

## مقدمه:

سرزمین تأثیرگذار بوده است. کوهستان‌ها، دشت‌ها و دره‌های زیبای آذربایجان موجب شده که این منطقه از نظر جاذبه‌های طبیعی نیز به عنوان یکی از ظرفیت‌های بزرگ جذب توریسم به حساب آید. به علاوه آذربایجان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی و صنعت ایران است که سهم بالایی در تأمین محصولات کشاورزی و کالاهای صنعتی دیگر مناطق کشور را دارد. بی‌شک برای استفاده از تمامی این ظرفیت‌ها به زیرساخت‌های گسترده‌ای در ابعاد مختلف نیاز است که یکی از اصلی‌ترین آنها شبکه حمل‌ونقل داخلی و اتصال آن به شبکه‌های حمل‌ونقل بین‌المللی است.

در حال حاضر شهر تبریز به عنوان مرکز استان آذربایجان شرقی با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در مسیر مناسب‌ترین و مهم‌ترین راه‌های ارتباطی منطقه شمال غرب کشور جایگاه ویژه‌ای دارد. این شهر در سمت شرقی خود با اردبیل، کرانه‌های خزر و شهر آستارا و از سمت غرب و در امتداد مرند با خوی و در ادامه با ارزروم ترکیه مرتبط است. همچنین از سمت شمال نیز در مسیر مرند به جلفا متصل می‌شود که شهر مرزی جلفا از طریق خط‌آهن نخجوان، ایروان، تفلیس به جمهوری ارمنستان و بنادر دریای سیاه وصل می‌شود. ملاحظه می‌شود که با توجه به موقعیت ویژه شهر تبریز و نیاز بالای این منطقه در جابجایی مسافر و کالا، توسعه شبکه حمل و نقل بخصوص حمل و نقل ریلی می‌تواند تأثیر بسیاری در مبادلات اقتصادی - تجاری کشور

امروزه اهمیت و نقش بسیار مهم شبکه حمل و نقل به عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی هر کشور کاملاً شناخته شده است. به یقین یکی از مهمترین معیارهای توسعه اقتصادی - اجتماعی یک جامعه داشتن یک سیستم حمل و نقل مناسب و ایمن می‌باشد و همواره فقدان یک شبکه حمل و نقل فراگیر و کارا به عنوان یکی از مهمترین دلایل پس ماندگی جوامع مطرح بوده است. در این میان یکی از ایمن‌ترین نوع حمل‌ونقل، راه‌آهن و حمل‌ونقل ریلی است که درصد بالایی از شبکه ترانزیت را در کشورهای توسعه یافته به خود اختصاص داده است. حمل‌ونقل ریلی با توجه به موقعیت جغرافیایی کشورمان می‌تواند جایگاه ویژه‌ای را در تجارت و مبادلات بین‌المللی داشته باشد که این امر مستلزم سرمایه‌گذاری کلان در این بخش خواهد بود. یکی از طرح‌های توسعه شبکه حمل و نقل ریلی کشور پروژه راه‌آهن دوخطه میانه - بستان‌آباد - تبریز می‌باشد که در ادامه گزارشی از این طرح که در حال حاضر به عنوان مهمترین پروژه ریلی منطقه شمال غرب ایران مطرح است ارائه می‌شود.

## راه‌آهن میانه - بستان‌آباد - تبریز:

منطقه آذربایجان به لحاظ جغرافیای سیاسی از جمله مناطق مهم ایران است که همواره در طول تاریخ در روابط منطقه‌ای و بین‌المللی این

# گزارشی از پروژه راه‌آهن میانه - بستان‌آباد - تبریز

محمد رضا صافدل - کارشناس ارشد زلزله، دفتر فنی مهندسین مشاور رهاب  
سهیل آل رسول - مدرس دانشگاه آزاد اسلامی (واحد اسلامشهر)



نام قطعه	مبلغ برآوردی طبق قرارداد اولیه (ریال)	کیلومتر ابتدا	کیلومتر انتها	طول قطعه
الف/۵	206,753,418,000	146+150/30	154+761/30	8,611 km
ب/۵	90,994,115,941	154,761/30BW-154,394FW	163,903/22BW-167,839FW	11,311/22km
9		165,903/22BW-167,839FW	184+000	16,161km

مبادلات بین‌المللی و صادرات کالا به جمهوری‌های آذربایجان، ارمنستان و همچنین کشور ترکیه بود.

راه‌آهن میانه- بستان‌آباد- تبریز به طول ۱۸۳ کیلومتر به صورت دوخطه طراحی شده که هم‌اکنون در دست ساخت می‌باشد. این طرح فاصله بین تهران تبریز را از نظر مسافت ۱۱۴ کیلومتر و از لحاظ زمانی ۵/۵ ساعت کاهش می‌دهد. در صورت تکمیل این طرح، ترانزیت ریلی ایران برای اولین بار به اروپا متصل می‌شود.

با وجود آنکه عملیات ساخت راه‌آهن میانه- بستان‌آباد- تبریز از سال ۱۳۸۰ آغاز گردیده ولی پیشرفت فیزیکی طرح یاد شده به دلیل عدم اختصاص اعتبار کافی از رشد لازم برخوردار نبوده و حتی در برهه‌ای از زمان به دلیل بدهی ۱۶۰ میلیارد ریالی وزارت راه و ترابری به شرکت‌های پیمانکار کارگاه‌های اجرای طرح متوقف بود. در حال حاضر پروژه مذکور حدود ۴۰ درصد در بخش زیرسازی پیشرفت داشته، که تکمیل و راه‌اندازی آن نیازمند توجهی ویژه و همه‌جانبه می‌باشد.

مسئولیت طراحی و نظارت ۳ قطعه از طرح راه‌آهن میانه- بستان‌آباد- تبریز به عهده کارشناسان مهندسی مشاور رهاب بوده است. در جدول بالا مشخصات قطعات مذکور آمده است.

در طول این قطعات از پروژه مذکور تعداد ۱۸ دستگاه پل بزرگ و در حدود ۳۳۸۰ متر تونل پیش‌بینی شده است. تونل شیبلی با طول ۲۸۰۰ متر در منطقه‌ای نامناسب به سبب شرایط زمین و پل بزرگ دره باسمنج با طول یک کیلومتر از جمله‌ی مهم‌ترین ابنیه فنی طرح در این قطعات می‌باشند. حجم کل خاکریزی‌ها و خاکبرداری‌های لازم در طول این

از طریق این منطقه داشته باشد. ساخت راه‌آهن میانه - تبریز در همین راستا و برای گسترش شبکه حمل و نقل و افزایش تعداد و سهولت مبادلات و انجام سفرها طرح‌ریزی گردید. در طرح مطالعات اولیه و توجیه فنی -اقتصادی طرح مذکور نکات زیادی مطرح گردیده که در اینجا تنها به یکی از آنها اشاره می‌کنیم و آن اینکه در حال حاضر راه‌آهن موجود تهران - تبریز تنها ۱۶ درصد از حجم سفرهای انجام شده در این مسیر را به خود اختصاص داده است و بیش از ۷۷ درصد از حجم ترانزیت مسافر و کالا در این مسیر از طریق جاده‌ای انجام می‌شود. در حالی که براساس آمار تصادفات سالیانه جاده‌های کشور محور میانه- تبریز همواره یکی از پرخطرترین جاده‌های کشور محسوب می‌شود. بی‌شک پس از ساخت راه‌آهن جدید میانه- بستان‌آباد- تبریز و اختصاص راه‌آهن قدیم تهران- تبریز حفاصل میانه تا تبریز به عنوان مسیر باری جهت حمل کالا علاوه بر افزایش تعداد سفرها با جذب مسافران جاده‌ای به این مسیر باعث کاهش بار ترافیکی جاده مزبور و کاهش خسارات مالی و جانی خواهد شد.

استان آذربایجان شرقی با جمهوری آذربایجان و ارمنستان دارای خط همجواری می‌باشد که در عین حال بدلیل برخی ملاحظات سیاسی و همچنین عوامل جغرافیایی و طبیعی کم‌رنگ‌ترین روابط همجواری نیز در طول این خط به چشم می‌خورد. یکی از عمده‌ترین دلایل انزوای این منطقه وسیع عدم وجود و اتصال شبکه حمل و نقل ایمن و مناسب بوده است. با راه‌اندازی راه‌آهن میانه- تبریز و اتصال به راه‌آهن نخجوان، ایروان، تفلیس از طریق جلفا و نیز از طریق دیگر مرزهای آبی و خاکی در این منطقه می‌توان شاهد افزایش چشم‌گیر



سه قطعه به ترتیب ۲۹۸۴۰۰۰ و ۴۴۲۴۰۰۰ مترمکعب خواهد بود. برای تهیه این گزارش این قطعات از طرح راه آهن میانه-بستان آباد- تبریز انتخاب و مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه مشکلات پیش رو در حین طراحی و همچنین ویژگی های خاص پل باسمنج و تونل شبیلی به عنوان مهمترین ابنیه فنی در این قطعات مورد بررسی و معرفی قرار می گیرد.

### پل باسمنج:

پس از شهر بستان آباد و در کیلومتر حدود ۱۶۸ از مسیر مطالعه شده برای طرح راه آهن میانه-تبریز دره سرسبز و زیبای باسمنج قرار دارد. در نقشه های اولیه راه آهن برای عبور مسیر از این منطقه که در جنوب شرقی شهر تبریز واقع شده، خاکریزی با ارتفاع بلند در نظر گرفته شده بود. پس از بررسی های کارشناسی و نیز اعلام نظر اداره کل جهاد کشاورزی و استانداری آذربایجان شرقی و نیز ابلاغ شرکت ساخت و توسعه زیربناهای کشور به عنوان کارفرمای طرح راه آهن میانه-تبریز، مهندسین مشاور رهاب مطالعات خود را جهت مقایسه فنی، اقتصادی و اجرایی گزینه های مختلف عبور راه آهن از این دره را آغاز نمود. پس از انجام بررسی های لازم بین گزینه های احداث پل، دیوار خاک مسلح و یا خاکریز در نهایت با توجه به مسائل اقتصادی و اجرایی و نیز عوامل زیست محیطی، پل بزرگی به طول حدود یک کیلومتر برای این منطقه پیش بینی و طراحی شد. به سبب تأکید کارشناسان مهندسین مشاور رهاب جهت استفاده از تکنولوژی های جدید پل سازی، برای ساخت این پل سیستم اجرایی Pushing (ساختن تابلیه در یک طرف پل و هل دادن تدریجی روی پایه ها) در نظر گرفته شده است. با ساخت پل باسمنج ضمن کاهش قابل ملاحظه خسارات زیست محیطی، از مسدود شدن دره مذکور جلوگیری کرده، مانع آسیب رسیدن به باغ ها و مزارع موجود نیز خواهد شد.

طراحی پل باسمنج که در قطعه ۹ راه آهن میانه-تبریز واقع شده است توسط کارشناسان مهندسین مشاور رهاب انجام پذیرفته و شرکت استرونک هلد ایران به کمک شرکت مشاور اسپانیایی eipsa طراحی و اجرای تابلیه این پل را به عهده خواهد داشت. پیمانکار این پروژه سازمان توسعه راه های ایران خواهد بود. در ادامه با برخی از ویژگی های خاص این پروژه بیشتر آشنا خواهید شد.

### انتخاب گزینه مناسب:

در طراحی پل باسمنج از پل با دهانه متوسط استفاده شده است. با توجه به فاصله خط پروژه از زمین طبیعی در محل دره که ارتفاع پل را مشخص می سازد و همچنین از نظر زیبایی و ملاحظات اقتصادی بهترین طول دهانه برای پل مذکور دهانه های ۴۰ تا ۶۰ متری بود. در

طرح نهایی ۱۸ دهانه میانی ۵۰ متری در نظر گرفته شد و طول دهانه های ابتدایی و انتهایی ۴۰ متر می باشد.

برای پلی با دهانه فوق الذکر نیز می توان دوروش تابلیه بتنی (باکس بتنی) و تابلیه فلزی (باکس فلزی به همراه دال بتنی) متصور بود. با توجه به آنکه تابلیه بتنی از نظر هزینه های اجرایی، زیبایی و مقاومت در برابر عوامل محیطی از ارجحیت نسبی برخوردار بوده و نیز با توجه به اصول مدیریت تعمیر و نگهداری پل ها در زمان بهره برداری، پل با تابلیه بتنی بسیار کم هزینه تر از تابلیه فلزی می باشد بدین سبب برای پل مذکور اجرای تابلیه بتنی ترجیح داده شده است.

تابلیه پل دره باسمنج به عرض ۱۰/۶۰ متر می باشد که برای عبور دو خط راه آهن مجزا در نظر گرفته شده است. با توجه به ارتفاع زیاد این پل اجرای تابلیه بتنی به صورت پیش ساخته و یا بتن ریزی درجا به دلیل مشکلات قالب بندی، استفاده از جرثقیل یا پوتر لانسمان و دیگر مسائل مقرون به صرفه نخواهد بود. علاوه بر این با توجه به لزوم تلاش در جهت توسعه دانش فنی- اجرایی ساخت و اهمیت بهره گیری از تکنیک های نوین اجرای پل، برای اجرای تابلیه بتنی پل باسمنج از روش Pushing استفاده خواهد شد. در این روش ابتدا چند پایه پل در محل خود ساخته می شوند سپس همزمان با ساخت پایه های دیگر ساخت تابلیه هم انجام و به تدریج تابلیه هل داده می شود تا به کوله بعدی پل برسد. از مزایای روش فوق می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- از نظر روش و تکنیک ساخت این روش یکی از روش های به روز و مدرن پلسازی می باشد که با ساخت پل باسمنج با این روش می توان نسبت به وارد کردن فناوری جدید به داخل کشور اقدام نمود.
- ۲- از لحاظ هزینه اجرایی این روش نسبت به روش های دیگر به صرفه تر خواهد بود.

- ۳- از نظر زمان ساخت این روش ظرف مدت کوتاهی نسبت به سایر گزینه ها قابل اجرا می باشد این امر به دلیل اینکه تابلیه در یک سمت پل داخل سوله ساخته می شود ممکن می باشد. با توجه به محل اجرای پل و سردسیر بودن منطقه عموماً فصل بتن ریزی در پروژه ها محدود به زمانی است که خطر یخبندان وجود ندارد ولی در این روش می توان در کل طول سال عملیات بتن ریزی را انجام داد.

- ۴- در این روش به دلیل تمرکز اجرایی کارگاه عملیات ساخت تابلیه پل بسیار آسانتر و سریعتر انجام خواهد گرفت و از پراکندگی کارگاه و مشکلات آن خواهد کاست.

- ۵- پل باسمنج در پلان در قوس است و چون اجرای پل با این روش در قوس بسیار ساده و عملی می باشد، این روش نسبت به روش های دیگر پل سازی در این مورد خاص برتری دارد.

### مطالعات ژئوتکنیک و طراحی فونداسیون ها

با توجه به طول زیاد پل و نیروهای قابل توجه ناشی از نحوه اجرای





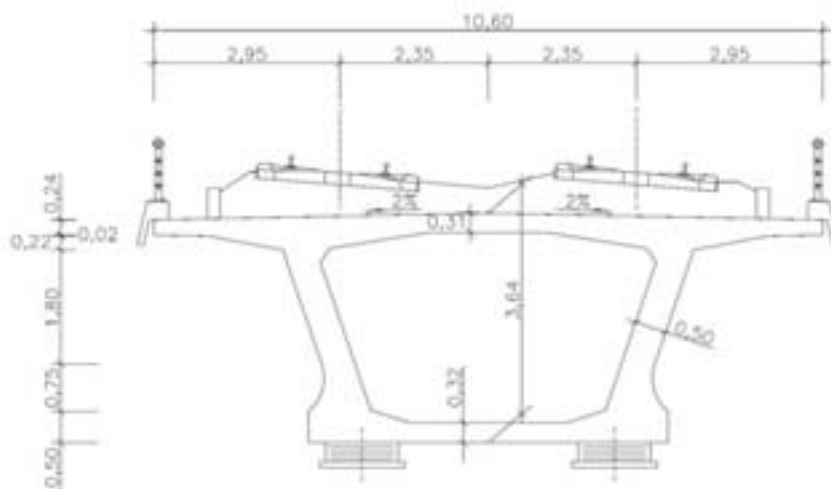
تابلیه، یکی از مهمترین قسمت طراحی پل باسمنج، طراحی فونداسیون پایه ها و کوله ها بود. پس از انجام آزمایشات مکانیک خاک و تهیه و ارسال نتایج این آزمایشات در قالب یک گزارش از سوی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان آذربایجان شرقی و نیز دریافت مقادیر نیروهای ناشی از اجرای تابلیه به روش Pushing از سوی مشاور خارجی، مراحل طراحی آغاز شد. یکی از مهمترین نکات مورد اهتمام در طراحی فونداسیون پایه های پل باسمنج کنترل مقادیر نشست پایه ها بود که با توجه به سیستم اجرای پل بایستی نشست به مقدار 25mm محدود می شد.

پس از بررسی نتایج گزارش آزمایشات مکانیک خاک شامل بررسی دقیق مشخصات و نمودار گمانه های اخذ شده از محل پل باسمنج و نیز نتایج آزمایشات نفوذ استاندارد مندرج در لوگ گمانه ها به نظر کاستی هایی در بیان شرح لایه ها وجود داشت. با توجه به این مسئله برای انجام مطالعات تکمیلی از همکاری یک شرکت مشاور ژئوتکنیک دیگر در استان آذربایجان شرقی استفاده شد. مشاور مذکور با تأیید وجود کاستی های موجود با بررسی بیشتر و انجام بازدیدهای محلی، عدم انطباق بین مقادیر SPT و شرح لایه های گمانه ها را که در گزارش آزمایشات مکانیک خاک ملموس بود به عدم اخذ نمونه دست نخورده از لایه های زیرین نسبت داد. با توجه به بررسی های انجام شده و نیز حمایت این پروژه به لحاظ سیستم اجرایی آن که برای اولین بار در کشورمان تجربه می شد، لازم بود تا پیش از تعیین نوع و آرایش شمع ها از دقت نتایج مطالعات مکانیک خاک اطمینان حاصل شود. بدین منظور مدل اولیه خاک و سرشمع پایه ها توسط نرم افزار XSI 3D-PLA تهیه شد. این مطالعه تحلیلی در قالب مدل سازی چهار فاز اجرایی انجام پذیرفت بدین ترتیب که در فاز صفر مدل وضعیت تنش که در آن لایه های خاک تحت وزن خودشان قرار داشته و مقادیر تنش های مؤثر و تنش کل در اثر فشار آب منفذی تعیین گردید. در مرحله

بعد فاز اجرایی خاکبرداری به منظور اجرای شمع و سرشمع در نظر گرفته شد. در مرحله سوم مدل اجرای شمع و سرشمع تهیه گردید و در نهایت در مدل چهارم با اعمال بارها به روی سرشمع علاوه بر تعیین تنش ها مقادیر نشست کنترل گردید. براساس آنالیزهای انجام شده آرایش شمع ها و عمق سرشمع پایه ها دقیق شد. در نهایت آرایش شمع برای هر کدام از پایه ها به صورت 15 شمع مدور با قطر 1/5 متر در عمق 15 متر تعیین شد که براساس کنترل ظرفیت باربری گرده شمع مذکور جوابگوی ظرفیت 5300 تن و نشست 2 سانتی متر می باشد.

### طراحی پایه ها :

با توجه به ارتفاع پایه های پل باسمنج و مقادیر نیروهای وارده، براساس ارزیابی های صورت پذیرفته ستون باکس توخالی، به عنوان بهینه ترین مقطع برای پایه ها در نظر گرفته شد. مدل سازی و طراحی پایه های پل باسمنج توسط نرم افزارهای SAP2000 و CSICOL انجام گرفت. کلیه جزئیات مربوط به طول مهار و قطع آرماتورها و نیز محل وصله ها در طراحی پایه ها مدنظر بوده است. برای اجرای پایه ها با توجه به هندسه آنها از قالب لغزنده قائم استفاده می شود بدین ترتیب که باکس به صورت توخالی بتن ریزی و اجرا می شود تا فاصله 3 متر از بالای پایه که مقطع به صورت توپر اجرا می شود. برای اجرای قسمت توپر ستون ها از قالب بندی درجا استفاده می شود. وضعیت نئوپرن های تکیه گاهی در روی پایه های وسط بدین ترتیب در نظر گرفته شده که بر روی هر پایه از 2 نئوپرن با ابعاد 115x115 و ضخامت الاستومر 15cm استفاده می شود فاصله محور به محور نئوپرن 4m خواهد بود. حداکثر ظرفیت باربری قائم و افقی نئوپرن های لازم به ترتیب 1750kN و 1400kN خواهد بود. ضخامت کلی نئوپرن و ملحقات لازم برای جاگذاری و نصب آن 50cm خواهد بود. نئوپرن های به کاررفته برای پایه های پل باسمنج شامل 2 دسته

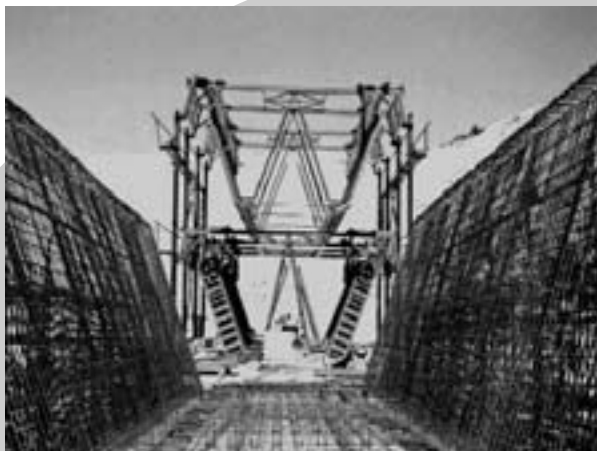


شکل (۱) - مقطع تابلیه بتنی پل دره باسمنج



شکل (۲) - ساخت هر قطعه تابلیه و نصب به کمک عملیات پیش‌رانی

می‌شود. معمولاً بتن ریزی قطعات در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول فقط بتن کف اجرا می‌گردد و پس از پایان بتن ریزی کف قطعه و خشک شدن بتن این قسمت قالب داخل بر روی بتن کف مستقر شده و با استفاده از مفاصل موجود بر روی آن در محل خود محکم و رگلاژ می‌شود. پس از خاتمه قالب بندی داخل قطعه بتن ریزی سقف و دیواره آن نیز صورت می‌گیرد. پس از رسیدن مقاومت بتن به حد مورد نیاز کابل‌های قطعه نصب و کشیده می‌شوند در هنگام کشش کشش کابلها باید کلیه شرایط و ضوابط عملیات تنیدگی رعایت



شکل (۳) - بستن شبکه آرماتور قطعات تابلیه بر روی شاسی‌های مخصوص

کلی می‌شوند. بدین ترتیب که در پایه‌ها کوتاه‌تر در طرح نئوپرن‌ها لغزش در جهت طولی آزاد و تنها در جهت عرضی محدود شده است ولی در پایه‌های بلند این پل از نئوپرن‌هایی که در هر دو جهت طولی و عرضی دارای محدودیت لغزش هستند استفاده شده است.

با توجه به ویژگی‌های خاص پل بزرگ دره باسمنج اعم از ویژگی‌های ساختگاه، مقادیر نیروهای وارده و دیگر جزئیات مربوط به پایه‌ها، برای استهلاک انرژی نیروهای جانبی وارده اعم از نیروهای حین اجرای تابلیه، نیروهای باد و زلزله، از مستهلک‌کننده‌های انرژی (دمپر) استفاده شده است. بدین ترتیب که همانند شکل برای هر پایه از دو دمپر عرضی استفاده می‌شود. براساس نتایج تحلیل‌ها مشخصات دمپرهای مورد استفاده بدین شکل است که ظرفیت باربری آنها  $2250 \text{ kN}$  با سختی ظرفیت  $5000 \text{ kN/m}$  و ضریب استهلاک  $500 \text{ kN/(m/s)}$  انرژی می‌باشد.

### طرح تابلیه:

با توجه به ویژگی‌های پل دره باسمنج به لحاظ طول کلی و ارتفاع بلند پایه‌ها و ارزیابی‌های اولیه روش‌های مختلفی برای اجرای تابلیه پل دره‌ای مرسوم است مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد در نهایت از میان گزینه‌هایی که برای عبور از دره مذکور مناسب تشخیص داده شد اجرای تابلیه به کمک سیستم پیش‌رانی (Pushing) انتخاب گردید. بر این اساس مقطع تابلیه پل مذکور به صورت باکس بتنی پس کشیده طراحی شده است که در شکل (۱) هندسه مقطع تابلیه نشان داده شده است.

اجرای تابلیه به کمک سیستم Pushing بدین شکل خواهد بود که بعد از ساخت چند پایه و همزمان با ساخت دیگر پایه‌ها مراحل ساخت تابلیه انجام می‌شود. هر دهانه عرشه باسمنج از دو قطعه (segment) تشکیل شده که در مجموع کل تابلیه ۴۰ قطعه خواهد بود پس از ساخت هر قطعه و پس تنیدگی کابل‌ها به کمک عملیات پیش‌رانی قطعه به محل خود هل داده می‌شود (شکل ۲).

مراحل ساخت هر قطعه اینگونه است که ابتدا قالب پیرامونی در محل مفاصل نصب شده و شبکه آرماتور قطعه در محل خود قرار داده شده و قالب محکم می‌شود. شبکه میلگرد هر یک از قطعات بر روی شاسی‌های مخصوص آماده شده و سپس در محل‌های معین خود قرار داده می‌شوند. پس از نصب شبکه میلگرد و قالب پیرامونی نوبت به نصب غلاف‌های پس تنیدگی می‌رسد. در این مرحله غلاف‌های مخصوص پس تنیدگی بر روی شبکه سوار و محکم می‌شوند. غلاف‌ها معمولاً در طول‌های ۴ تا ۸ متری ساخته می‌شوند این قطعات باید به وسیله کوپلرهای مخصوص به هم بسته شوند. در محل اتصال دو قطعه باید بسیار دقت شود تا غلاف‌ها کاملاً نفوذ ناپذیر باشد تا هنگام بتن ریزی بتن به درون غلاف‌ها نفوذ نکند. سپس بتن ریزی قطعه انجام





شکل (۴) - تعبیه غلاف‌های پس تیدگی در محل‌های معین

گردد. پس از خاتمه این مرحله تولید قطعه خاتمه یافته عملیات پیش‌رانی قطعه با نصب کابل‌های کشنده، صفحات لغزنده و دیگر تمهیدات لازم انجام می‌پذیرد.

### تونل شیپلی:

تونل شیپلی به طول ۲۸۰۰ متر در فاصله کیلومتر ۷۰۰+۱۴۷ تا کیلومتر ۵۰۰+۱۵۰ از قطعه ۸- الف راه‌آهن میانه - بستان آباد - تبریز پیش‌بینی شده است. تونل مذکور از گردنه معروف شیپلی، واقع در منتهی‌الیه دامنه شمالی کوهستان سهند عبور می‌کند.

این تونل با حداکثر عرض دهانه ۱۰/۴۵ متر و حداکثر ارتفاع ۷/۷۲ متر (از روی ریل تا سقف) جهت عبور راه‌آهن دو خطه در نظر گرفته شده است. محور تونل مستقیم و با امتداد تقریبی شرقی - غربی است. با توجه به برفگیر بودن منطقه در هر دو محل ورودی و خروجی تونل، گالری پیش‌بینی شده است.

گردنه شیپلی، ساخت تپه ماهوری مرتفع داشته و حداکثر شیب دامنه‌ها در محل تونل در حدود ۴۵° است. تونل از زیر چند رشته آبراهه فصلی نیمه عمیق عبور می‌نماید.

تونل شیپلی در طولی برابر با ۳۰۰ متر در داخل توده‌ای نسبتاً سست قرار می‌گیرد. این توده عمدتاً از جنس ماسه لای‌دار با چسبندگی متغیر می‌باشد. نفوذپذیری این خاک‌ها در مجموع نسبتاً زیاد بوده و آب‌های نفوذی ناشی از ذوب برف در دامنه شمالی سهند که به سمت برکه بزرگی واقع در نزدیکی شمال ترانشه ورودی تونل زهکشی می‌شوند می‌توانند جریان آب قابل ملاحظه‌ای را به داخل فضای حفاری تونل به وجود بیاورند.

مطالعات زمین‌شناسی مهندسی تونل شیپلی براساس پیمایش صحرائی و درزه‌نگاری و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه انجام گرفته است. در تفسیر نتایج این برداشت‌ها، به منظور تعیین طبقه‌بندی توده‌های سنگی واقع در مسیر تونل، تعیین نواحی طراحی و نیز انتخاب پارامترهای ژئوتکنیکی جهت طراحی پوشش‌های اولیه و نهایی تعداد

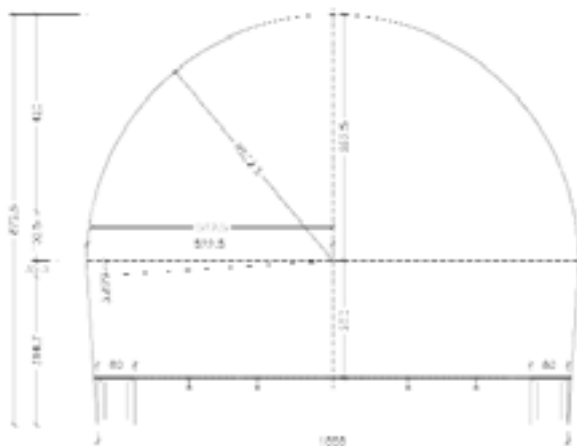
۱۲ گمانه اکتشافی و طول مسیر حفر شده است. آبدار بودن زمین، سست و ریزشی بودن رسوبات آذرآواری، تکتونیزه بودن شدید و خرد بودن برخی از لایه‌های سنگی و همچنین عرض نسبتاً زیاد دهانه تونل از جمله مسائلی بود که طراحان این تونل را با مشکلات فراوانی را روبرو می‌ساخت.

با توجه به جمیع مشکلات فوق‌الذکر و براساس مطالعات انجام گرفته، حفاری و پوشش اولیه تونل شیپلی بر مبنای روش N.A.T.M و به صورت مرحله‌ای طراحی شده است. بدین ترتیب که نیمه فوقانی تونل در یک و یا در صورت لزوم در دو مرحله حفاری شده و پوشش اولیه آن اجرا می‌شود. پس از این که حفاری نیمه فوقانی، از دو جبهه ورودی و خروجی به یکدیگر رسید مجدداً از دو جبهه، اجرای پوشش نهایی نیمه فوقانی و با فاصله‌ای از آن، حفاری و اجرای پوشش نهایی نیمه تحتانی شروع خواهد شد. حفاری در رسوبات آذرآواری و در واحدهای سنگی ضعیف با استفاده از دستگاه رودهدر و در واحدهای سنگی سالم‌تر به روش انفجاری انجام خواهد شد.

مدل‌های محاسباتی پوشش‌های موقت و نهایی، با استفاده از نرم افزارهای Plaxis 7.2 و Sap 2000 تهیه شده است. پایداری استاتیکی و لرزه‌ای ترانشه‌های خاکی در محل ورودی به کمک نرم افزار Slide و پایداری استاتیکی و لرزه‌ای ترانشه‌های سنگی در محل خروجی تونل بر مبنای مقادیر امتداد لایه‌بندی‌ها و لرزه‌ها به روش سینماتیکی و به کمک نرم افزار Swedge مورد بررسی قرار گرفته است.

### مشفصات هندسی مقطع تونل و گالری

در شکل (۵) مقطع هندسی تونل شیپلی نشان داده شده است. همانطور که گالری تونل براساس نیازهای حرکت قطار در آن اجبار می‌کند این مقطع در سقف از یک قوس دایره به شعاع ۵/۲۲۵ متر و در کناره‌ها از دیواره مستقیم مایل تشکیل شده است. مایل بودن دیواره دارای مزایا و معایب مخصوص به خود می‌باشد. از نظر سازه‌ای لنگر



شکل (۵) - مقطع هندسی تونل شیپلی

وسط دیواره کاهش یافته و نیروهای داخلی پوشش‌های اولیه و نهایی به سمت نیروهای محوری غالب میل می‌نمایند که مناسب‌ترین وضعیت را برای طراحی به وجود خواهد آورد.

### زهکشی

بررسی پروفیل طولی تونل نشان می‌داد که هم به لحاظ میزان آب نفوذی و هم به دلیل ملاحظات اجرایی لازم بود زهکشی تونل در بخش‌های حفاری زیرزمینی و گالری‌های انتهایی به طور مجزا بررسی شوند.

تونل شیبدی در منطقه‌ای مرطوب و در بعضی موارد با جریان‌های کم حفاری می‌گردد. نفوذ آب به داخل تونل و یا پشت پوشش موقت در حین بهره‌برداری در بیشتر موارد قابل پیش‌بینی است. این امر لزوم طراحی سیستم زهکشی مناسبی را ضروری می‌سازد. براساس این ضرورت مراحل حفاری بدین شکل طراحی شده است که در مقاطع حفاری زهکشی‌هایی در عرض و با فواصل طولی ۲ یا ۳ متری

پیش‌بینی شده که بوسیله آن آب‌های نفوذی پشت پوشش به آبروهای داخلی هدایت خواهند شد. کانال‌های آبروی داخل نیز در هر دو سمت تونل و به صورت پیش‌ساخته و پس از تکمیل پوشش نهایی تونل و بر روی پاشنه نهایی اجرا می‌گردد.

### روش حفاری تونل

تونل شیبدی با طولی در حدود ۳ کیلومتر عموماً در سنگ‌های متوسط تا ضعیف و کم مقاومت حفاری و ساخته می‌شود. در طولی حدود ۶۰۰ متر از بخش ورودی نیز حفاری

در رسوبات آذرآواری صورت می‌پذیرد که با توجه به جنس متناوب زمین و خصوصیات زمین‌شناسی مورد اشاره، حفاری در بخش‌هایی به صورت انفجاری و در قسمت‌های دیگر به صورت رودهدری انجام می‌شود.

به دلیل ابعاد قابل توجه مقطع تونل شیبدی و با توجه به خصوصیات ضعیف توده سنگی یا خاکی، روش حفاری چند مرحله‌ای برای این تونل در نظر گرفته شده است. از بین انواع روش‌های حفاری چند مرحله‌ای که معمولاً با توجه به ابعاد مقطع، شرایط زمین و امکانات اجرایی انتخاب می‌گردند در ناحیه خاکی روش اجرای پنج مرحله‌ای و در محدوده سنگی اجرای دو مرحله‌ای پیش‌بینی گردیده که جزئیات روش‌های حفاری پیشنهادی در نقشه‌های اجرایی در نظر گرفته و ارائه شده است.

با توجه به طول قابل توجه تونل شیبدی و به منظور سهولت و تسریع در انجام کار، حفاری تونل از دو دهانه به طور همزمان انجام خواهد

شد. به دلیل ارتفاع قابل ملاحظه مقطع، ابتدا قسمت فوقانی تونل تا ارتفاع حدود ۵ متر در تمام طول تونل حفاری شده، سپس قسمت تحتانی حفاری می‌گردد. بتن ریزی جداره تونل در محدوده خاکی در دو مرحله فوقانی - تحتانی و در نواحی سنگی با مقطع کامل انجام می‌شود. مراحل بتن ریزی به ترتیب شامل پاشنه، دیواره طرفین و در نهایت سقف می‌باشد.

انتخاب حفاری مقطع تونل در دو قسمت، به صورت فوقانی و تحتانی با توجه به ملاحظات فنی و هندسی مقطع تونل انتخاب گردید که در انتخاب این روش ملاحظات زیر نیز در نظر گرفته شده است.

- سهولت دسترسی کارگران به سقف تونل برای حفاظت سقف تونل
- سهولت تهویه هوای تونل
- بدست آوردن کف تونل بطور مسطح برای رفت و آمد ماشین‌آلات حفاری و حمل خاک در تونل
- صرفه جویی در هزینه عملیات حفاری قسمت تحتانی به دلیل ساده‌تر بودن حفاری قسمت تحتانی تونل به طور

همزمان در محل‌های مختلف مسیر تونل.

یکی دیگر از مسائل مهم قبل از شروع حفاری تونل، محافظت سر دهانه‌های ورودی و خروجی تونل می‌باشد. بدین منظور ابتدا ۳ تا ۴ قاب فلزی به فاصله یک متری از یکدیگر نصب می‌شوند. این قاب‌ها تا نقطه برخورد به تاج تونل در جبهه حفاری ادامه می‌یابند و سپس مش‌بندی و شاتکریت می‌گردند و پس از آن حفاری دهانه تونل آغاز می‌شود.

### راه آهن میانه - بستان آباد - تبریز

به طول ۱۸۳ کیلومتر فاصله

بین تهران تا تبریز را

از نظر مسافت ۱۱۴ کیلومتر و

از نظر زمان ۵/۵ ساعت

کاهش می‌دهد

### مطالعات انجام پذیرفته

با توجه به اهمیت تونل شیبدی به سبب طول زیاد و ابعاد مقطع عرضی آن و دیگر مسائلی که پیشتر برشمردیم مطالعات جامعی برای تحلیل و طراحی تونل مذکور انجام گرفته است. از مهمترین بخش‌های مطالعاتی این تونل می‌توان به تحلیل و طراحی پوشش اولیه و نهایی تونل، مطالعه پایداری ترانشه‌های ورودی و خروجی شامل تحلیل محیط‌های پیوسته و ناپیوسته، تحلیل سینماتیکی و تحلیل پایداری به کمک کنترل لغزش صفحه‌ای، گوه‌ای و کنترل واژگونی اشاره داشت. یکی دیگر از مراحل طراحی تونل شیبدی طراحی پرتال‌های ورودی آن است که به دقت انجام گرفته است.

در بخش طراحی پوشش‌های تونل شیبدی براساس آیین‌نامه‌های معمول، پوشش اولیه در مقابل بار زلزله طراحی نشده است و فرض بر این است که نیروهای ناشی از زلزله توسط پوشش نهایی تحمل می‌گردد. روش محاسباتی به کار رفته روش نرمی می‌باشد. در این روش





اعوجاج مقطع در اثر عبور موج زلزله برحسب مشخصات زلزله قابل وقوع و همچنین مشخصات توده اطراف تونل، بدست آمده و این جابه‌جایی به سازه پوشش اعمال می‌گردد.

با توجه به عدم دقت پارامترهای ژئوتکنیکی به کار گرفته شده در تحلیل‌ها هر چند براساس بهترین دانسته‌های زمین‌شناسی مهندسی و انجام آزمایشات ژئوتکنیک به‌دست آمده‌اند، مدل اندازه‌گیری‌ها، طراحی پوشش در زمان اجرای تونل تدقیق می‌گردد. این روش طراحی که از مبنای روش N.A.T.M می‌باشد امروزه در صنعت تونل‌سازی در جهان بسیار معمول بوده و الگوهای تغییر طراحی در حین اجرا به روش‌های مختلف گردش کار به اجرا درمی‌آید. در میان جزئیات بی‌شمار با توجه به اهمیت به کارگیری الگوهای جدید تونل‌سازی، در ادامه فاز مطالعات ابزار دقیق و رفتار سنجی در حین اجرای پوشش اولیه تونل شبیلی مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرد.

### ابزار دقیق و رفتار سنجی در مین اجرای پوشش اولیه

پوشش اولیه تونل شبیلی براساس روش نوین تونل‌سازی اتریشی (N.A.T.M) طراحی شده است. در این روش، در فاصله زمانی محدودی پس از هر گام حفاری، پوششی مربوط به این گام شامل یک یا ترکیبی از عناصر شاتکریت شبکه آرماتور، قاب فلزی یا خرپای فولادی ساخته شده و سپس گام حفاری بعد انجام می‌گیرد. این پوشش مانند پوسته قابل انعطافی است که با پیش‌روی جبهه حفاری و افزایش تنش‌های شعاعی به راحتی تغییرشکل می‌دهد. در اثر این تغییر شکل

توزیع تنش در بین پوششی و توده زمین یکنواخت تر شده و در جهتی تغییر می‌کند که ضمن جلوگیری از بروز پدیده «جریان آزاد خمیری» در توده زمین، اضافه تنش ناشی از تغییر هندسه و حذف بخشی از زمین، عمدتاً توسط توده زمین اطراف پوششی تحمل گردد.

نیروهای داخلی پوششی تونل که با دور شدن جبهه حفاری به تدریج در آن ایجاد می‌شود تابعی است از سختی و مقاومت زمینی همچنین تنش‌های برجا در توده زمین، تنش‌های ناشی از حضور آب، طول گام حفاری، فاصله زمانی بین حفاری و ساخت پوشش و بالاخره سختی خود پوشش.

با توجه به عدم امکان شناسایی دقیق شرایط ژئوتکنیکی زمین در سرتاسر طول تونل و نیز تأثیر شرایط واقعی اجرای بر روی نیروهای داخلی پوششی، لازم است که همزمان با پیشروی جبهه حفاری کفایت سازه کنترل شده و نیز حتی المقدور از اجرای پوشش بیش از حد محافظه کارانه و غیر اقتصادی اجتناب شود که همگی این نکات در طراحی و اجرای تونل شبیلی مورد اهتمام است.

مهمترین پارامترهای مورد سنجش در تونل‌های بین شهری و ابزار متداول در این زمینه عبارتند از:

- همگرایی پوشش تونل: با نصب میله‌های مخصوص در نقاط مختلف یک مقطع و اندازه‌گیری تغییر فواصل بین آنها به کمک دستگاه تقارب سنج.

- جابه‌جایی یک یا چند نقطه از پوشش نسبت به مرجع ثابت به وسیله ترازیابی.

- تغییرات فشار آب حفره‌ای به وسیله نصب پینرومتر

- کنترل فشار وارد بر پوشش از سوی خاک پیرامون به کمک نصب سلول فشار سنج شعاعی در فصل مشترک پوشش و زمین پیرامون آن.

- فشار محوری ایجاد شده در سازه پوششی به کمک نصب سلول فشار سنج مماس در داخل مقطع سازه

- تنش‌های فشاری و کششی ایجاد شده در سازه پوشش به کمک نصب کرنش سنج بر سازه

- تغییر مکان زمین اطراف تونل با حفر چال

از داخل تونل و نصب انبساط سنج میله‌ای

در پروژه تونل شبیلی همگرایی سنجی به

عنوان مناسب‌ترین روش کنترل کفایت

پوشش اولیه و ایمنی فضاهای حفاری در

نظر گرفته می‌شود. این اندازه‌گیری هم از

لحاظ کنترل و ارزیابی ایمنی عملیات

اجرائی و هم از لحاظ تکمیل داده‌های مورد

نیاز برای کنترل و اصلاح مدل محاسباتی

پروژه حائز اهمیت است.

با به کارگیری کنترل همگرایی تونل در

پروژه شبیلی اهداف زیر قابل وصول خواهد بود:

- برقراری یک سیستم هشدار دهنده که پیشاپیش وضعیت‌های غیر عادی و خطرناکی را که سازه نگهدارنده را تهدید می‌کنند به اطلاع مسئولین اجرایی می‌رساند.

- مشخص کردن زمان حصول پایداری تغییر شکل‌ها و برقراری تعادل، این حالت مناسب‌ترین وضعیت برای اجرای پوشش نهایی است.

- ارزیابی کلی رفتار توده زمینی و برآورد کیفی توزیع فشار وارد بر

پوشش نگهدارنده در مراحل مختلف اجرای تونل و پس از آن

- تکمیل داده‌های حاصل از سایر اندازه‌گیری‌ها و نیز آزمون‌های

ژئوتکنیکی جهت کاربرد در تحلیل اندرکنش خاک- سازه

نگهدارنده تونل. این تحلیل به منظور کنترل فرضیات طرح و ارزیابی

کفایت طرح‌های نو و ابتکاری در جهت بهینه‌سازی طرح و اجرا و

صرفه‌جویی در هزینه‌ها انجام می‌شود.

دقت نهایی مورد نیاز برای انجام این اندازه‌گیری‌ها ۰/۱ تا ۰/۲

میلیمتر خواهد بود.

## پل با سمنج به طول ۱۰۰۰ متر با حفظ فضای سبز و طبیعت منطقه، طرح مشترکی از مشاور Eipsa و مهندسین مشاور رهاب می‌باشد