با کاتر Full Rock و دستگاه XC با کاتر Mixed به همراه کلیه لوازم و تجهیزات متعلقه شامل: اتاق کنترل، کانکس تجهیزات و وسایل اجرا،تانک‌ها ته‌نشینی، جک (jack)، پمپ گلاب، بنتونیت، پمپ فشار قوی، پمپ تغذیه، دستگاه جداکننده آب و مواد زائد، ژنراتورهای ۱۱۰ و ۵۵۰ KVA و...
دیگر دستگاه‌ها و ماشین‌آلات پشتیبانی که در این پروژه به کار گرفته می‌شوند عبارتند از: جرثقیل‌های ، ۱۰، ۳۵ و ۵۰ تنی، بیل مکانیکی B ۱۰۰ HE، لودر L۹۰، کمپرسی‌بنز ،۱۹۲۴ خاور ۶۰۸ ، ژنراتور ۶۰ KVA، تانکر آب، خاور لجن کش، ماشین سوخت رسان، پمپ‌های لجن کشی و کف کشی در سایزهای مختلف و الکتروموتور جوشکاری.
از تجهیزاتی که به صورت خاص در اتاق کنترل، واقع در پروژه فاضلاب همدان قرار گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
تابلوی پانل کنترل (Control panel board)، سیستم رفت و برگشت آب و گلاب به همراه فلوترهای تعیین کننده دبی آنها به همراه تمامی قسمت‌های سیستم کنترل دستگاه (PLC).

لوله‌های بتن پلیمری در طرح فاضلاب همدان

لوله‌های بتن پلیمری، با توجه به مزایای بسیاری که دارند، به عنوان بهترین گزینه برای لوله‌رانی در طرح فاضلاب همدان انتخاب شدند. برای صرفه‌جویی در هزینه‌های ارزی پروژه و تأمین کلیه لوله‌های مورد نیاز در زمان و با هزینه مناسب، کارخانه‌ای برای ساخت لوله‌های بتن پلیمری راه‌اندازی شده است.

بخشی از ماشین‌آلات مورد نیاز کارخانه در داخل تولید و بخشی دیگر از کشور آلمان خریداری شده‌است. در این کارخانه لوله‌های بتن پلیمری به قطر ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر از نوع Polymer concrete به‌طول ۳ متر برای استفاده در خطوط لوله‌فاضلاب تولید می‌شود. مصرف عمده لوله‌های بتن پلیمری در اجرای پروژه‌های فاضلاب شهری است که با روش پایپ‌جکینگ و میکروتونلینگ اجرا می‌شود. البته این نوع لوله در روش ترانشه باز هم قابل استفاده است.

ظرفیت تولید کارخانه ۱۰.۰۰۰ تن انواع لوله‌های بتن پلیمری در سال، طی یک شیفت کاری است که در صورت نیاز به سه‌برابر (طی سه شیفت) قابل افزایش است.

کلیه مواد اولیه ورودی به کارخانه در یک آزمایشگاه مجهز بر اساس جدول داده‌ها (Data sheet) کنترل شده و با تأیید آزمایشگاه و مهر کنترل کیفیت، مجوز ورود به چرخه تولید داده می‌شود. در حین تولید یک نمونه مکعب تهیه شده و پس از عمل آوری، در آزمایشگاه بتن پلیمر تحت آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مشخصی مطابق استاندارد ASTM C۴۹۷ قرار می‌گیرد. محصولات تولید شده نیز بر اساس استانداردهای معتبر DIN ۵۴۸۱۵-۱ و DIN ۵۴۸۱۵-۲ مورد آزمایش قرار گرفته و پس از تأیید آزمایشگاه و تکمیل فرم گزارش آزمایش آماده حمل و تحویل می‌شود. همچنین کارخانه لوله بتن پلیمر در راستای ارتقا سیستم‌های مدیریتی خود در آذر ماه ۱۳۸۶ موفق به دریافت گواهی‌نامه ایزو ۹۰۰۱:۲۰۰۰ از شرکت QMI/AFAQ/EAQA شده است.

در پروژه فاضلاب همدان، معمولاً پس از خارج کردن دستگاه از گودال دریافت، اولین لوله که بیشترین بار لوله‌رانی را تحمل می‌کند، از گودال خارج می‌شود تا به صورت نمونه آزمایش‌هایی بر روی آن انجام دهند. از این طریق، می‌توان با دقتی بالاتر میزان مقاومت زمین در برابر لوله‌رانی را تخمین زد.

دستاوردهای روش لوله‌رانی در طرح فاضلاب همدان

مهمترین دستاوردهای احداث طرح فاضلاب همدان به روش پایپ جکینگ توسط مشارکت کیسون- مشرف را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱.ایجاد یک مشارکت قوی از مجرب‌ترین شرکت‌ها در منطقه.

۲.معرفی مزیت‌ها و توانمندی‌های فناوری‌های بدون ترانشه به جامعه مهندسی ایران.

۳.اجرای موفق یک طرح فاضلاب شهری در یکی از پیچیده‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در جهان به روش پایپ جکینگ.

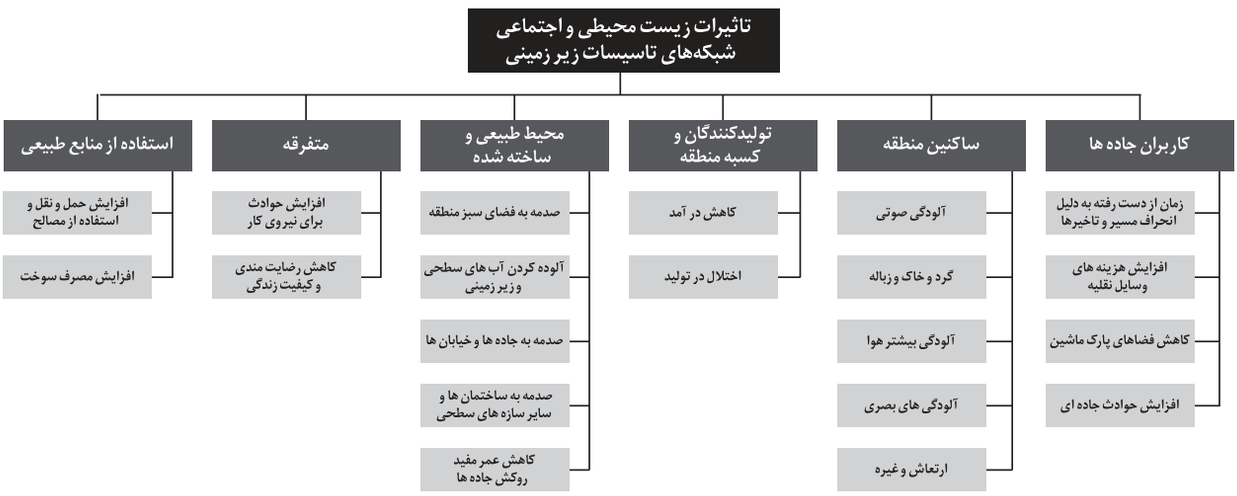
۴.احداث یک کارخانه برای تولید لوله‌های بتن پلیمری که علاوه بر فراهم آوردن نیاز پروژه‌هایی که با روش‌های بدون ترانشه اجرا می‌شوند، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های ارزی کشور نیز می‌شود.

۵.مهمتر از همه کسب دانش و تجربه مورد نیاز وتربیت نیروی انسانی کارآمد برای اجرای پروژه‌های مشابه در سراسر ایران و منطقه است که توسعه و شکوفایی آن در گرو توجه متولیان تأسیسات زیرزمینی به فناوری‌های سازگار با محیط زیست مانند پایپ جکینگ و میکروتونلینگ است.

۱۱. مؤخره

مدیریت نوین به شدت توصیه می‌کند از روش برآورد هزینه مبتنی بر چرخه حیات (Life Cycle Costing) استفاده شود. لذا باید از این رویکرد برای انتخاب گزینه مناسب (ترانشه باز یا بدون ترانشه) از طریق مقایسه هزینه‌های چرخه حیات هر گزینه با هدف انتخاب روشی که بیشترین ارزش افزوده یا ارزش خالص (Net value) را ایجاد می‌کند، استفاده شود. اما **اگر هدف مقایسه عادلانه روش‌های ترانشه باز با تکنولوژی‌ها بدون ترانشه است، چنین تجزیه و تحلیلی حتماً باید هزینه‌های اجتماعی طرح‌ها را نیز در برگیرد. متأسفانه در عمل به ندرت این اتفاق می‌افتد و صرفاً هزینه‌های مستقیم در کوتاه مدت محاسبه می‌شوند. خوشبختانه در بازارهایی که حجم نسبتاً بالایی از کار انجام می‌گیرد، در اکثر موارد مقایسه هزینه‌های مستقیم هم به نفع تکنولوژی‌های بدون ترانشه تمام می‌شود.**

همانطور که قبلاً گفته شد هزینه‌های اجتماعی حاصل خصاراتی است که شبکه‌های تاسیسات زیرزمینی به جامعه می‌زنند. تاکنون برآوردهای مختلفی در مورد هزینه این خصارات صورت گرفته که در تازه‌ترین آن‌ها، هزینه های اجتماعی دو برابر هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم تاسیسات زیرزمینی تخمین زده شده است. لازم به ذکر است که هزینه‌های اجتماعی فقط بخشی از اثرات زیست محیطی نصب و بهسازی خطوط لوله را تشکیل می‌دهند.



اولین تلاش جدی برای ارزیابی ابعاد خساراتی که روش‌های ترانشه باز به جامعه وارد می‌کنند توسط آقای تامسون (Thomson) با همکاری لابراتور تحقیقات جاده و حمل و نقل انگلستان (UK Transport and Road Research Laboratory) انجام گرفت. براساس این مطالعات هزینه‌های اجتماعی بیش از دو برابر هزینه‌های مستقیم نصب خطوط زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. در این مطالعه هزینه‌های اجتماعی این طرح‌ها، برای انگلستان حدود ۲/۱ میلیارد دلار در سال برآورد شده است.

هزینه‌های اضافی وارده در نتیجه راه بندان‌ها و گلوگاه‌های ترافیکی که روش‌های ترانشه باز ایجاد می‌کنند برای هر ۱۰۰۰ مورد تغییر سرعت از ۵۰ مایل در ساعت به ۱۵ مایل و دوباره به ۵۰ مایل برای یک وسیله نقلیه متوسط ۴۶/۲ لیتر و کاهش عمر مفید روکش مسیرهایی که در

آنها حفاری ترانشه باز انجام می‌گیرد حدود ۳۰ درصد برآورد شده است.

ترانشه‌های باز خطرات بسیار بیشتری را برای کارگران و عابران پیاده ایجاد می‌کنند. **بطور کلی حوادث مرتبط با حفر ترانشه ۱۱۲ درصد بیشتر از سایر کارهای ساختمانی است. سالانه بیش از ۶۰ کارگر در حوادثی که در پروژه‌های ترانشه باز اتفاق می‌افتند، جان خود را از دست می‌دهند.**

تکنولوژی‌های بدون ترانشه دائماً در حال بهبود و توسعه هستند. نوآوری‌ها و بهینه‌سازی فرایندها دائماً فعالیت در اقطار کوچک و بزرگ را متحول می‌کنند، طول هر رانش را افزایش می‌دهند، دقت و سرعت را بالا می‌برند، رانش در مسیرهای قوسی، در عمق بیشتر و در زیر سفره‌های آب ، رودخانه ها و دریاها را امکان‌پذیر می‌کنند. رکوردهای طول رانش، سرعت رانش، اندازه لوله‌ها، میزان انحنای مسیر دائماً شکسته می‌شوند. اما **هنوز بسیاری از دولتمردان و شهروندان بویژه در کشورهای جهان سوم اطلاعات کمی درباره فناوری‌های بدون ترانشه دارند. بنابراین این وظیفه جامعه مهندسی و شرکت‌های پیشرو است که مزیت‌های اقتصادی، فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی روش‌های بدون ترانشه و نقش مهمی که در توسعه پایدار شهری ایفاء می‌کنند را ترویج کنند.**

۱۲. منابع

1. Meeting the Unseen Challenge, State of the U.S trenchless Industry, Louisiana DOTD Conference, Feb 13, 2007.
2. An Introduction to Pipejacking, prepared by British Pipejacking association.
3. An Introduction to Pipejacking and Microtunelling Design, the Pipejacking Association of the United Kingdom.
4. Trenchless Technology Systems an Environmentally Sound Approach for Underground Services, the International society for Trenchless Technology.
5. Trechless Technologies, Costs and Environmental Impact Trenchless Technologies Resource Centre, October 2006.
6. Pipe Jacking Design and Best Installation Practice, Prepared by the Pipejacking Association.
7. Polymere Concrete Pipe Product Guide, Meyer Polycrete, 2006.
8. Ten Years of Trenchless Technology in China, Zhang, Y. & Jiang, G. College of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, P. R. China, Oct. 2007.
9. Condition Assessment and Rehabilitation Planning; Trenchless Technologies Resource Centre, Oct. 2006.
10. Site Survey and Preparation, the International Society for Trenchless Technology, Oct. 2006.

۱۳.واژگان تخصصی

Abrasive resistance	مقاومت سایشی
Abrasivity	سایایی
Absolute roughness	زبری مطلق
Abutment	تکیه‌گاه
Access shaft	گودال دسترسی
Alignment	همراستایی
Angle of friction	زاویه اصطکاک
Angular Depletion	انحراف زاویه‌ای
Annular lubricant	روانکار حلقوی
Annular space	فضای حلقوی
Arching Characteristic	خصوصیات قوسی
Atmospheric pollutants	آلاینده جو
Auger machine	مته، دستگاه مته‌کاری
Backacter shield	سپر کجبیلی
Backfill	خاکریز(ی)، پشت‌ریز
Balanced screw auger	مته پیچ دار، آچار پیچ گوشتی بالانس شده
Battered excavation	حفاری شیب‌دار
Borehole	چاه گمانه
Bulkhead	سپر کوبی مهار شده
Cased screw auger	آچار پیچ گوشتی پوشش دار
Caisson	صندوقه
Cathodic protection	حفاظت کاتدی
Chemical stabilisation	ثبات شیمیایی
Closed face tunnel boring machine	دستگاه حفار سینه بسته تونل
Coated stone	سنگ پوشش‌دار
Coefficient of linear thermal expansion	ضریب انبساط طولی حرارتی
Cohesion	چسبندگی، پیوستگی
Compressive strength	مقاومت فشاری
Concrete collars	حلقه بتنی
Convectional trenching	حفاری ترانشه با روش متعارف
Control container	مخزن ظرف کنترل
Cone penetration test	آزمایش نفوذ مخروط (آزمایش درجای خاک با استفاده از مخروط هلندی)
Core logging	نمونه برداری استوانه‌ای
Core sample	نمونه استوانه‌ای
Coded opening	دهانه کد برداری شده
Corrosion-resistant matrix	ماتریس مقاوم در برابر خوردگی
Culvert	آبرو
Cutter boom shield	سپر (شیلد) با بازوی برنده
Cutting head	سر برنده، کلاهک برنده
Desk study	مطالعه دفتری
Duct	کانال، غلاف

Drive	رانش
Dewatering	آبکشی
Earth pressure balance machine	دستگاه تعادل فشار زمین
Elastometric sealing	درزگیری الاستومتریک
Environmentlly sound technology	فناوری سازگار با محیط
Exfiltration	تصفیه آب‌های محیطی
Face support	تکیه‌گاه سینه کار
Feed line	لوله تغذیه
Feed pump	پمپ تغذیه
Field study	مطالعه میدانی
Flexural modulus of elasticity	ضریت خمشی الاستیسیته
Flexural strength	مقاومت خمشی
Flow characteristics	خصوصیات جریان (سیال)
Frictional resistance	مقاومت اصطکاکی
Gang size	اندازه توزیع گروه کار
Geo-physical testing	آزمایش ژئوفیزیکی
Ground anchor	مهار زمینی
Gradient	شیب
Gravity flow	جریان ثقلی
Ground anchorage	مهار زمینی
Ground freezing	منجمدسازی زمین
Ground treatment	بهسازی زمین
Guide rail	نرده راهنما
Headwall	دیوار هدایت
Horizontal directional drilling	حفاری جهت دار افقی
Hydraulic jack	جک هیدرولیکی
Hydraulic mole	چکش هیدرولیک جابجایی خاک
Impact moling	جابجایی ضربه‌ای خاک
Imported stone fill	مصالح سنگریز وارد شده به سایت
Intrusive investigation	مطالعات نفوذی
Invert	کفبند، آبگذر
Invert channel	کانال کفبند/ آبگذر
Interface	رابطه، تعامل، همپوشانی
Jacking frame	قاب رانش
Jackin greaction	واکنش رانش
Launch seal	آببند سکوی رانش
Launch shaft	گودال رانش
Lifting anchor	مهار بالابر (دن)
Life-cycle costing	هزینه چرخه حیات
Lubrication	روانسازی
Manhole	آدم‌رو، دهانه بازدید
Manning coefficient	ضریب مانینگ

Manning's "N" flow coefficient	ضریب "N" جریان
Moisture content	میزان رطوبت، درصد رطوبت
Non-cohesive	غیر چسبنده، غیر منسجم، از هم گسسته
Open cut	حفاری باز
Open hand shield	هند شیلد باز
Overbreak	حفاری اضافی ناخواسته
Overburden	لایه سربار، روباره
Overlain	زیاد بار کردن
Particle size distribution	توزیع اندازه دانه‌ها
Pedestrian subway	زیرگذر عابر پیاده
Penetration testing	آزمایش فروروندگی
Percussive	ضربه‌ای
Permafrost	لایه یخ‌بسته
Permeability	نفوذپذیری، تراوایی
Piezometer	پیزومتر، فشار سنج
Piling	شمع کوبی
Pipe-bursting	ترکاندن لوله
Pipe cracking	ترکاندن لوله
Pipe eating	ترکاندن لوله
Pipe splitting	دو نیمه کردن لوله
Pipe-bursting techniques	تکنیک‌های ترکاندن لوله
Plasticity index	دامنه خمیری
Pre-cast or cast insitu caisson	صندوقچه پیش‌ساخته یا درجا
Pressurised slurry	گلاب تحت فشار
Pressurised slurry machine	دستگاه گلاب تحت فشار
Primary lining	پوشش اولیه
Pump down test	آزمایش تخلیه
Quartz sand	ماسه کوارتز
Reception pit	گودال دریافت
Reception seal	آببند دریافت
Reception shaft	گودال دریافت
Reinstatement	جایگزین کردن، به حالت اولیه بازگرداندن
Rock quality designation (RQD)	سنجش کیفیت سنگ
Rotary-drilled borehole	سنجش کیفیت چاه گمانه
Screw conveyor	نقاله پیچ دار
Seal assembly	مونتاژ سیستم آببند
Secondary lining	پوشش ثانویه
Segmental lining	پوشش سگمنتی
Segmental tunnel	تونل با پوشش سگمنتی
Settlement tank	تانک نشت
Shallo trench sheeted or timber supported excavation	حفاری کم عمق با استفاده از تکیه‌گاه چوبی
Shear plane	صفحه برش

Sheet piling or secant piling	سپر کوبی فلزی یا سکانتی
Shield	سپر
Site investigation	شناسایی محلی، بازرسی سایت، بررسی سایت
Skin friction	اصطکاک سطحی
Sleeve coupling	کوپلینگ غلاف
Slurry discharge pump	پمپ تخلیه گلاب
Soil conditioning	عمل آوری خاک
Specific energy	انرژی مخصوص
Standard penetration test	آزمایش نفوذ استاندارد
Static cone	مخروط ایستا/ استاتیک
Steerable shield	سپر قابل هدایت
Stepped excavation	حفاری پله‌ای
Sump pump	تلمبه چاهکی
Suspension grout	دوغ آب معلق
Surcharge load	بار اضافه
Tensile strength	مقاومت کششی
Three-edge bearing test	آزمایش سه نبشی
Thrust pit	گودال رانش
Thrust ring	حلقه رانش
Thrust wall	دیوار رانش
Tolerance	رواداری
Tongue- and- groove joint	اتصال فاق و زبانه
Trial pitting	گودال کنی آزمایشی
True level	تراز واقعی
True line	خط واقعی
Tunnel boring machine	دستگاه حفار تونل
Unit weight	وزن مخصوص
Vibratory compaction	متراکم کردن ارتعاشی
Vibratory vertical casting	ریخته‌گری عمودی ارتعاشی
Virtified clay pipe	لوله گل رس پخته
Water based fluid	سیال با مایه آب
Watercourse	آبراهه
Water ingress	نفوذ آب (به داخل)
Water main	آبرو/ کانال اصلی آب
Watertight	ناتراوا
Well pointing	مشخص کردن چاه زهکش
Working shaft	گودال کاری
Workmanship	استادکاری، مهارت

آدرس: شهرک قدس، فاز یک، خیابان ایران زمین، ساختمان تجاری - اداری ایران زمین، پلاک ۲۲۸۸
تلفن: ۹-۸۸۰۷۲۵۰۱
پست الکترونیک:
info@kayson-ir.com
وب سایت کیسون:
http://www.kayson-ir.com