

# ایران

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، بیشترین طول حفاری های تونل های متروی شیراز در محیط ابرفتی و زیر سطح آب زیر زمینی به صورت تونل های دوقلو توسط دو دستگاه EPB TBM با قطر حفاری ۶/۸۸ متر و قطر داخلی مفید تونل ۶ متر انجام شده است.

جدول ۱: تقسیم بندی و متر از عملیات اجرایی خط ۱ متروی شیراز

روش اجرا	طول مسیر (KM)
دو تونل دوقلو با استفاده از EPB TBM (قطر ۶/۸۸ متر ساخت شرکت فوالسوی NFM)	۱۲/۵
روش انرژیشی NATM (Bench & Heading)	۷/۵
روش Cut & Cover (کند و پوش)	۸
روش رومار و ریل گذاری سطح زمین	۲/۵
مجموع	۲۴/۵

شیراز مرکز استان فارس در کشور ایران و بزرگترین شهر جنوب ایران با جمعیت داخلی بیش از ۱/۲ میلیون نفر و با مجموع حومه حدود ۱/۷ میلیون نفر می باشد. آغاز به کار متروی آن در سال ۲۰۰۱ می باشد.

سازمان قطار شهری شیراز (SURO) بر اساس قوانین شهرداری به عنوان کارفرما جهت طراحی و ساخت متروی شیراز تشکیل شده است. طرح خط ۱ متروی شیراز به طول ۲۴/۵ کیلومتر با ۲۱ ایستگاه می باشد. سازمان قطار شهری همکاری مشترک دو شرکت مترا و بهان سد را به عنوان مدیریت پروژه خط ۱ انتخاب نموده است. با توجه به مسائل ژئوتکنیکی، سطح آب زیر زمینی و مشکلات ترافیکی شهر شیراز، عملیات احداث آن به چهار روش تقسیم شده است. (جدول ۱)

تونلسازی به روش EPB

## پایان عملیات حفاری تونل های به روش EPB TBM متروی شیراز



شکل ۱



شکل ۲- نمایی یکی از TBM متروی شیراز در کارخانه NFM فرانسه

جدول ۲- خصوصیات هر دو تونل دوقلو حفاری شده متروی شیراز

طول تونل های	۲۰۱۲/۵ کیلومتر
روش حفاری	ماشین TBM به روش فشار تعاقبی زمین (EPB TBM)
جنس خاک	رس سیلت دار با رگه های با قطر ۱ تا ۳ متر ماسه و گراول به صورت عتسی شکل
وضعیت آب زیر زمینی	۱۰/۵ کیلومتر حفاری در محیط اشباع و ۳ کیلومتر حفاری در محیط خشک
عمق ژوئاره	حداقل ۷ متر و حداکثر ۱۹ متر به صورت گامه ای
فاصله دیوار تا دیوار تونل	۴ تا ۸ متر
نوع نگهداری	سگمنت های بتنی
آرایش سگمنت های بتنی	۱۰۲۰۲۰۱
ضخامت سگمنت های بتنی	۳۰ سانتی متر
فاصله ایستگاه ها	متوسط ۹۰۰ متر
تعداد کل ایستگاههای عبوری TBM	۱۵ ایستگاه
تعداد ایستگاه خاکبرداری شده و حرکت TBM بر روی کوبدل	۷ ایستگاه
تعداد عملیات break through انجام شده برای هر تونل	۷ عدد
تعداد عملیات هایپر بار یک انجام شده	۸ بار و حداکثر فشار عملیاتی (1.55 bar)
تعداد فوت نیروی انسانی برای ۲۵ کیلومتر حفاری مکثیزه	۱ نفر

هر دو EPB TBM ساخت شرکت فرانسوی NFM عملیات حفاری خود را در اکتبر ۲۰۱۰ به پایان رسانده اند. حفاری این ماشین ها در متروی شیراز تقریباً یکی از طولانی ترین تونل های این نوع روش در سطح دنیا را به ثبت رسانده اند.

شکل ۲ یکی از این ماشین ها را در کارخانه NFM فرانسه نشان می دهد.

شرکت بام راه به عنوان پیمانکار اصلی ساخت این دو تونل انتخاب گردید و همچنین کلیه عملیات ها نیز تحت مشاوره و نظارت شرکت عمران و محیط زیست به عنوان مشاور انجام شده است.

جدول ۲ کلیه خصوصیات این دو تونل را نشان می دهد

#### نرخ پیشروی تونل

عملیات حفاری TBM های متروی شیراز در ماه Nov سال 2004 آغاز شده و در ماه Oct سال 2010 پایان یافته است که مدت زمان مجموع کل عملیات حفاری ۲۵ کیلومتر دو تونل تقریباً ۶ سال میباشد. مقدار پیشروی مجموع دو تونل در طی این ۶ سال برای هر سال به تفکیک جدول ۳ می باشد.

جدول ۳- مجموع پیشروی TBM های متروی شیراز

سال حفاری	طول حفاری (KM)
۱	۳/۱
۲	۴/۴۱
۳	۵/۲
۴	۴/۸
۵	۳/۳
۶	۳/۹۵

### نو آوری در شروع مجدد حرکت TBM

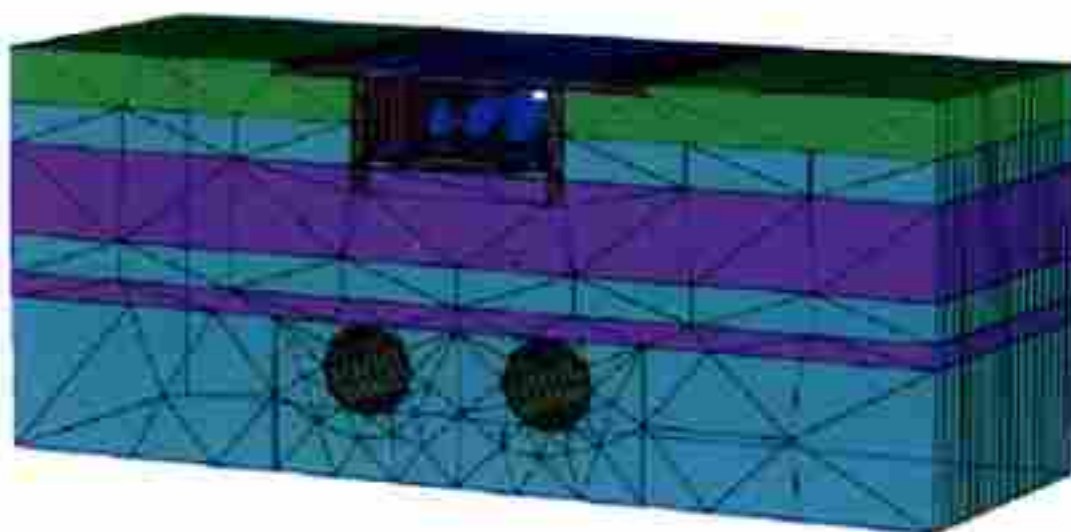
به علت شرایط خاص پروژه و قرارداد بین کارفرما و پیمانکار تعدادی از ایستگاههای مسیر از قبل خاک برداری شده و شفت تغذیه TBM (launching shaft) به این ایستگاهها جهت کم کردن طول عملیات حمل خاک داخل تونل انتقال داده شده اند. بطور کلی در این پروژه ۴ بار شفت تغذیه TBM انتقال داده شده است. در عبور TBM ها از ایستگاههای خاک برداری شده، نو آوری های زیادی در خط ۱ متروی شیراز انجام شده است که می توان استفاده از کربدل پیش ساخته بتنی و نیز روش چیدمان اجزای سگمنت ها و حذف پوش فریم در شروع عملیات حفاری نام برد (شکل ۳)



شکل ۳- نمایی از طرح پیشنهادی چیدمان اجزای سگمنت های بجای پوش فریم در شروع حرکت TBM و همچنین کربدل های بتنی مربوطه

### سازه های حساس در مسیر پروژه

وجود سازه های سنگین مانند پل غدیر و زیر گذر زند (به طول ۹۰۰ متر واقع در بناهای تاریخی شیراز) در مسیر اجرای پروژه و عبور TBM ها از زیر این سازه ها، حساسیت عملیات حفاری را بسیار زیاد کرده که با توجه به دقت تیم مهندسی شرکت بام راه این عملیات ها با موفقیت به انجام رسیده است. شکل ۴ نمایی از مدل سازی عددی ۳ بعدی گذر TBM را از زیر گذر زند را نشان می دهد.



Zand Under pass Modeling and Shiraz metro Tunnels

شکل ۴- نمایی از مدل سازی عددی ۳ بعدی گذر TBM را از زیر گذر زند

### نتیجه گیری

شکل ۱ جشن آخرین شکستن دیواره شفت دموونتاژ TBM ها و پایان حفاری مکانیزه تونل های خط ۱ شیراز را به طول هر کدام ۱۲/۵ کیلومتر نشان می دهد. به طور کلی می توان پروژه حفاری متروی شیراز را از لحاظ نوع سفارش و ساخت TBM و نیز اجرای عملیات تونل یکی از پروژه های موفق در سطح

### عملیات های پرباریک

در عبور TBM ها از زیر زیرگذر زند و یافت تاریخی شیراز به علت زیاد بودن روباره و نیز سایشی بودن خاک مسیر TBM، عملیات های پرباریک جهت تعویض ابزار برشی کاتر هد زیر سطح آب ۴ بار با فشار 1.55 bar انجام شده است

جدول ۴- امار بیشترین رکورد های حفاری EPB TBM های متروی شیراز

بیشترین پیشروی یک TBM در یک شبانه روز	۳۰ متر
بیشترین پیشروی مجموع دو TBM در یک شبانه روز	۴۷ متر
بیشترین پیشروی یک TBM در یک هفته	۱۶۴ متر
بیشترین پیشروی مجموع دو TBM در یک هفته	۲۲۴ متر
بیشترین پیشروی یک TBM در یک ماه	۵۴۲ متر
بیشترین پیشروی مجموع دو TBM در یک ماه	۹۱۹ متر

دنیا معرفی نمود که با توجه به خصوصیات خط ۲ متروی شیراز، در آینده نزدیک هر دو دستگاه TBM خط ۱ جهت حفاری خط ۲ متروی شیراز ( پس از دمونتاز و اور هال ) مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

این مقاله در مجله World Tunneling چاپ Feb 2011 در کشور انگلستان چاپ شده است.