

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده : پردیس خوارزمی

گروه : معدن

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه:

طرح لاینینگ تک پوسته ای تونل به صورت موردی سد بختیاری

دانشجو :

آرمان ناظری

استاد / اساتید راهنما :

دکتر فرهنگ سرشکی

شهریور ۹۵



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۲۰۹۳
تاریخ: ۲۴، ۷، ۱۳۹۳
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای ارمان ناظری به شماره دانشجویی ۹۲۴۵۵۰۴ رشته معدن گرایش استخراج تحت عنوان طرح لاینپینگ تک پوسته ای تونل به صورت موردی سدر بختیاری که در تاریخ ۹۵/۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه ممتاز) امتیاز: ۱۴	☐ دفاع مجدد	☐ مردود
---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

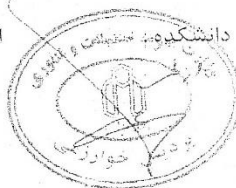
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- سره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- اساتذ ارشد	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عباس نژاد		
۴- استاد محسن	دکتر محمد عطایی	استاد	
۵- استاد محسن	دکتر رضا خالوکاکی	استاد	

رئیس دانشکده: امضاء



تقدیم به:

پدر و مادر عزیز و بزرگوارم که علیرغم تحمل سختی ها و دشواری های فراوان مسیر پر پیچ و خم مسیر دانش و معرفت را برایم هموار نمودند و از دعای خیرشان بی نصیب نبوده ام.

سپاسگزاری:

با تجلیل و قدردانی از مقام

ریاست محترم دانشکده

اساتید محترم دانشکده

استاد ارجمند دکتر فرهنگ سرشکی

و تشکر از محبت بی دریغ دوستانی که مرا در پیمودن این راه یاری دادند.

تعهد نامه

اینجانب آرمان ناظری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معدن-استخراج دانشکده آموزش های الکترونیکی و پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود تحت راهنمایی جناب آقای دکتر فرهنگ سرشکی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

۹۵/۷/۲۳

آرمان ناظری

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

امروزه در صنعت لزوم استفاده از عوامل و عناصر جدید به یک امر ضروری و اجتناب ناپذیر مبدل شده و دانش تونل سازی هم از این قاعده مستثنی نبوده است. در این طرح سعی شده تا با گوشه ای از این فن آوری آشنا شویم. از مهمترین نتایج و مزیت های روش بتن الیافی نسبت به بتن مسلح به آرماتور فلزی را می توان به عدم خوردگی فلزات در بتن ها و بالا رفتن مقاومت بتن تا $\frac{1}{3}$ برابر از بتن معمولی همچنین کوتاه شدن عملیات اجرایی در بن ریزی و کم شدن هزینه اجرایی در طرح مربوطه و هزینه های بالاسری در مدت زمان کوتاه تر و حذف مواردی همچون قالبهای لغزنده ولایه های آب بندی در تونلها و سازه های زیر زمینی اشاره کرد. در کشورمان برای اولین بار و در سال ۱۳۸۳ در تونل های راه آهن سراسری مشهد بافق و در تونل خماری به طول ۱۳۰۰ متر این طرح توسط دستگاه شاکریت تر اجرا شد. در ادامه سعی شد تا با جایگزینی مواد ریز دانه تر به جای مواد ماکرو و حذف دستگاه شاکریت تر به دلایل عدم در دسترس بودن و قیمت بالا به جایگزینی دستگاه شاکریت خشک روی آورده که در پروژه مسیر راه دسترسی به سد بختیاری روش جدید اجرا شد. در این پایان نامه به بررسی روشهای محاسبه و ارزیابی ظرفیت بتن الیافی و مقایسه آن با ظرفیت باربری بتن مسلح به آرماتور پرداخته شده است همچنین بررسی فنی اقتصادی دو حالت در تونل راه دسترسی به سد بختیاری انجام شده است. این مقایسه بعنوان مطالعه توجیهی فنی جهت استفاده از بتن الیافی در پوششهای بتنی سازه های زیر زمینی بجای بتن مسلح با میلگرد فولادی می باشد. مقایسه ظرفیتهای در این پژوهش بر اساس ظرفیتهای خمشی و برشی که بحرانی ترین مولفه ها در طراحی این مقاطع هستند صورت گرفته است. در حالت اندرکنش فشار و خمش بعلاوه عملکرد مناسبتر بتن در فشار نقش تسلیح کمتر بوده و وضعیت بحرانی تر نخواهد بود. بهر حال در طراحی کامل مقطع کلیه اندرکنشها باید لحاظ شوند ولی در مقایسه وضعیتهای در بحرانی ترین حالت ملاک خواهد بود. بخش اول این تحقیقات مربوط به معرفی طرح بخش دوم فصل دوم مکانیزم روش های حفاری و نگهداری در تونل بخش سوم سیستم پیشنهادی طراحی شده توسط 3D پانل بخش چهارم روش طراحی نتایج آزمایشات معتبر ارزیابی

مقاومت بتن الیافی محاسبات و روش های اجرایی طرح به صورت موردی تونل های راه دسترسی به سد بختیاری و بخش پنجم جمع بندی و نتیجه گیری می باشد. درسازه های زیرزمینی اعم از تونل ها، مغازها، شفت ها، سازه های زیر زمینی شهری وسازه های دفاعی پس از انجام عملیات حفاری بایستی به نحو مطلوب موارد حفاظتی و نگهداری رعایت شده تا شاهد بروز کمترین تنشها وهمگرایی ها باشیم. انجام این عملیات شامل دو بخش نگهداری موقت ودائم است که در این پایان نامه سعی شده، تا بیشتر دربخش نگهداری دائم بحث شود.

کلیدواژگان:

لاینینگ، تک پوسته ای، تونل، ۳ دی پنل

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تاریخچه	۵
۳-۱- راهکارهای افزایش سرعت اجرای پوشش	۶
۱-۳-۱- پوشش یا تحکیم اولیه	۷
۲-۳-۱- سیستم زهکشی	۷
۳-۳-۱- اضافه حفاریها	۷
۴-۳-۱- آرماتور بندی	۷
۵-۳-۱- قالب بندی	۷
۶-۳-۱- بتن ریزی و تراکم بتن	۷
۷-۳-۱- سرعت گیرش	۷
۸-۳-۱- آب بندی و درزهای اجرایی و انقباضی و غیره	۷
۹-۳-۱- تزریقهای تماسی	۷
۱۰-۳-۱- تزریقهای تحکیمی	۷
۱۱-۳-۱- طرحهای ترکیبی	۸
۴-۱- مشخصات فنی طرح پیشنهادی	۸
۵-۱- محاسبات ظرفیت مقطع جایگزین (مشخصات مقاطع)	۱۰
۶-۱- ظرفیت خمشی و محوری	۱۱
۷-۱- ظرفیت برشی	۱۱

۱۳	۸-۱- مراحل اجرایی
۱۳	۹-۱- جمع بندی
۱۵	فصل دوم: مکانزیم روش های حفاری و نگهداری در تونل
۱۶	۲-۱- حفر تونل به روش سنتی (آتشباری)
۱۷	۲-۲-۱ حفر تونل به روش موازی
۱۹	۲-۲-۲ حفر تونل به روش غیرموازی (زاویه ای)
۱۹	۲-۲-۳ مزایا و معایب برش موازی و زاویه ای در حفر تونل
۲۰	۲-۳- حفر تونل به روش ماشین حفر تونل (TBM)
۲۰	۲-۳-۱ دستگاههای حفر تمام مقطع باز
۲۰	۲-۳-۲ دستگاههای حفر تمام مقطع تک سپری
۲۱	۲-۳-۳ دستگاههای حفر تمام مقطع سپر تلسکوپی
۲۱	۲-۴- حفر تونل به کمک سپرها
۲۲	۲-۴-۱ سپرهای باز
۲۲	۲-۴-۲ سپر بسته
۲۲	۲-۴-۳ نیم سپرها
۲۲	۲-۵- حفر تونل به وسیله ماشینهای بازویی
۲۳	۲-۵-۱ حفاری به روش پودر کردن
۲۳	۲-۵-۲ حفاری به روش تراشه کردن
۲۳	۲-۵-۳ مزایا و معایب روش
۲۳	۲-۶- احداث تونل به روش کندو پوش
۲۴	۲-۷- روش نوین تونل زنی اتریشی (NATM)
۲۶	۲-۷-۱ اصول کلی NATM :

۲۸	۲-۷-۲ - روش اجرای NATM
۳۱	۲-۸- سیستم نگهداری اولیه متداول تونل در خاک
۳۵	فصل سوم: سیستم پیشنهادی طراحی شده توسط 3D پانل
۳۶	۳-۱- پانل های سه بعدی
۳۸	۳-۲- معرفی 3D پانل و اجزای آن
۳۹	۳-۲-۱ انواع پانل های سه بعدی دیواری
۴۰	۳-۳- موارد استفاده از پانلهای سه بعدی دیواری و سقفی
۴۱	۳-۴- آرایش پانل
۴۱	۳-۵- حمل و نقل ، انبارش و نگهداری پانل
۴۲	۳-۶- مراحل تولید پانل 3D
۴۲	۳-۶-۱ تولید لایه EPS :
۴۴	۳-۶-۲ تولید شبکه مفتولی Wire Mesh :
۴۴	۳-۶-۳ تولید پانل 3D :
۴۴	۳-۶-۴ مراحل کیفیت QC :
۴۴	۳-۷- مزایای استفاده از 3D پانل
۴۸	۳-۸- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در طرح پوشش تک پوسته ای
۴۹	۳-۹- مزیت طرح پیشنهادی
۴۹	۳-۱۰- اجرای پوشش بتنی تونل ها بر اساس اصول NATM
۵۱	۳-۱۱- مقایسه با سیستمهای استاندارد :
۵۲	۳-۱۲- سهولت در اجرا:
۵۲	۳-۱۳- برخی از ایرادات و محدودیت های 3d پانل
	فصل چهارم: محاسبات و روش های اجرایی طرح به صورت موردی تونل های راه دسترسی به سد
۵۵	بختیاری

۵۶	۴-۱- NATM پیشرفته
۵۶	۴-۱-۱- تفاوت بین NATM و NMT
۵۹	۴-۲- تحلیل پایداری:
۶۰	۴-۳- شرایط اجرایی NMT :
۶۱	۴-۴- مشخصات طرح سد و نیروگاه بختیاری
۶۲	۴-۴-۱- اهداف طرح
۶۳	۴-۴-۲- تاریخچه طرح
۶۴	۴-۴-۳- موقعیت جغرافیایی طرح
۶۴	۴-۴-۴- زمین شناسی منطقه سد بختیاری
۶۷	۴-۴- طراحی موردی برای تونل های راه های دسترسی به سد بختیاری:
۶۸	۴-۵- محاسبات ظرفیت مقطع جایگزین
۷۰	۴-۶- مشخصات مقاطع
۷۱	۴-۷- مقاومت خمشی و محوری
۷۳	۴-۸- مقاومت برشی
۷۳	۴-۹- مراحل اجرایی
۷۵	۴-۹-۱- طرح اختلاط بتن روان و شاتکریت پایا
۷۵	۴-۱۰- توصیه ها و پیشنهادات
۷۶	۴-۱۱- کنترل کیفیت ، آزمایشات و پایش و ابزاربندی
۷۶	۴-۱۱-۱- رفتارسنجی و ابزاربندی
۷۷	۴-۱۱-۲- آزمایشات کنترل کیفی
۷۷	۴-۱۱-۳- تست های غیر مخرب بتن
۸۲	۴-۱۱-۴- گزارش تفسیر داده های رفتارنگاری تونلهای راه سد بختیاری

فصل پنجم: جمع بندی	۸۹
۵-۱- تحلیل مشکلات و تاخیرات در تونل های راه دسترسی به سد بختیاری :	۹۰
۵-۱-۱- تحلیل پارتو :	۹۰
۵-۱-۲- شبیه سازی روند اجرای پروژه :	۹۱
۵-۱-۳- فرض های مدل :	۹۳
۵-۱-۴- تحلیل :	۹۶
۵-۱-۵- پیشنهاد برای پوشش تاخیرات :	۹۶
۵-۲- محاسبه اقتصادی طرح دو پوسته ای دو مرحله ای	۹۷
۵-۳- محاسبه اقتصادی طرح تک پوسته ای یک و دو مرحله ای	۹۸
۵-۴- هزینه	۹۸
۵-۶- جمع بندی	۹۸
پیوست	۱۰۰
منابع و مراجع	۱۰۶

فهرست جدول ها

جدول ۳-۱- مشخصات فیزیکی پلی استایرن 43

جدول ۴-۱- مشخصات طرح سد و نیروگاه بختیاری..... 66

جدول ۴-۲- پروژه های مشابه در جهان 70

جدول ۴-۳- طرح اختلاط بتن و شاتکریت استفاده شده [۳۷]..... 75

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱ شکل 3D پانل ۹
- شکل ۲-۱ نمودار اندرکنش سیستم جایگزین تک پوسته..... ۱۲
- شکل ۳-۱ تیپ پوششی تونل..... ۱۴
- شکل ۲-۱- تونل زنی به روش چالزنی و آتشباری..... ۱۷
- شکل ۲-۲- ماشین حفاری بازویی ۲۲
- شکل ۲-۳- تونل راه اصلی پاتاوه - دهدشت ۳۳
- شکل ۲-۴- تقاطع مترو اصفهان کارگاه آزادی- شریعتی ۳۳
- شکل ۲-۵- پرتال ورودی کارگاه L3 مترو تهران - تقاطع فاطمی ولیعصر ۳۴
- شکل ۳-۱- 3D پانل..... ۳۶
- شکل ۳-۲- 3D پانل..... ۳۶
- شکل ۳-۳- 3D پانل..... ۳۷
- شکل ۳-۴- 3D پانل..... ۴۰
- شکل ۳-۵- نصب پانل سه بعدی در راه ترانزیت شمال غرب محور ماکو..... ۴۶
- شکل ۳-۶- تونل های راه آهن اصفهان شیراز ۴۶
- شکل ۳-۷- بررسی نصب پانل در تونل های راه آهن اصفهان شیراز ۴۷

- شکل ۳-۸- اجرای شاتکریت در تونل های راه آهن اصفهان شیراز..... ۴۷
- شکل ۳-۹- مقاومت نهایی 3D پانل..... ۴۸
- شکل ۴-۱- شیت عملیات کرگیری..... ۵۷
- شکل ۴-۲- طبقه بندی توده سنگ براساس سیستم Q..... ۵۸
- شکل ۴-۳- Mapping در تونل..... ۵۹
- شکل ۴-۴- جابجایی در دیواره تونل..... ۶۰
- شکل ۴-۵- شرح روش تونلزنی..... ۶۱
- شکل ۴-۶- تیپ نهایی تحکیمات در سنگ های نسبتاً خوب..... ۶۷
- شکل ۴-۷- تیپ تحکیمات در سنگ های ضعیف..... ۶۷
- شکل ۴-۸- قیمت های نهایی اعلام شده برای عملیات 3D پانل..... ۶۸
- شکل ۴-۹- سطح مقطع..... ۶۹
- شکل ۴-۱۰- مزایای کلی سیستم تک پوسته ای..... ۶۹
- شکل ۴-۱۱- جزییات پوشش اولیه..... ۷۱
- شکل ۴-۱۲- نمودارهای نهایی بارهای هم منحنی [۳۴]..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳- چکش اشمیت جهت اندازه گیری مقاومت..... ۷۸
- شکل ۴-۱۴- دستگاه شناسایی خوردگی و زنگ زدگی آرماتور بتن..... ۷۸

- شکل ۴- ۱۵- دستگاه اندازه گیری حفرات بتن ۷۹
- شکل ۴- ۱۶- دستگاه اندازه گیری ضخامت بتن روی آرماتور ۸۰
- شکل ۴- ۱۷- مقاومت سنج الکتریکی ۸۰
- شکل ۴- ۱۸- دستگاه تعیین مشخصات ترک شامل عرض، عمق، و مسیر آن تعیین محل حفره ها در داخل بتن تعیین ضریب پواسون مدول الاستیسیته ۸۱
- شکل ۴- ۱۹- مقاومت کششی بتن با استفاده از دستگاه PULL OUT و PULL OFF ۸۱
- شکل ۴- ۲۰- کشیدگی سنج سه نقطه ای ۸۳
- شکل ۴- ۲۱- متر همگرایی سنج ۸۳
- شکل ۴- ۲۲- برداشت زمین شناسی ۸۴
- شکل ۴- ۲۳- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها ۸۴
- شکل ۴- ۲۴- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها ۸۵
- شکل ۴- ۲۵- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها ۸۶
- شکل ۴- ۲۶- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها ۸۷
- شکل ۴- ۲۷- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها ۸۸
- شکل ۵- ۱- دیاگرام شماتیک تعریف مدل تاخیر ۹۲
- شکل ۵- ۲- دیاگرام های تولید شده برای شبیه سازی ۹۳

شکل ۵-۳- فعالیت مش بندی..... ۹۴

شکل ۵-۴- فعالیت مش بندی..... ۹۴

شکل ۵-۵- فعالیت حقاری ۹۵

شکل ۵-۶- فعالیت شاتگریت..... ۹۵

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

استفاده از سیستم های 3D پانل سبک سه بعدی در صنعت کشور به نحو فزاینده ای رو به گسترش است . این روش ساخت و ساز هم به عنوان اعضای باربر در سازه ها با عملکرد جعبه ای و هم به عنوان دیوارهای غیر باربر مورد استفاده قرار می گیرد .نگاهی به ادبیات فنی در سطح جهانی دلالت بر مدارک فنی مختلف دارد که از طرف تولیدکنندگان این سیستم ها تهیه شده و در اختیار کاربران قرار گرفته است . در ایران نیز از سوی برخی سازندگان پانل های سه بعدی نظیر شرکت سازه های پیش ساخته سبک اقدام به تهیه گزارش های فنی و مشخصات مصالح تولیدی شده و مطالعات آزمایشگاهی در برخی دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی روی مدل های ساخته شده با سیستم پانلی در مقیاس های مختلف به انجام رسیده که در ارتقاء و توسعه این صنعت جدید موثر بوده است .

به لحاظ گسترش استفاده از این سیستم ها در بحث تحکیمات و نگهداری سازه و نیاز به وجود راهنمایی برای طراحی و اجرای این سیستم ،از طرف سازمان ملی زمین و مسکن مجموعه ای به منظور آشنایی با این روش تهیه شد تا در کوتاه مدت بتواند مدارک فنی قابل اعتبار را تا حدودی رفع نماید .وجود تقاضا دراستفاده از این سیستم به خصوص در طرح های عمرانی کشور سبب شد تا دفتر امور فنی تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله به لحاظ مسئولیت قانونی در پروژه های عمرانی نسبت به تهیه دستورالعملی که در بردارنده ضوابط طراحی و مشخصات فنی اجرایی آن باشد اقدام نماید.

به کارگیری بتن به عنوان یک ماده اصلی در سیستم نگهداری ، نیاز به قالب بندی ،داربست و اختصاص زمان برای گیرش ،عمل آوری و مقاوم شدن آن دارد. از این رو ، از مدتها قبل ، ساخت قطعات بتنی پیش ساخته مورد توجه قرار گرفت و پیشرفتهای چشمگیری به لحاظ ارائه انواع سیستم های پیش ساخته حاصل شد .ایراد اصلی استفاده از قطعات پیش ساخته بتن مسلح ، در درجه اول ، نحوه اتصال قطعات است که یک

مشکل سازه ای است، و در درجه دوم حمل قطعات از کارخانه به محل نصب است که یک مشکل اقتصادی محسوب می شود. مشکل دوم از آنجا ناشی می شود که قطعات بزرگ معمولاً سنگین و حجیم هستند، لذا هزینه و زمان حمل آنها قابل ملاحظه است. به همین دلیل سعی شده است تا حجم یا وزن و یا زمان حمل قطعات تا حد امکان کاهش یابد.

این سیستم ها به دلیل استفاده از فناوری بتن پاشیده بسیاری از مشکلات سازه های بتن آرمه را رفع نموده است. پانل های سه بعدی به دلیل عدم حضور بتن تا قبل از نصب نهایی در ساختار طراحی شده، در محل اجرا دارای وزن کم و سهولت نقل و انتقال می باشند. مهمترین نکته سازه ای در سیستم های پانل های سه بعدی، تکمیل نیازمندی های اتصالات بعد از نصب پانل ها در محل و قبل از بتن پاشی آنها می باشد که این موضوع موجبات ایجاد ساختاری یکپارچه با اتصالات همگون و مطمئن را فراهم می آورد.

در دهه ۸۰ میلادی تحت عنوان (3D sandwich panel) پانل ها ساندویچی) به روش بتن پاشی در پای کار به بازار جهانی معرفی شد و در پروژه های عمرانی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به توضیح است اولین نسل این سیستم در سالهای قبل از انقلاب اسلامی در ایران تولید شد و مورد استفاده قرار گرفت. کشورهای ارائه کننده این سیستم در ابتدا اتریش و ایتالیا بود.

لازم به توضیح است این سیستم، با توجه به ضوابط حاکم در کشورهای نامبرده، در صنعت ساختمان سازی کاربرد چندانی ندارد و محدود به ساخت و ساز محدود ویلایی در خارج از شهرها می شود. در سالهای بعد، ساخت و فروش آن در کشورهایمانند چین، افغانستان، عراق، ترکیه، برزیل، آرژانتین، کلمبیا و ایران گسترش یافت. کشور پهنایران با دارا بودن شرایط اقلیمی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی خاص و بالاخص قرار داشتن اکثر نقاط کشور در کمربند زلزله خیز جهانی و رشد جمعیت کشور و جوان بودن بافت جمعیت ایران، نیاز شدید مسکن های مقاوم و سازه های عمرانی مقام از قبیل پل تونل در برابر زلزله بوده و لازم و واجب است که ما هم از مصالح بهینه شده و سیستم صنعتی تولید در جهت سریع سازی، ارزان سازی و مقاوم سازی استفاده نماییم.

بیش از چهل سال است که استفاده از پانل های سه بعدی در کشورهای صنعتی متداول گردیده و در دهه ۵۰ در ایران نیز مطرح گردید که به دلایلی تا اواسط دهه ۷۰ پیشرفت زیادی نداشته است . اما اخیرا توجه زیادی به آن شده است و وزارت محترم راه و مسکن و شهرسازی هم در سالهای ۸۰ و ۸۱ با انتشار دو جلد دفترچه راهنما با مشخصات فنی پانل های سه بعدی در راه شناساندن آن سعی زیادی نموده است . از آنجا که اعضای باربر سازه پانلی جدا کننده فضاهای معماری نیز می باشند ، استفاده از سایر جداکننده های غیر باربر به حداقل می رسد . همچنین به دلیل ساخت اعضای نیمه پیش ساخته در کار خانه و حمل و نصب سریع آن ، سرعت اجرای کار به نحو قابل توجهی افزایش می یابد . با توجه به تولید صنعتی پانل ها که اسکلت اصلی سیستم پانلی راتشکیل می دهند و همچنین ظرافت هاو نوع ساخت ، این سیستم ها از نوع اجرای صنعتی سازه های عمرانی محسوب می شود .

۱-۲- تاریخچه

سیستم پانل های پیش ساخته ی سه بعدی اولین بار در سال ۱۹۶۷ میلادی توسط شخصی به نام ویکتور وایزمن در ایالت کالیفرنای آمریکا به ثبت رسید .

تاکنون مراکز تحقیقاتی و پژوهشی متعددی در دنیا برای بررسی و شناخت رفتار پانل ها و سازه های پانلی ، تحلیل های عددی متعدد و آزمایش های مکانیکی شامل آزمایش های استاتیکی ، دینامیکی و میز لرزه ان انجام داده اند. سازه های با سیستم پانل سه بعدی از یک تا چهار طبقه در نقاط مختلف دنیا با شرایط آب و هوایی گوناگون ساخته شده اند.

زمینه سازی برای تولید سازه های پانل سه بعدی در ایران از سالهای اول دهه ۷۰ آغاز شد، شرکتهای معدودی سعی داشتند بدون استفاده از دانش فنی تولید کنندگان خارجی تولید این فناوری را بومی نمایند . در این راستا با ایجاد مراکز تحقیق و توسعه و با استفاده از توان علمی موسسات تحقیقاتی و علمی کشور، مدارک و دانش فنی این فناوری به تدریج به دست آمد .در این زمینه برای شناخت بهتر اجزای پانل آزمایشهای پایه در شبکه جوش شده و بتن پاشیده نظیر :برآید تولید ،مقاومت کششی مفتول ،مقاومت برشی جوش ،طرح اختلات بتن پاشیده ،ماشین آلات مناسب بتن پاشی ،مدول الاستیسه بتن پاشیده و استخراج ضرایب اصلاحی ،تعیین مقاومت فشاری بتن پاشیده به انجام رسید.

از نمونه آزمایشهایی که برای ارزیابی عملکرد این سیستم ها در ایران به انجام رسید می توان به آزمایشهای استاتیکی برش، خمش،فشار، برش بین لایه ای و تاثیر هسته عایق و برشگیرها بر عملکرد خمشی خارج از صفحه پانل، آزمایش های دینامیکی برشی، انواع اتصالات دیوار به دیوار، دیوار به سقف، بازشوها و آزمایش های سازه های پانل سه بعدی نظیر آزمایش بارگذاری ثقلی ، آزمایش ارتعاشات محیطی، آزمایش میز لرزان برای ساختمانهای یک طبقه کامل پانلی و چهار طبقه مدل سازی شده اشاره نمود.

امروزه روشهای مختلفی جهت نگهداری انواع تونل وجود دارد. شرایط مختلفی همانند زمین شناسی، نوع کاربری، سطح مقطع و میزان پیشروی تونل، به همراه میزان سرمایه مورد نیاز و مدت انجام پروژه و از همه مهمتر خصوصیات سنگ در انتخاب روش تاثیر گذار است.

در این قسمت به بررسی طرح جایگزین پوشش تک پوسته ای بتن مسلح تونل برای تسريع در عملیات اجرایی و افزایش دوام و بهبود سایر خواص پوشش پرداخته شده است. ابتدا روشها و راهکارهای افزایش سرعت اجرای پوشش مطرح شده و مزایا و معایب سیستمهای پوشش اولیه متداول بررسی می شوند. سپس سیستم جایگزین برای حذف یا کاهش معایب و افزایش بهره وری طرح ارائه شده و محاسبات معادل سازی مقطع جایگزین پیشنهادی ارائه می گردند.

۱-۳- راهکارهای افزایش سرعت اجرای پوشش

برای بررسی راهکارهای افزایش سرعت اجرای پوشش تونل می باید مولفه های اصلی طرح های بتن مسلح متداول را مورد بررسی قرار داد تا با بهینه سازی یا جایگزینی هر یک بتوان نسبت به تسهیل در اجرا و افزایش سرعت دست پیدا نمود. مولفه های اصلی اجرایی پوشش تونل عبارتند از :

۱-۳-۱- پوشش یا تحکیم اولیه: با تبدیل سیستم دو پوسته ای به تک پوسته ای می توان علاوه بر افزایش سرعت، هزینه های طرح را نیز کاهش داد چرا که این سیستم باعث کاهش حجم پوشش نهایی میشود.

۱-۳-۲- سیستم زهکشی: با استفاده از سیستم زهکشی مناسب می توان بارهای وارده ناشی از فشار آب را بر تونل کاهش داده و طرح اقتصادی تر و احجام اجرایی کمتر و در نتیجه سرعت بیشتری بدست آورد.

۱-۳-۳- اضافه حفاریها: روش و طرح حفاری یا انفجاری مناسب با شرایط سنگ یا خاک می تواند اضافه حفاریها را به حداقل برساند. پرکردن موارد باقیمانده میباید در طرح پوشش اولیه یا نهایی دیده شود در صورت استفاده از بتن پاشی بعنوان پوشش نهایی نیازی به پر کردن تمام اضافه حفاریها نخواهد بود.

۱-۳-۴- آرماتور بندی: با استفاده از بتن الیافی یا بتن پاشی الیافی می توان نسبت به حذف تمام یا قسمت عمده آرماتورها اقدام نمود.

۱-۳-۵- قالب بندی: با استفاده از بتن پاشی معمولی یا الیافی بعنوان پوشش نهایی می توان نسبت به حذف قالب بندی اقدام نمود.

۱-۳-۶- بتن ریزی و تراکم بتن: با استفاده از بتن پاشی معمولی یا الیافی بعنوان پوشش نهایی یا بتن خود متراکم می توان نسبت به حذف این عملیات اقدام نمود.

۱-۳-۷- سرعت گیرش: با استفاده از بتن پاشی معمولی یا الیافی بعنوان پوشش نهایی یا افزودنیهای مناسب بتن می توان نسبت به تسریع این عملیات اقدام نمود.

۱-۳-۸- آب بندی و درزهای اجرایی و انقباضی و غیره: با استفاده از بتن پاشی معمولی یا الیافی بعنوان پوشش نهایی و آب بندهای پاشیدنی می توان نسبت به تسریع این عملیات اقدام نمود. همچنین در این حالت تقریباً تمام درزها قابل حذف خواهد بود.

۱-۳-۹- تزریقهای تماسی: با استفاده از بتن پاشی معمولی یا الیافی بعنوان پوشش نهایی می توان نسبت به حذف این عملیات اقدام نمود.

۱-۳-۱۰- تزریقهای تحکیمی: با تنظیم مراحل و فشارهای تزریقهای تحکیمی می توان بار وارده ناشی از این نوع تزریق به پوشش را به حداقل ممکن کاهش داده و احجام پوشش را تا حد ممکن اقتصادی نمود.

۱-۳-۱۱- طرحهای ترکیبی : ترکیبی از طرحهای فوق نیز می تواند بصورت موثری سرعت اجرای پوشش

تونل را افزایش دهد. البته نوع ترکیب بستگی به شرایط طرح و امکانات اجرایی آن خواهد داشت. در تونلهای شهری که اغلب در خاک حفاری می شوند و عمق حفاری آنها نسبتا کم بوده و سربار ناشی از ساختمانها روی آنها زیاد است ، روشهای انتخابی باید قابلیت کنترل مناسب نشستهای سطحی را داشته باشند. بنابراین پوشش اولیه تونل که عمده این وظیفه را بعهدہ دارد باید با توجه به منحنی پایداری حفاری در طول زمان، سختی اولیه مناسب را برای این منظور تامین نماید. این کار در زمینهای سخت با بتن پاشی هم امکان پذیر است ولی در زمینهای معمولی یا نرم و ریزشی، استفاده از فولاد بصورت قاب یا خرپا اجتناب ناپذیر می باشد. برای تونلهای شهری بر اساس موارد فوق راهکارهای ذیل با تمرکز بر سیستم پوشش تونل مناسب به نظر می رسد :

الف) تک پوسته ای کردن پوشش تونل و در نتیجه کاهش حجم عملیات اجرایی و ضخامت پوششها

ب) استفاده از بتن پاشی اصلاح شده پایا و در نتیجه حذف قالب بندی و تزریق تماسی

ج) استفاده از الیاف پلیمری در سیستم بتن درجا و در نتیجه کاهش مصرف میلگرد و افزایش دوام و عمر مفید و قابلیت جذب انرژی سازه و نیز مقاومت در برابر آتش سوزی

د) استفاده از بتن پاشی الیافی پلیمری اصلاح شده پایا بصورت سیستم تک پوسته ای و حصول تمام قابلیتهای موارد بالا. البته در این حالت سطح تمام شده اندکی زیر بوده که با پرداخت نهایی سطحی مشابه بتن درجا قابل حصول خواهد بود. زبری سطح حاصل در این حالت کمی کمتر از بتن معمولی خواهد بود.

ه) استفاده از پانلهای سه بعدی پیش ساخته ضد خوردگی با تقویت موضعی با میلگرد در صورت نیاز بجای ریب، در سیستم بتن پاشی، باعث افزایش سرعت و کیفیت اجرا و مقاومت برشی و کششی پوشش و قابلیت جذب انرژی آن می شود .

۱-۴- مشخصات فنی طرح پیشنهادی

استفاده از پانلهای سه بعدی پیش ساخته ضد خوردگی با تقویت موضعی با میلگرد، باعث افزایش سرعت و کیفیت اجرا و مقاومت برشی و کششی پوشش و قابلیت جذب انرژی آن می شود. این پانلها از

میلگردهای نورد سرد با مقاومت مشخصه جاری شدن ۶۰۰ مگاپاسکال بافته می شوند که در دو قطر ۳ و ۴ میلیمتر با شبکه ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر و میلگردهای مایل عرضی با زاویه ۴۵ درجه می باشند. ضخامت محور به محور پانلها نیز در دو اندازه ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر قابل تهیه است. در صورت نیاز به استفاده از این پانلها بصورت قالب می توان فوم میانی با ضخامت دلخواه نیز در داخل آن تعبیه نمود که پس از بتن پاشی سمت داخل بعنوان یک قالب با ظرفیت باربری بسیار بالا قابل استفاده می باشد. این پانلها بطور کامل ضد خوردگی بوده و بعلت سه بعدی بودن ظرفیت زیادی در کنترل ترک و جذب انرژی دارند. برای افزایش ظرفیت باربری پانلها بصورت بتن پاشی نشده می توان از میلگردهای فولادی به میزان مورد نیاز استفاده نمود که در یک یا دو وجه پانل نصب می شوند. این سیستم بدلیل سه بعدی بودن، انعطاف پذیری، پیوسته بودن و عدم نیاز به هرگونه اتصال عملا تمام معایب سیستمهای قاب و ریب را به مزیت تبدیل می نماید. قابلیت خم کردن دستی و نصب سریع و آسان از مزایای ویژه این پانلها می باشد.



شکل ۱-۱ شکل 3D پانل

مشخصات فنی مصالح مورد نیاز طرح پوشش تک پوسته ای بصورت زیر می باشد. برای تبدیل بتن پاشیده معمولی به بتن پاشیده پایا بطوری که بتواند نقش بتن معمولی را در طول عمر مفید سازه ایفا نماید لازم است موارد زیر در دستور کار قرار گیرد :

الف) پایایی میلگردها و جلوگیری از خوردگی : اضافه نمودن افزودنی MCI جهت پایایی فولادها

ب) کنترل و پیشگیری از ترک خوردگی بتن پاشیده : اضافه نمودن الیاف پلیمری Barchip به میزان متوسط ۱ کیلوگرم در متر مکعب جهت حذف ترک

ج) افزایش چسبندگی به میلگرد و کاهش تخلخل : اضافه نمودن افزودنی Gel-AC به میزان متوسط ۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب جهت تقویت انسجام و دوام

د) افزایش میزان مقاومت الکتریکی محصول نهایی : اجرای لایه غشای مایع آب بند بین دو بخش مربوط به پوشش اولیه و تکمیلی نهایی

ه) آب بندی : استفاده از پانل بافته شده ضد خوردگی کارخانه ای PRP جهت افزایش مقاومت برشی تا ۸۰ درصد و ظرفیت جذب انرژی تا ۲۰۰ درصد در صورت نیاز طرح با انجام اصلاحات فوق بتن پاشیده پایا حاصل شده و مقاومت الکتریکی آن به حد استاندارد بتن با دوام (بین ۱۲ تا ۲۰ کیلو اهم سانتی متر) افزایش می یابد. این مقاومت پس از اجرا و در فواصل زمانی (تا ۳ یا ۵ سال) با دستگاههای NDT قابل کنترل و پایش می باشد.

۱-۵- محاسبات ظرفیت مقطع جایگزین (مشخصات مقاطع)

الف) پوشش اولیه موجود شامل PE180 در فاصله ۳۰ سانتیمتر که فضای بین آنها با بتن پاشی با ضخامت بین ۲۵-۲۰ سانتیمتر و دو لایه شبکه میلگرد حرارتی نمره ۶ بصورت ۱۰*۱۰ سانتیمتر می باشد.

ب) پوشش نهایی موجود شامل بتن مسلح درجا با ضخامت ۳۰ سانتیمتر با دو لایه میلگرد نمره ۱۴ در فاصله ۲۰ سانتیمتر در بالا و پائین در تاج تونل با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال و فولاد AIII و پوشش بتن ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است .

ج) پوشش جایگزین شامل پوشش اولیه ۲۰ سانتیمتر با بتن پاشیده پایا در داخل پانل باضافه ریب بتنی با ۱۵ سانتیمتر بتن پاشیده اصلاح شده با پانل با میلگردها می باشد. بعلاوه شدن میلگردهای پانل با قطر

۳ میلیمتر در فواصل ۱۰ سانتیمتر و با مقاومت جاری شدن ۶۰۰ مگاپاسکال، ظرفیت خمشی و محوری مقطع مقداری افزایش می یابد. مقاومت فشاری بتن پاشیده ۲۰ مگاپاسکال و فولاد AIII و پوشش بتن ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است .

۱-۶- ظرفیت خمشی و محوری

در شکل‌های ۱-۲ منحنی اندرکنش سیستم جایگزین تک پوسته ای نشان داده شده است . حداکثر بارهای وارده ازمقادیر مورد استفاده در طراحی اولیه که در بخش قبل ذکر شدند استفاده شده است . در حالت سیستم موجود بعلت عدم انتقال برش ناشی از خمش بین پروفیل و بتن پاشیده، ظرفیت خمشی آنها با یکدیگر قابل ترکیب نبوده و هر یک بطور جداگانه عملکرد خمشی دارند. لکن بتن پاشیده نقش انتقال بار محوری وانتقال بار از زمین به پروفیل فولادی را ایفا می کند. در هر دو سناریو مطابق شکل ظرفیت سیستم جایگزین در پحالت خمشی و محوری بیشتر بوده و پاسخگوی بارهای وارده می باشد. بعلاوه بعلت اضافه شدن میلگردهای پانل با قطر ۳ میلیمتر در فواصل ۱۰ سانتیمتر و با مقاومت جاری شدن ۶۰۰ مگاپاسکال، ظرفیت خمشی و محوری مقطع افزایش می یابد البته در مجموع ملاک مقایسه منحنی های اندرکنش است که برای بارهای وارده پاسخگو است .حالت کشش خالص هم در پوشش اولیه اتفاق نمی افتد .در حالت بارهای نهایی هم منحنی اندرکنش بصورت زیر است. در این حالت هم ظرفیت نهایی دو مقطع معادل بوده ضمن اینکه ظرفیت خمشی و کششی پوشش جدید بسیار بیشتر است .

۱-۷- ظرفیت برشی

اضافه نمودن پانل جهت تامین ظرفیت برشی اضافی مربوط به خاموتهای پیش بینی شده در طرح می باشد که می تواند در طرح نهایی بسته به نیاز تامین شود. اضافه نمودن خاموت بیشتر بصورت سنجاق در پانل سه بعدی بسیار سریع و آسان و قبل از نصب پانل روی زمین هم قابل انجام است .برای سیستم متشکل از پانل با این توضیح که شبکه خرابایی دارای خاموتهای با قطر ۳ میلیمتر بصورت دوطرفه با زاویه ۴۵ درجه و تنش جاری شدن $f_y = 600 \text{ MPa}$ می باشند , مقاومت معادل مقطع عبارتست از مجموع مقاومت

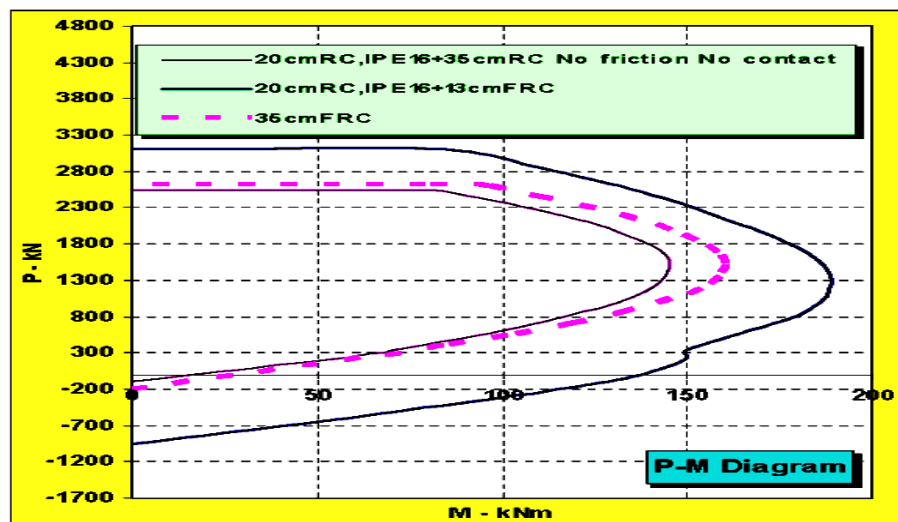
بتن و شبکه خرپایی. با محاسبه ظرفیت پانل بطور مجزا و با فرض عمق موثر ۱۴۰ میلیمتر در جهت اطمینان برای عرض ۱۲۰ سانتیمتر خواهیم داشت

$$A_{v-per-stirrup} = 7.1mm^2$$

$$\phi V_{s-5\text{ hours}} = 1110N / 120cm$$

در پوشش اولیه مقاومت برشی مقطع موجود در عرض ۱۲۰ سانتیمتر با پروفیل‌های IPE180 حدود ۲۲ تن می باشد. برای سیستم جایگزین مجموع مقاومت برشی برای بتن پاشیده در ساعات اولیه که به مقاومت نهایی نرسیده است تقریباً همین مقدار بدست می آید. در پوشش نهایی مقاومت برشی مقطع موجود در عرض ۱۲۰ سانتیمتر ۲۰ تن و مقاومت برشی مقطع تک پوسته ای ۳۵ تن خواهد بود.

در شکل زیر اثر نیروی محوری در معادل سازی مورد بررسی قرار گرفته است. ظرفیت خمشی و برشی پوشش جدید الیافی براحتی ظرفیتهای مورد نیاز را تامین می کند. برای جمع بندی محافظه کارانه ترین جواب از روشهای مختلف در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۱

۸-۱- مراحل اجرایی

پوشش تک پوسته ای در دو مرحله اجرا می شود :

الف) مرحله اول اجرای همان سیستم نگهداری اولیه با جایگزینی قاب و بتن پاشی با پانل با بتن پاشیده اصلاح شده پایا است.

ب) مرحله دوم اجرای ۱۵ سانتیمتر دوم بتن پاشیده پایا با نصب پانل و میلگردهای مورد نیاز روی آن بصورت ریب است . در نهایت هم پرداخت نهایی روی سطح با پاشیدن ملات الیافی ی ا پرداخت دستی در صورت نیاز قابل انجام است. اجرای بخش دوم می تواند با فاصله مناسب از پیشروی حفاری تونل و اجرای تحکیم اولیه صورت پذیرد .

۹-۱- جمع بندی

در مجموع طرح پوشش تک پوسته ای علاوه بر تامین کلیه مشخصات فنی طرح و مقاومتها و ظرفیتهای مورد نیاز دارای مزایای زیر است :

۱-۹-۱ افزایش دوام و عمر مفید سازه تا حداقل ۵ برابر سیستم متداول.

۲-۹-۱ افزایش سرعت اجرا بدلیل حذف عملیات آرماتور بندی، قالب بندی و تزریق تحکیمی و زمان باز کردن قالب و اجرای پوشش آب بند غشایی سنت ، ی تا حداقل ۵ تا ۴ برابر سیستم متداول.

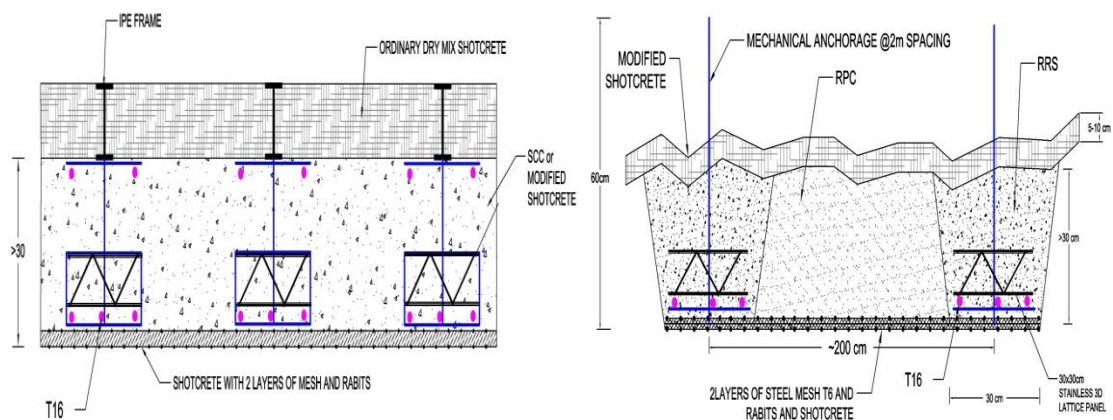
۳-۹-۱ عدم تغییر قابل توجه هزینه های کل مصالح و اجرا.

۴-۹-۱ افزایش تغییر قابل ظرفیت جذب انرژی بدلیل استفاده از الیاف و پانل مخصوص بافته شده سه بعدی و قابلیت تحمل بهتر بارهای فوق العاده مانند انفجار و زلزله و حرکات شدید زمین ، نشست، روانگرایی، جابجایی گسل و غیره نسبت به سیستم متداول .

۵-۹-۱ افزایش تغییر قابل مقاومت در برابر آتش سوزی بدلیل استفاده از الیاف پلیمری مخصوص که در زمان حریق بعنوان فیوز آزاد ساز فشار بخار عمل می کنند نسبت به سیستم متداول.

۶-۹-۱ سیستم پیشنهادی جایگزین بازای هر متر مربع سطح تمام شده کامل پوشش و با احتساب کلیه ضرایب ۱۷۰۰۰۰۰ ریال هزینه طراحی و تامین و اجرا خواهد داشت .

در زیر تیپ پوشش ارائه شده است. توجه شود که میلگردهای فوقانی بر اساس شرایط پوشش اولیه تعبیه می شوند ولی درمجموع نباید از میلگردهای لازم برای مقطع نهایی در لایه بالایی کمتر باشند. از اثر افزایش میلگردهای پائینی ریبها در افزایش مقاومت فشاری و خمشی مقطع در جهت اطمینان صرفنظر شده است .



شکل ۱-۳

فصل دوم

مکانزیم روش های حفاری و

نگهداری در تونل

امروزه روشهای مختلفی جهت حفر انواع تونل وجود دارد. شرایط مختلفی همانند زمین شناسی، نوع کاربری، سطح مقطع و میزان پیشروی تونل، به همراه میزان سرمایه مورد نیاز و مدت انجام پروژه و از همه مهمتر خصوصیات سنگ در انتخاب روش تاثیر گذار است. انواع روش حفر تونل را می توان بصورت زیر بیان نمود:

الف) حفر تونل به روش سنتی یا آتشیاری

ب) حفر تونل به روش ماشین حفاری تونل

ج) حفر تونل به روش ماشین بازویی

د) حفر تونل به روش سپری

ه) حفر تونل به روش کند و پوش

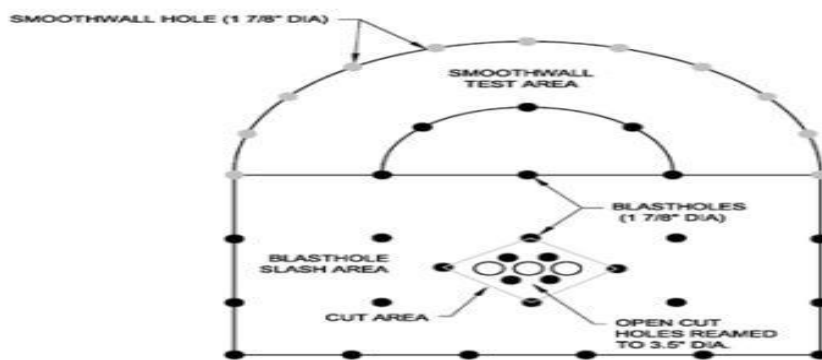
۲-۱- حفر تونل به روش سنتی (آتشیاری)

پیش از پیدایش ماشین های حفار، چالزنی و آتشیاری تنها راه اقتصادی حفر تونل های طویل در سنگ های سخت بود. این روش امروزه هم در پروژه های تونل سازی بکار میروند [۴] - [۱]. جهت بالا بردن راندمان حفر تونل ، در قسمت های میانی جبهه کار تعدادی چال نزدیک بهم و با زوایای خاص به نام چاه

برش حفر میشود. در طرحی نوبت انفجار ابتدا این چالها منفجر شود و یک سطح آزاد برای سایر چال ها فراهم میسازد. چاه های برش به اشکال گوناگونی ایجاد میشوند که بصورت خلاصه در ادامه معرفی میشوند.

۲-۱-۲ حفر تونل به روش موازی

برش های موازی اغلب برای تونل های کوچک مقطع به کار می روند اما میتوان از آنها برای حفر تونل ها با مقطع بزرگ نیز استفاده نمود. در برش موازی یک یا چند چال خالی به صورت افقی و با قطر زیاد (۶۵ تا ۱۷۵ میلیمتر) موازی یکدیگر و عمود بر سینه کار حفر میشود (شکل ۲-۱). سپس در اطراف آنها و به فاصله ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری چال هایی با قطر کم و نزدیک به یکدیگر و با خرج گذاری مناسب ایجاد میشود. چال های قطور بدون خرج گذاری در نقش سطح آزاد برای چال های کوچک عمل میکنند و چال های کوچک با تاخیرهای ۲۰ تا ۳۰ میلی ثانیه آتش میشوند. برش های موازی به اشکال مختلف و تحت نام های متفاوت صورت میگیرند که دارای ویژگی های مشترکی بدین شرح می باشند: چال ها با هم موازی، افقی و عمود بر سینه کار هستند. چال ها به نوبت منفجر میشوند. برخی از چال ها خرج گذاری نمیشوند.



شکل ۲-۱- تونل زنی به روش چالزنی و آتشباری

هنگام کار برش موازی نکات زیر دقیقاً باید رعایت شوند:

الف) آرایش، امتداد و خرج گذاری چال ها مطابق آنچه که مقرر است اجرا گردد،

ب) هر گونه تعدیل نظیر ازدیاد فاصله چال ها و میزان خرج، پیشروی را کاهش میدهد،

ج) آتش کردن چال های هر برش مطابق طرح مربوطه صورت گیرد،

د) در ۶ یا ۸ چال نزدیک به چال خالی نباید خرج فشرده در ته چال بکاربرد.

انواع برش های موازی بر حسب آرایش و ابعاد چال ها به شرح زیر معرفی میگردد.

۱- برش شماره یک یا برش دواسپیرال: بیشترین پیشروی با این نوع برش مقدور است.

۲- برش شماره دو (Taby cut): حالت خاص از روش قبلی بوده و میزان پیشروی آن از شماره یک کمتر است، چال زنی و مکانیزاسیون حفر چال راحت تر است.

۳- برش شماره سه (سه مقطعی، چهارمقطعی): بسیار زیاد استعمال میشود و پیشروی آن بیش از برش شماره دو است.

۴- برش شماره چهار (Fagersta cut): چال های این برش با پرفراتور دستی حفر میشوند.

۵- برش شماره پنج (Coromant cut): شبیه برش دو اسپیرال است.

۶- برش کانادایی (Burn cut): این برش به اشکال مختلفی دیده میشود، در متداول ترین آنها قطر چال خالی و قطر چال انفجاری برابر هستند.

۷- برش شماره هفت (Creater cut): در این برش تغییرات ابعاد چال خطی است اگر قطر، عمق و طول خرج دوبرابر شود، حفره ای با عمق دوبرابر وجود میآید.

۸- برش شماره هشت چال کف (Benching cut)

۲-۲-۲- حفرتونل به روش غیرموازی (زاویه ای)

دربرش غیرموازی حفره ای که درابتدای انفجارو مرکزتونل بوجودمیاید شکل مخروط دارد و نتیجه انفجارچال هایی است که افقی اند، بامتدادتونل موازی نیستندو برسینه کارتونل عمود نمیباشند. این برش را در سطوح مقطع تونل بزرگ بکار میرود زیرا فرچال درامتدادی غیرموازی بامحورتونل مستلزم وجود فضای کافی برای استقراردستگاه چالزنی میباشد.[۱]

۱- برش گوه ای : برای سنگهای متورق و شکاف دارمناسب است .چال ها افقی ومایل با محورتونل حفرمی شوند و دراثرانفجارشکل گوه ای مانند ایجاد می شود

۲- برش بادبزی: برای سنگ های متورق مانند شیل مناسب بوده و بیشترین موارد استعمال این روش در حفظ تاسیسات مثل چوب بست ازاصابت سنگ درنزدیک سینه کاراست .

۳- برش هرمی(مرکزی) : این نوع برش برای حفر تونل درسنگ های سخت بکار می رود. ازمعایب این روش میتوان به مصرف زیاد ماده منفجره ، لرزش زیاد هوا و گردوخاک و نیازبه مهارت بالا جهت حفر چاه اشاره نمود.

۲-۲-۳- مزایا و معایب برش موازی و زاویه ای درحفرتونل

حفرچال موازی ساده تراز چال غیرموازی است،میزان خردایش سنگ درچال موازی بیش از زاویه ای است. درموازی،چال های برش حتما باید موازی یکدیگر و عمود برسینه کار باشد(درغیراین صورت پیشروی کم و طول ته چال زیاد خواهدبود). دربرش زاویه ای بایدانتهای چال بهم نزدیک باشد(درغیراین صورت پیشروی کم میشود).

۲-۳- حفر تونل به روش ماشین حفر تونل (TBM)

با توجه به تنوع شرایط زمین شناسی و ترکیبات خاک و سنگ موجود در مسیر یک تونل بسته به شرایط انواع مختلفی از ماشین حفار تمام مقطع ساخته شده است .

در سال ۱۹۸۰ (ISRM) تعریف انجمن بین المللی مکانیک سنگ [۱۲]-[۷]:

در مورد سنگ سخت ، مقاومت بیش از ۵۰ تا ۱۰۰ مگا پاسکال و در مورد سنگ های نرم کمتر از ۵۰ مگاپاسکال ماشین های حفر تونل در سه گروه عمده زیر دسته بندی می شوند:

الف (دستگاههای حفر تمام مقطع باز ب) دستگاههای حفر تمام مقطع تک سپری ج (دستگاههای حفر تمام مقطع سپر تلسکوپی

۲-۳-۱- دستگاههای حفر تمام مقطع باز

ماشین های مقطع باز در مواردی که توده سنگ درون گیر تونل دارای مقاومت کافی جهت تحمل ریزشی نباشد، بهترین گزینه هستند. این ماشین ها طراحی متفاوتی دارند ولی در کل دو سیستم دوکفشکه و تک کفشکه ، دارای عمومیت بیشتری در میان سازندگان این نوع ماشین ها می باشد.

۲-۳-۲- دستگاههای حفر تمام مقطع تک سپری

این ماشین ها در شرایطی به کار می روند که توسط سنگ درون گیر تونل به قدری سست باشد که امکان استفاده از کفشک برای تامین نیروی پیشروی وجود نداشته باشد. نصب قطعات بتنی در داخل سپر از ریزش دیواره ها جلوگیری کرده ومحیط مناسب برای فعالیت کارگران فراهم می نماید. سرعت پیشروی این ماشین ها در زمین های سست و احياناً ریزشی، محدود به سرعت نصب قطعات بتنی می باشد. ماشین های تک

سپری به صورت استوانه دارای پوشش بوده که در قسمت جلوی آن کله حفاری و در قسمت عقب دستگاه نصب سگمنت و جکهای پیشران قرار گرفته اند [۱۳] - [۱۰] - [۹].

۲-۳-۳- دستگاههای حفر تمام مقطع سپر تلسکوپی

برای اولین بار این نوع ماشین با هدف کار در زمین های با شرایط مناسب به عرصه مهندسی تونل معرفی گردید. این ماشین علاوه بر دو سر جلو و عقب مجهز به جک های پیشران همانند ماشین تک سپری و کفشک ، همانند ماشینهای باز می باشد. بنابراین این ماشین توانایی کار در زمین های با مقاومت مناسب و همچنین شرایط ضعیف را دارا می باشد. در حالتی که زمین مقاومت مناسب برای حفاری به کمک کفشک را دارد. ماشین می تواند به حفاری و سگمنت گذاری مستقل از هم و همزمان با هم پردازد و به همین دلیل سرعت حفاری ماشین های سپر تلسکوپی به طورثوریک دو برابر ماشین های تک سپری و در عمل ۳۰ تا ۴۰ درصدبیشتر از آن است [۱۳] - [۱۱] - [۸] - [۷].

۲-۴- حفر تونل به کمک سپرها

حفر تونل درزمینهای سست وریزشی، معمولاباستفاده ازسپرهای فولادی انجام میگردد. این سپرها غالبا مقطع دایره ای دارندو فضای تونل ممکن است طی شرایط هوای آزادیاتحت تاثیر هوای فشرده باشد وجودسپرسبب می شودکه بتوان حفاری رادرشرایط ایمن انجام داد و سیستم نگهداری اولیه رابراساخت و نشست زمین راکنترل نمود [۱۴]. شرایط اصلی در استفاده ازسیستم سپر به شرح زیر میباشد.

الف) خاکهای ضعیف و غیرچسبنده

ب) خاکهای رسی ضعیف و خمیری

ج) خاکهایی که تحت فشارآب قراردارند.

۲-۴-۱- سپرهای باز

از سه قسمت بدنه، دنباله و لبه حفار تشکیل شده است. این نوع سپردرزمین هایی بکار میروند که به اندازه کافی سفت و محکم هستند و در جلوسپر ریزش ندارند.

۲-۴-۲- سپر بسته

در زمینهای خیلی سست مثل بعضی از رسها و سیلتها و نیز ماسه های ریز روان استفاده میشود.

۲-۴-۳- نیم سپرها

که به هنگام حفرتونل درزمین های خشک یا آبکشی شده، از سپرهای با مقطع نیم دایره یا نیم بیضی برای نگهداری سقف تونل استفاده میشود که به آنها نیم سپر میگویند این شیوه درمورد تونل هایی که در عمق کم حفر میشوند نیز بکار میرود.

۲-۵- حفر تونل به وسیله ماشینهای بازویی

ماشینهای بازویی، دارای یک یا چند بازوی حفاری میباشند. سطح مقطع این بازوها به مراتب کمتر از سطح مقطع تونل است و با جابجا کردن آن در نقاط مختلف مقطع، تونل را حفاری میکنند. شکل ۱-۲ نوعی از این ماشین ها را نشان میدهد. حفر سنگ به وسیله ماشین بازویی طی یکی از دو مکانیسم پودر کردن و و تراشه کردن انجام میگردد [۱۵].



شکل ۲-۲- ماشین حفاری بازویی

۲-۵-۱- حفاری به روش پودر کردن

در این شیوه، محوردوران سرمته در امتداد محور بازوی دستگاه است. سرمته نیز حالت مخروطی دارد و بتدریج بانفوذ سرمته به داخل سنگ، تعداد بیشتری از ناخنها در حفر درگیر می شوند و بدین ترتیب، سنگ تا عمق مورد نظر حفر می شود و با تغییر موقعیت سرمته، این عمل در نقاط مختلف مقطع تونل انجام میشود. این شیوه حفر سبب میشود که دستگاه برای حفر سنگ های محکم و نیز حفاری در شرایط دشوار زمین شناختی، مناسب باشد.

۲-۵-۲- حفاری به روش تراشه کردن

این شیوه حفاری عمدتاً در ماشین های حفار پیوسته و برای حفر سنگ های نرم و ضعیف بکار میرود و یکی از موارد کاربرد آن، حفر لایه های زغال و سنگ های رسوبی اطراف آن است.

۲-۵-۳- مزایا و معایب روش

از آنجا که در این دستگاه ها عملیات حفاری، بارگیری مواد حفر شده و تخلیه آنها همزمان انجام میگردد لذا در مقایسه با روش های سنتی، با صرفه ترند. در زمین های نرم و نیمه سخت، سرعت پیشروی زیاد است. پرسنل مورد نیاز محدود است. با هدایت صحیح بازو میتوان مقطع تونل را مطابق شکل از قبل تعیین شده حفر کرد و بدین ترتیب، از اضافه حفاری جلوگیری کرد.

از معایب این روش می توان به این موارد اشاره نمود: هزینه های سرمایه گذاری اولیه زیاد است. پرسنل موجود باید مهارت های ویژه ای داشته باشد. ماشین به هنگام حفر، گرد و غبار زیادی تولید میکند. هزینه حمل قطعات و سوار کردن ماشین نسبتاً زیاد است.

۲-۶- احداث تونل به روش کند و پوش

این روش در مواردی امکان پذیر است که در محل مورد نظر، سازه های سطحی وجود نداشته باشد و یا تخریب آنها امکان پذیر باشد. مهمترین موارد کاربرد روش کندن و پوش به شرح زیر است [۱۶]:

الف) در تونلهای زیر سطح ایستایی به منظور احداث ناحیه حد واسط بین ترانشه اولیه و تونل اصلی
ب) دهانه تونل هایی که در نواحی کوهستانی احداث میشوند.

ج) مناطق شهری که با توجه به وضعیت زمین و شرایط موجود در محل ، از روش های مختلفی استفاده
میشود که مهمترین آنها عبارتند از:

الف) روش گود برداری با دیواره شیروانی، که در این روش دیوارهای ترانشه به صورت شیروانی یعنی با دیواره
های کم شیب احداث میشود و نیازی به سیستم نگهداری ندارد.

ب) روش میخ کوبی دیواره که در آن دیواره پر شیب ترانشه را بوسیله میله های فولادی به طول چندین متر،
میخ کوبی میکنند

ج) روش نگهداری دیواره با سپر فولادی

د) روش استفاده از پایه های فولادی

ه) روش دیوارسازی بتنی که در این روش، قبل از عملیات گود برداری، دیوار قائمی به ضخامت ۵۰ تا ۸۰ سانتی
متر در دو طرف دیواره ترانشه مورد نظر احداث میشود که نقش دیواره حائل و پرده آب بندی را بر عهده دارد.

و) روش استفاده از دیوار پیش ساخته که در این روش نیز عملیات مقدماتی یعنی حفر گودال ، به همان
روشهای قبلی انجام می گیرد و پس از آنکه گودال تا عمق مورد نظر حفاری شد، قطعات پیش ساخته
بتنی رادر داخل آن قرار می دهند [۱۶].

۷-۲- روش نوین تونل زنی اتریشی (NATM)

روش نوین تونل سازی اتریشی به عبارتی سبک س از روشهای بسیار متداول در احداث تونل است که بین
سال های ۱۹۵۷ و ۱۹۶۵ در اتریش پایه گذاری شد. ناتم روشی است مبتنی بر تابع نگاری رفتار
توده های سنگ تحت بار و مونیتورینگ عملیات ساختمان زیرزمینی سنگ . این روش امروزه بطور

گسترده در بسیاری از پروژه های تونل اجرا میگردد [۲۳] - [۱۷]. واقعیت اینست که ناتم به عنوان یک مرحله از حفاری و نیز تکنیک های نگهداری مطرح نیست . ناتم بر هفت ویژگی استوار است :

الف) بسیج مقاومت توده سنگ: این متد بر مقاومت ذاتی توده سنگ پیرامون به عنوان یک جز اصلی نگهداری شده در تونل، تکیه میکند. تکیه گاه اولیه طوری هدایت میشود که سنگ را قادر سازد تا برخوردش تکیه کند.

ب) حمایت شاتکریت : سست کردن و نیز تغییر شکل بی اندازه سنگ می بایست به حداقل برسد. این امر با مهیا کردن لایه های نازک شاتکریت بلافاصله پس از پیشروی جبهه کار حاصل می آید.

ج) اندازه گیری: هرگونه تغییر شکل ناشی از حفاری باید اندازه گرفته شود. ناتم به نصب تجهیزات اندازه گیری در سطح بالایی نیاز دارد. این در آستر، زمین و گمانه ها جاسازی می شود.

د) تکیه گاه انعطاف پذیر: آسترگیری اولیه نازک است و شرایط لایه بندی اخیر را بازتاب می دهد. این مدل به کارگیری، نسبت به تکیه گاه مجهول سریعتر به کار می آید و موثر میشود. مقاوم سازی با یک آستر بتنی ضخیم به دست نیاید بلکه بایک ترکیب منعطف از پیچ سنگ، سیم تنیده و شیارهای فولادی حاصل میگردد.

ه) بستن وارونگی: بستن سریع وارونگی و ایجاد حلقه حامل بار دارای اهمیت است. این امر در تونلهای حفر شده در زمینهای نرم بسیار وخیم است ، جایی که هیچ مقطعی از تونل نباید بطور موقت رها شود

و) ترتیب قراردادی: دانش ناتم براساس اندازه گیری مونیتورینگ پایه ریزی شده است. تغییر در متد تکیه گاه و ساختمان امکان پذیر است . این تنها در شرایطی ممکن است که سیستم قراردادی قادر به تغییرات باشد.

ی) اندازه گیری پشتیبانی رده بندی توده سنگ : رده های اصلی سنگ برای تونل و پشتیبانی متناظر آن موجود است . اینها برای هدایت در زمینه تقویت تونل بکار می روند.

۲-۷-۱- اصول کلی NATM :

تونل زنی به روش جدید اتریشی در خاکهای سست تا سنگ های سخت و مقاوم و در اعماق کم (در جهت به حداقل رساندن نشست سطح) تا اعماق زیاد و بیش از ۱۰۰۰ متر تحت میدانهای تنش ناشی از عملیات معدنکاری انجام گرفته است . بنابراین اصول کلی زیر به ترتیب قابل اعمال می باشند.

الف) عنصر اصلی باربری یک تونل ، توده سنگ پیرامونی آن می باشد.

ب) بنابراین یکی از اصول عبارت می باشد از: حفظ مقاومت اولیه سنگ تا آنجایی که امکان داشته باشد اتساع یا جابجایی ها باید به حداقل رسانده شود زیرا موجب پایین آوردن مقاومت می گردد

ج) وضعیت تنش تک محوری یا دو محوری، شرایط نامناسب برای تونل بوده و باید از آن اجتناب گردد دگرشکلی ها باید به طرزی تحت کنترل درآید که توده سنگ پیرامون تشکیل یک حلقه باربر حول تونل را بدهد. به گونه ای که ازدست رفتن مقاومت به وسیله اتساع در سطحی قابل قبول نگهداشته شود. با اجرای خوب این کنترل، ایمنی و اقتصاد افزایش می یابد

د) برای رسیدن به این منظور، تکیه گاه اولیه می باست در زمان درست نصب گردد

ه) عامل زمان ویژه سیستم ترکیبی سنگ به اضافه تکیه گاه اولیه ، باید به صحت کافی تخمین زده شود تخمین عامل زمان بستگی دارد به :

۱- آزمونهای آزمایشگاهی

۲- آزمونهای برج

۳- رده بندی توده سنگ

از این سه عامل تغییر شکل و زمان پابرجایی می تواند استنتاج شود و با رفتار واقعی تونل در حین ساخت تطبیق و کنترل گردد. هر جا که تغییرشکل ها زیاد بود و یا سست شدن توده سنگ انتظار می رود،

می بایست از تماس کامل تکیه گاه اولیه با جدار تونل در محل برخورد اطمینان حاصل آید. این امر با بکار گرفتن شاتکریت به بهترین نحو حاصل میگردد. تکیه گاه اولیه باید نازک و دارای صلیبیت خمشی پایین باشد، از این رو گشتاورهای خمشی پایین آورده و وقوع شکستگی ها در اثر خمش به حداقل می رسد.

افزایش نگهداری با شبکه توری اضافی، قابهای فولادی، سیمهای فولادی، سیم مهارها یا میل مهارها حاصل می آید نه با آسترگیری ضخیمتری نوع و مقدار تکیه گاه و زمان نصب ، از نتایج اندازه گیری دگرشکلی ها تعیین می گردد.

از نظر استاتیکی تونل را می توان لوله ای ضخیم (یا حلقه ای دوبعدی) که از توده ، سنگ و آسترگیری تشکیل یافته در نظر گرفت . از آنجا که یک تونل مساعدترین حالت پایداری را در حالت بدون درزه داراست ، بستن همزمان کف تونل در هنگامیکه سنگ دارای مقاومت کافی نیست دارای اهمیت است .

رفتار توده سنگ با بستن به موقع کف تونل تعیین می گردد. پیشروی های زیاد در طاق منجر به دیر بسته شدن کف و آن هم منجر به تشکیل لوله نیمه آسترگیری اولیه گردیده که نتیجه آن بروز گشتاورهای بزرگ خمشی در جهت محور تونل می باشد که منجر به ایجاد تمرکز تنش زیاد در سنگ ، در پای دیواره های جانبی می گردد.

حفاری پیشانی کامل، بهترین روش برای دستیابی یک توزیع یکنواخت تنش است. هر چند که در سنگهای سست ، حفاری بخش بخش، برای پایداری در حین ساختمان ممکن است لزوم پیدا کند. روند حفاری و نگهداری برای پایداری مهم می باشد. زیرا آنها عامل زمان توده سنگ را تحت تاثیر قرار میدهند.

تغییر در طول دوره حفاری، زمان بستن کف ، طول پیشروی طاق ، مقاومت و زمان نصب تکیه گاه تماما به طور سیستماتیک برای کنترل فرایند توزیع مجدد تنش و پایدارسازی به کار گرفته میشوند. در موارد آستربندی مضاعف ، آستربندی نهایی باید همچنان نازک باشد. تنش عمود می باید بر روی تمام سطح

تماس بین آستر بندی ها منتقل گردیده و تنش برشی در سطح برخورد می باید پایین باشد. کل سیستم ، توده سنگ به اضافه پوشش می بایست با نگهداری اولیه پایدار گردند.

در صورت خورنده بودن آبهای زیرزمینی آستر بندی نهایی می بایست قادر به پایدار سازی توده سنگ به تنهایی باشد. سیم مهارها تنها می توانند به عنوان یک نگهدارنده دائمی تلقی گردند، البته در صورتی که از گزند خوردگی در محیطهای خاص در امان باشند.

برای کنترل ایمنی سازه تونل ، اندازه گیری تنش بتن و تنش برخورد در مرز بین سنگ و آستر بندی ضرورت دارد. اندازه گیری دگرشکلی ها همچنان ادامه پیدا می کند.

فشار ایستایی آب بر روی پوشش و فشار جریان در توده سنگ با زهکشی مناسب پایین آورده می شود. به طوری که از این اصول دریافت می شود، ناتم روند و دستور کاری نیست که با دنبال کردن آن به نتیجه مورد نظر رسید بلکه عبارت است از مجموعه ای از ایده ها که به ویژگی های زمین شناسی منطقه توجه ویژه ای دارد. این روش در نتیجه تجربیات متعدد در کار تونل زنی به دست آمده است و برای به دست آوردن هر یک از این ایده ها و نیز جمع بندی آنها به عنوان یک روش سالهای زیادی وقت صرف شده است . نوآوری اساسی این ایده ، یک فن ساختمانی یا یک روش خاص محاسباتی نمی باشد، اما برای ساختمان تونل در توده سنگ و چگونگی برخورد با آن ارائه طریق می نماید

یکی از اصول موفقیت زای این روش گردآوری موضوعات متعدد از مهندسی عمران و مکانیک سنگ می باشد که شامل موضوعات نظری و عملی است .

۲-۷-۲- روش اجرای NATM

با اینکه هنوز هیچ پشتوانه نظری حقیقی برای ناتم وجود ندارد اما عواملی وجود دارند که منجر به موفقیت این روش می گردند که عبارتند از:

الف) بتن پاشی به عنوان سازنده سازه ترکیبی قوس سنگ که به حلقه حمال سنگ موسوم بوده و حفره را احاطه می کند.

ب) بتن پاشی به مراتب قدیمی تر از ناتم می باشد اما ویژگی های عالی آن از نظر مقاومت و لغزش ، این روش را به عنوان یکی از ابزارهای غالب نگهداری در تونلسازی به روش ناتم گردانیده است . بیشترین اهمیت آن امکان اجرای سریع برای پوشانیدن سطح تازه حفاری شده سنگ میباشد. مزیت دیگر آن دستیابی به یک مقاومت نسبی بالادر مدت زمان کوتاه ، حدود ۵ نیوتن بر میلی مترمربع (مگاپاسکال) در ۶ ساعت می باشد.

شاتکریت در تونلسازی دارای اثر مضاعف است : محافظت سنگ در اثر هوازدگی و فرسایش : با بستن ترکها تمرکز تنش در اطراف تونل کاهش یافته ، همچنین ضخامت زیاد شاتکریت به عنوان یک قوس نگهدارنده عمل می کند. در تمام موارد اتصال اتصال تنگاتنگ با سنگ مهم می باشد. زیرا این عمل موجب می گردد سنگ بارها را مشترک حمل نموده و ساختاری مرکب با سنگ تشکیل دهد. شاتکریت مناسب ، نیاز به یک تکیه گاه نیمه صلب را برآورده می سازد، زیرا دگرشکلی شعاعی زیادی را بدون شکستگی امکان پذیر میسازد. با دگرشکلی های بزرگ تونل ، شاتکریت می شکند. اما در صورت مسلح شدن به توری سیمی یا رشته های فولادی، قطعات برش یافته شاتکریت خطری آنی برای خدمه ایجاد نخواهد کرد [۲۴].

ج) وسیله دیگر برای ساختن طاق بیرونی، قابهای فولادی می باشد. این قابها در توده های سنگ فشرده شده و بسیار خردشونده به کار گرفته شده و تکیه گاهی سریع و موثر برای سنگ به شمار می آیند. در چند سال اخیر کاربرد قوسهای پروفیلی به میزان زیاد افزایش یافته است . این قوس ها نسبت به قابهای فولادی مزایای بیشتری دارند و نیز به دلیل سبک وزن بودن ، نصب آنها آسانتر می باشد.

د) در تونلسازی همواره با مفاهیم ناتم ، نصب میل مهارها جایگاه ویژه ای دارد و اهمیت آنها به همان اندازه اهمیت شاتکریت می باشد. این میل ها نیز مثل شاتکریت در صورت نصب موجب تشکیل حلقه حمال در

اطراف توده سنگ می گردند. میل مهارها در برابر دگرشکلی شعاعی مقاومت کرده از اینرو ایجاد دگرشکلی کنترل شده می نماید که شکل ژئومتریک تونل را حفظ می نماید. همچنین میل مهارها از آنرو که تاثیر ناهمسانی و ناهمگونی را کاهش می دهند، تشکیل صفحات برشی و لغزشی را مشکل تر ساخته و سبب ایجاد مقاومت ماندگار بالا حتی در توده های سنگ به شدت دستخورده می گردد که این نیز به نوبه خود سبب بهسازی کیفیت سنگ می گردد. تنش مماسی در حلقه سنگ حمال موجب افزایش چسبندگی مهارها می گردد. طاقهای ثانویه ایجاد شده بین تکیه گاهها، در برابر تمایل توده سنگ نسبت به جابجایی به داخل تونل مقاومت ایجاد می نماید که این مقاومت به نزدیکی مهارها بستگی دارد. در صورتیکه طاق تونل تحت تنش زیاد در اثر فرایندهای تجدید آرایش دوباره قرار گیرد، یا اگر سیستم سنگ در معرض شکستگی قرار داشته باشد، تونل نیاز به بهسازی با بتن پاشی به سطح خواهد داشت [۲۴].

بنابراین به طور خلاصه مواد پایدار کننده در NATM عبارتست از: شاتکریت ، میل مهارها، قوس های فولادی یا پروفیلی، صفحات فولادی و غیره .

در نتیجه هدف اصلی NATM ایجاد یک قوس نیمه صلب خارجی بلافاصله پس از حفاری با وسایل نگهداری از قبیل شاتکریت ، کوه پیچ و غیره می باشد. این امر موجب تنظیم تنش در محدوده اطراف تونل گردیده از سست شدگی مخرب جلوگیری به عمل می آورد و این همان چیزی است که ناتم را از روش های تونلرزی محافظه کارانه تمیز می دهد. زیرا اصولا در شیوه های سنتی تونلسازی، بار سنگ می بایست تماما بوسیله تجهیزات نگهداری تحمل شود که این کار نیز مستلزم صرف هزینه های زیاد می باشد.

روش NATM بیشتر در نتیجه تجربه عملی بوجود آمده و مانند دیگر روشهایی که در حال تکمیل و تکوین میباشند، دستخوش تغییر و تحولات و مشکلات متعددی گردیده تا به شکل کنونی در آمده است . این روش از انعطاف پذیری قابل توجهی در شرایط مواجهه با وضعیت های متفاوت توده سنگی برخوردار است . بطور کلی ضروری می باشد که مطالعات و بررسی دقیقی به منظور بررسی ظرایف زمین ساختاری بویژه در زمیسن های نامناسب انجام گرفته ، بین هزینه های مطالعات و اجرای عملیات رابطه ای منطقی ایجاد گردد.

تهیه مواد و مصالح مورد نیاز ناتم و طریقه ریختن بتن در فضاها، حتی در طرح های کوچک تونل سازی با ناتم نیاز به ساماندهی مناسب و کارآمد دارد که خود ناشی از تجربه و مهارت بالای معدنچیها و اجراکاران دارد . اهمیت نصب شعاعی مهاریها به طور سیستماتیک در سنگ های سست ، به منظور تامین توزیع مناسب تنش های بوجود آمده در قوس های دایره ای شکل سنگی، فوق العاده مناسب تشخیص داده شده است . موفقیت در روش ناتم نیاز به آموزش های تئوریک و عملی همزمان در محل عملیات دارد زیرا تنها در ارتباط بودن نزدیک و دقیق مهندسان با مسائل و مشکلات در محل کار می تواند آنها را به اعمال راهنمایی های خاص و دقیق قادر سازد. یک بخش مهم و جدایی ناپذیر در این روش مشاهده رفتار تنش کرنش سنگ با فنون اندازه گیری می باشد.

۲-۸- سیستم نگهداری اولیه متداول تونل در خاک

در زمین های خاکی که با روش های NATM حفاری میشوند، سیستم نگهداری اولیه عموماً متشکل از قاب فولادی یا ریب ساخته شده از میلگرد یا ترکیبی از این دو سیستم است . این مجموعه در ادامه با بتن پاشی و نصب مش و بتن پاشی مجدد برای پر کردن فضای بین قاب ها برای انتقال نیرو به آنها و یا پر کردن فضای داخل ریب و افزایش مقاومت آن کامل میشود (شکل ۲-۱). از زمانی که قاب یا ریب نصب میشود تا زمانی که سیستم با بتن پاشی کامل شده و بتن پاشیده مقاومت کافی برای انتقال و تحمل بار بیدار کند، قاب یا ریب باید قادر باشد بارهای وارده از خاک را تحمل نموده و از تغییر شکلهای زیاد و ریزش کوه های آن جلوگیری نماید.

استفاده از قاب یا ریب برای این کار مشکلاتی به شرح زیر در پی دارد:

- الف) خم کردن قاب و ریب نیاز به تمهیدات ویژه اجرایی و اغلب دستگاه خم کن برقی یا حرارتی دارد.
- ب) قاب و ریب بعلت تمرکز مصالح و موضعی عمل کردن نیاز به اتصال و نشیمنگاه با صفحات انتهایی پیچی دارند که باید به انتهایی تمام قطعات آن جوش شوند.

ج) بعلت دو بعدی بودن قاب و ریب در حین نصب نیاز به اتصال قطعات مهار جانبی میباشد که عملیات اجرایی اضافی را می طلبد.

د) در حین نصب نیز جلوگیری از اعوجاج و قرارگیری قاب و ریب بصورت عمود بر محور تونل بعضاً بسیار مشکل است .

ه) قاب و ریب عموماً ضد خوردگی نیستند و نمیتوانند به باربری نهایی درازمدت پوشش تونل کمک قابل اطمینانی بنمایند.

و) قاب بدلیل صلبیت و سطح صیقلی برای انتقال برش با بتن پاشیده نمیتواند بصورت مرکب عمل کند و عملاً از ظرفیت باربری مرکب بتن و فولاد بهره ای نمبرد.

ی) در حفاریهای دو مرحله ای ۱) نصب قسمت های پایینی قاب و اتصال آنها بدلیل تمرکز و موضعی عمل کردن قاب یا ریب گام های حفاری قسمت پایین را محدود مینماید.

در تونل های شهری که اغلب در خاک حفاری میشوند و عمق حفاری آنها نسبتاً کم بوده و سربار ناشی از ساختمان ها روی آنها زیاد است مانند شکل ۲-۳ و شکل ۲-۴، روش های انتخابی باید قابلیت کنترل مناسب نشست های سطحی را داشته باشند. بنابراین پوشش اولیه تونل که عمده این وظیفه را بعهده دارد باید با توجه به منحنی پایداری حفاری در طول زمان ، سختی اولیه مناسب را برای این منظور تأمین نماید. این کار در زمین های سخت با بتن پاشی هم امکان پذیر است ولی در زمین های معمولی یا نرم و ریزشی، استفاده از فولاد بصورت قاب یا خرپا اجتناب ناپذیر میباشد.



شکل ۲-۳- تونل راه اصلی پاتاوه - دهدشت



شکل ۲-۴- تقاطع مترو اصفهان کارگاه آزادی- شریعتی



شکل ۲-۵- پرتال ورودی کارگاه L۳ مترو تهران - تقاطع فاطمی ولیعصر

با توجه به مشکلات در روش های موجود در فصول بعدی به معرفی نوع نگهداری پانل سه بعدی و نحوه اجرای آن در تونل (مطالعه موردی سد بختیاری) و مزایای آن نسبت به روش های موجود پرداخته می شود.

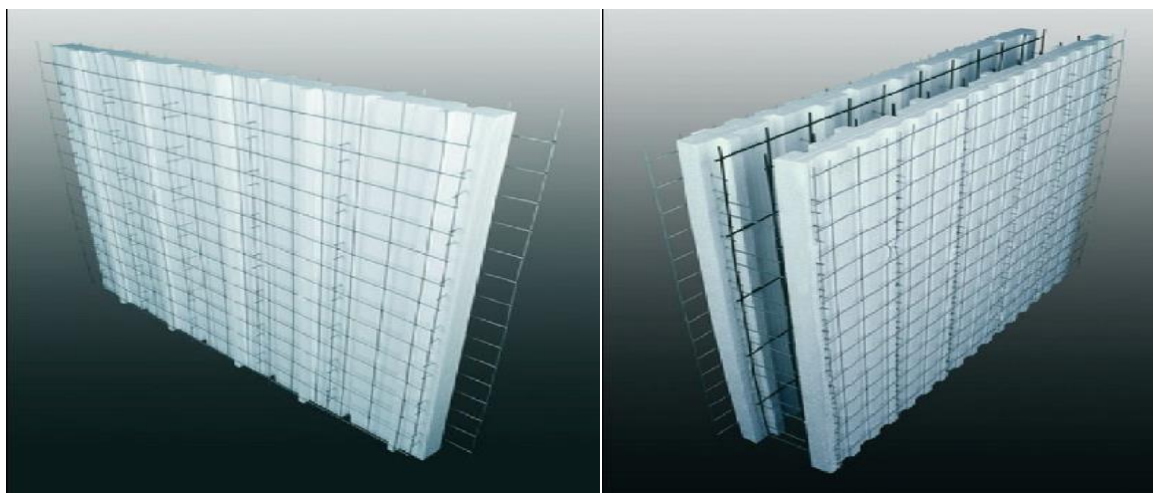
فصل سوم

سیستم پیشنهادی طراحی

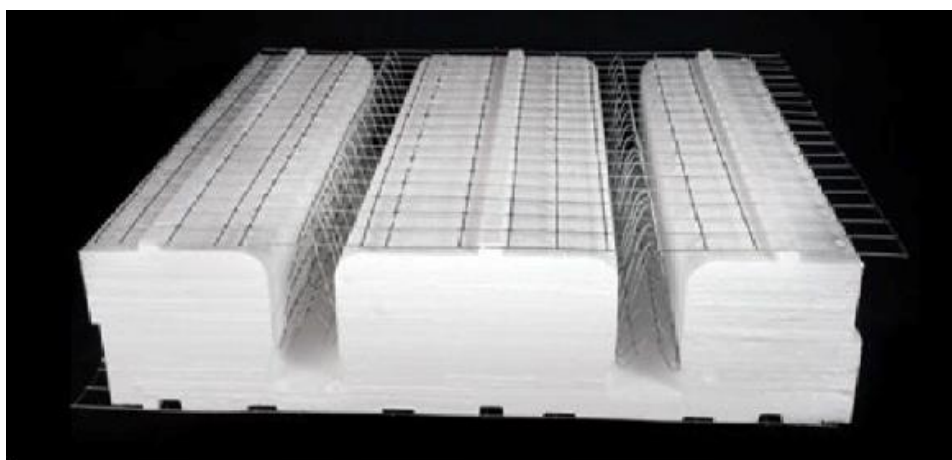
شده توسط ۳D پانل

۳-۱- پانل های سه بعدی

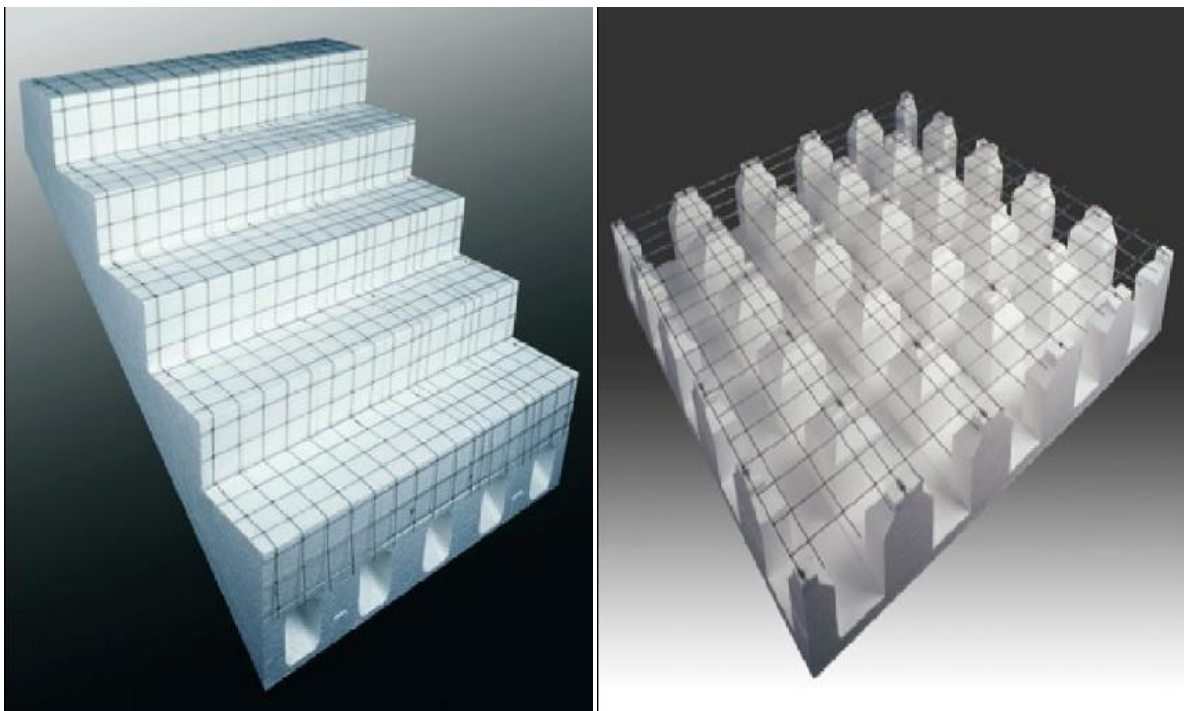
پانل های سه بعدی سازه های پیش ساخته سبکی، که به ساندویچ پانل نیز مشهور است پدیده های نسبتاً جدید در تکنولوژی ساخت و ساز است که در بسیاری از کشورهای پیشرفته مورد استقبال فراوانی قرار گرفته است. ساندویچ پانل از دو لایه اصلی شبکه فلزی مش در طرفین و یک لایه فوم پلی استایرن نسوز در وسط تشکیل شده است. به طوری که این سه لایه توسط مفتول های جانبی به یکدیگر متصل شده است پانل تک، پانلهای دابل، پانل سقف، پانل دال دو طرفه، پانل پله، پانل دیواری گوشه، شبکه اتصال تخت، شبکه شکل، شبکه اتصال مسطح گسترده U اتصال گونیا شکل، شبکه اتصال



شکل ۳-۱- شکل 3D پانل



شکل ۳-۲- شکل 3D پانل



شکل ۳-۳- شکل 3D پانل

مشخصات 3D پانل

پانل سه بعدی (شکل ۳-۲) در سازه های زیرزمینی میتواند جایگزین تحکیمات موقت و دائم باشد. این پانل متشکل از یک لایه عایق پلی استایرن نسوز منبسط (EPS) ما بین دو صفحه مشبک مفتولی (MESH) که توسط خرپاهای قطری به صورت جوش به هم متصل شده است که تحت کنترل کیفیت دقیق تولید و با نظارت اصولی متخصصان امور ساخته نصب و اجرا میگردد. در این تکنولوژی سازه های پیش ساخته سبک به صورت اتصالات یکپارچه تولید و در ساختمان تونل به صورت طاق ، پا طاق نصب و اجرا میگردد و پس از نصب در سازه به وسیله دستگاه عملیات بتن پاشی (شاتکریت) صورت میگیرد این روش باعث یکپارچگی در اتصالات شده ، استحکام و پایداری سازه را در مقابل نیروهای دینامیکی و تنش های وارده محافظت میکند.

پانل سه بعدی از چهار قسمت تشکیل می شود:

الف) هسته مرکزی (EPS): یک لایه پلی استایرن منبسط شده، با مشخصات کیفی مطابق استاندارد ASMT C 236 و استاندارد ۱۵۸۴ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می باشد.

ب) شبکه مفتول های گالوانیزه که در دو طرف هسته مرکزی قرار میگیرد و با استاندارد ASMT A 799 مطابقت دارند. چشمه آنها به ابعاد ۵ سانتیمتر بوده و قطر اسمی آنها ۳ میلیمتر می باشد.

ج) میلگردهای خرپایی: میلگردهای مورب اتصال دهنده دو شبکه مفتولی که قطر اسمی آنها ۲/۲ یا ۳/۵ میلیمتر می باشد.

د) بتن پاشیده شده بر روی پانل: بتن روی شبکه میلگردها که با دستگاه بتن پاش بر روی پانل پاشیده شده و مطابق آئین نامه ایران یا ACI آمریکا می باشد.

مشخصات فنی پانل با مشخصات نشریه شماره ۳۸۵ و استاندارد ۷۱۴۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مطابقت دارد .

۳-۲ معرفی 3D پنل و اجزای آن

یک ساختار ساختمانی باربر و یا غیر باربر و بسیار مقاوم می باشد که همانند یک قطعه بتن مسلح یکپارچه عمل کرده و استحکام خود را تواما از ترکیب فولاد و بتن بدست می آورد. 3D پنل ترکیبی است از دو لایه مش فلزی (با مفتولهایی با قطر ۲/۵ تا ۳/۵ میلی متر و چشمه های ۸*۸ سانتی متر به فاصله ۱ تا ۲ سانتی متر از هسته مرکزی) و هسته مرکزی از جنس پلی استایرن و یا پلی اورتان یا عایق پشم سنگ (با تراکم حداقل ۱۰ و حداکثر ۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامتهای ۵ تا ۱۲ سانتی متر) که لایه های مش به وسیله مفتولهای عبور داده شده، از لایه پلی استایرن (با نقش خرپا) به یکدیگر جوش خورده اند .

در این ترکیب پلی استایرن به عنوان عایق صوت، برودت و حرارت، خرپاها که تحت زاویه مخصوص از پلی استایرن عبور داده شده اند، با نقش توزیع کننده بار و فشار مکانیکی و بتن به عنوان پوشاننده سطح و مکمل استحکام به کار می رود .

این پانل ها با دارا بودن دو لبه مش اضافی (اورلب برای همپوشانی) به ابعاد مورد لزوم که نوع دیواری آن ۱*۳ متری (البته اصولا با عرض های ۱ متری و طول های قابل تغییر) و نوع سقفی آن ۱*۳ و ۳*۸ متری می باشد تولید و سپس به محل نصب حمل می گردد. پس از نصب از دو طرف در نوع دیواری با بتن ریز دانه و یا بتن سبک با ضخامت ۳ الی ۴ سانتی متر پوشش می گردد و در نوع سقفی پس از نصب روی آن به ضخامت ۵ الی ۷ سانتی متر بتن ریزی می شود .

۳-۲-۱ انواع پانل های سه بعدی دیواری

الف) پانل سه بعدی دیوار باربر : به عنوان عناصر باربر قائم و همچنین عضو مقاوم در برابر بار جانبی استفاده می شود. ضخامت هسته عایق در پانل های دیواری بین ۴۰ تا ۶۰ میلی متر بوده و بر این مبنا فاصله های شبکه های جوش شده از یکدیگر ۸۰ تا ۱۴۰ میلی متر می باشد . از این پانل ها در دیواره سوله ها ، ساختمانهای صنعتی ، دیوارهای محوطه ، ساختمانهای بدون استفاده از سازه فلزی یا بتن آرمه (که معمولا یک یا دو طبقه و برای انبوه سازیها می باشد) استفاده می نمایند .

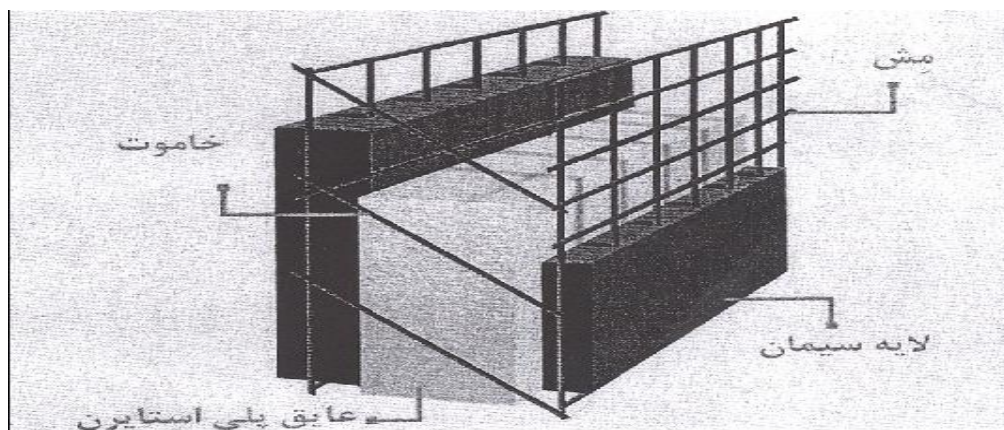
ب) پانل های سه بعدی دیوار غیر باربر : در دیوارهای داخلی و خارجی کلیه ساختمانهایی که دارای سازه فلزی یا بتنی هستند اجرا می نمایند و به دلیل سبک و عایق بودن و ... در برج ها و سوله ها به کار می برند که ضخامت هسته عایق در این پانل ها حدود ۴۰ تا ۶۰ میلی متر می باشد .

ج) پانل های سه بعدی سقفی : پانل های سقفی به صورت افقی یا شیبدار با شیب کم به عنوان عضو باربر خمشی و دیافراگم افقی عمل می نماید . ضخامت هسته عایق بر حسب عملکرد پانل سقفی و بارهای وارده نباید کمتر از ۶۰ میلی متر (۶ تا ۱۵ سانتی متر) باشد بر این مبنا فاصله شبکه های جوش شده از یکدیگر حداقل ۱۰۰ میلی متر است و عرض این پانل ها بین ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متر می باشد . سقف ها به صورت تیرچه و پانل استفاده می شود و دیگر جزئیات طبق نقشه های اجرایی خواهد بود . وزن یک مترمربع سقف با تیرچه و پانل حداقل ۱۰۰ کیلوگرم کمتر است از وزن سقف با تیرچه سفال می باشد .

۳-۳- موارد استفاده از پانلهای سه بعدی دیواری و سقفی

الف) ایجاد ساختمان با استفاده از سازه فلزی و یا بتن آرمه: در این سیستم پس از اجرای اسکلت فلزی یا بتن آرمه ابتدا سقف ها بر اساس نقشه های اجرایی مربوطه اجرا می گردد. سپس جهت اجرای دیوارها با اتصال میلگرد نمره ۸ یا ۱۰ طبق جزئیات اجرایی به دور تا دور قاب ها یا محل اتصال دیوار یا سازه ساختمان، پانل دیواری با سیم آرماتور بندی به میلگردهای اتصال پس از تراز و شاقول کردن محکم بسته می شوند و پس از اجرای لوله کشی های تاسیساتی با بتن ریز دانه به ضخامت حدود ۳ س بتن پاشی می گردد در این سیستم دیوارها غیر باربر می باشند.

ب) ایجاد ساختمان بدون استفاده از سازه فلزی یا بتن آرمه: سازه های ساخته شده با پانل های مورد نظر مجموعه ای از پانل های دیواری باربر و سقفی به همراه کلافهای افقی و عمودی، تشکیل دهنده سیستم باربر ثقیل و جانبی این نوع ساختمان ها می باشد که بعد از بتن پاشی روی دیوارها و بتن ریزی روی سقف، مجموعه پانل ها به صورت جعبه در آمده به طوری که این گروه ساختمانی را در گروه box type معرفی می نمایند. با توجه به اینکه سیستم سه بعدی در واقع متشکل از دیوارها و سقف های بتنی عمود بر یکدیگر می باشد لذا صلبیت جانبی آن در مقایسه با قاب های خمشی بسیار بالاتر می باشد. از مزایای ساختمانی ساخته شده با پانل های تری دی در مقایسه با ساختمانی اسکلت فلزی یا بتن آرمه، متصل بودن تمامی دیوارها و سقف به یکدیگر می باشد.



شکل ۳-۴- شکل 3D پانل

۳-۴- آرایش پانل

باید به گونه ای ساخته شود که مفتولهای تار پود شبکه جوش شده نسبت به صفحه هسته عایق به طور متقلرن قرار گیرد . لازم است مفتولای تار نسبت به مفتول های پود نزدیکتر به هسته ی عایق قرار گیرند.

۳-۵- حمل و نقل ، انبارش و نگهداری پانل

الف) پانل ها باید در محیط های دور از تابش مستقیم اشعه خورشید، بارش باران، رطوبت، تغییرات حرارتی شدید و عوامل گزندبار محیطی نگهداری شوند.

ب) پانل ها باید به دور از مواد آتش زا یا حرارت مستقیم و مواد حلال مانند هیدروکربن ها نگهداری شود.

ج) از بارگذاری یا اقداماتی نظیر راه رفتن بر روی پانل ها باید اجتناب شود.

د) نگهداری و انبار پانل ها بر روی یکدیگر باید به نحوی باشد که جوش شبکه و مفتول ها آسیب نبینند.

ه) نگهداری پانل های باید بر روی سکو های مناسب انجام گیرد به طوری که در حین بارگیری آسیب به آنها وارد نشود.

و) در هنگام بارگیری، باراندازی، یا حمل و نقل پانل ها باید اقدامات لازم در عدم ایجاد تابیدگی و خمیدگی پانل ها به عمل آیند.

ی) مراحل بارگیری ویا باراندازی پانل ها به آرامی وبدون اعمال ضربه به پانل صورت گیرد.

ز) بارگیری و باراندازی پانل ها باید با ماشین آلات و بالابر های ویژه با تمهیدات خاص صورت گیرد به طوری که از اتصال مستقیم چنگک بالابر با پانل ها جلوگیری شده و عملیات بارگیری یا باراندازی با قلاب ها یا ابزارهای ویژه و دوراز پانل انجام شود

۳-۶- مراحل تولید پانل 3D

۳-۶-۱- تولید لایه EPS :

پودر پلی استایرن (ماده خام اولیه) از نوع دیر سوز (گریدر F) با دانه بندی ۱/۶ به ۰/۶ میلیمتر در دستگاهی به نام Batch Prexpander تحت فشار و بخار معین، منبسط و بصورت دانه های گرانول EPS تبدیل میگردد. گرانولهای EPS از طریق لوله های ارتباطی و توسط هوا در سیلوهای مخصوصی جهت تخلیه گاز پنتان ذخیره میگردند. مدت زمان خروج گاز پنتان نسبت به نوع مواد از ۸ تا ۲۴ ساعت متغیر میباشد. پس از اطمینان از تخلیه گاز پنتان ، مواد مجدداً از طریق لوله و توسط هوا به داخل دستگاه سازنده بلوک استایرن وارد میشود و در این مرحله نیز تحت دما و فشار بخار معین ، بلوک پلی استایرن شکل میگیرد.

خواص فیزیکی پلی استایرن با توجه به استانداردهای مربوطه در بلوک پلی استایرن توسط دستگاهی به نام EPS Cutting Machine به لایه های پلی استایرن با ضخامت و طول مورد نیاز جهت تولید 3D پنل برش خورده و بدین ترتیب هسته مرکزی پانل ها فراهم میگردد.

پلی استایرن:

طبقه بندی از نظر واکنش در برابر آتش : انواع صفحات و بلوک های سقفی تولید شده باید بر اساس واکنش آنها در برابر آتش طبقه بندی شوند:

نام گذاری : پلی استایرن منبسط باید براساس ساختار مناسب، نوع و طبقه نام گذاری شود.

با کارکرد معمولی - صفحه برش خورده SD

با کارکرد بالا - صفحه قالب گیری شده HD

با کارکرد بسیار بالا EHD

با کارکرد ویژه UHD

مشخصات فیزیکی	SD	HD	EHD	UHD	روش آزمون
چگالی اسمی (کیلو گرم بر متر مکعب)	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	استاندارد ملی ایران ۷۱۱۸
حداقل مقاومت با تنش فشاری در 10% تغییر	۷۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	استاندارد ملی ایران ۷۱۱۷
شکل بر حسب (kpa) - حداقل تراز					
با حداقل مقاومت ، عمران مهندسی مصارف برای	۲۰	۴۰	۷۰	۹۰	استاندارد ملی ایران ۷۱۱۷
kpa بر حسب شکل تغییر 1% در فشاری تنش					
حداقل مقاومت خمشی در هر جهت بر حسب	۱۱۵	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	استاندارد ملی ایران ۷۳۰۲
در ساعت 48 از بعد ابعادی تغییرات حداکثر	۵	۵	۵	۵	استاندارد ملی ایران ۱۰۷۱۸
دمای 70 درجه سلسیوس بر حسب درصد					
حداکثر جذب آب (درصد حجم)	۶	۴	۳	۲	استاندارد ملی ایران ۲۳۱۵
طبقه بندی از نظر واکنش در برابر آتش (پیشروی	E و F	E و F	E و F	E و F	استاندارد ملی ایران ۷۲۷۱
شعله)	طبقه	طبقه	طبقه	طبقه	

جدول ۳-۱- مشخصات فیزیکی پلی استایرن

۳-۶-۲- تولید شبکه مفتولی Wire Mesh :

مفتول مورد استفاده در تولید مش، از کلافهای کشیده شده گالوانیزه (Steel Wire Low Carbon Cold Drawn) بوده که در ابتدا توسط دستگاه Rolling Machine به دور قرقرهایی پیچیده شده و سپس وارد دستگاه تولید مش (Mesh Welding Machine) گردیده و بصورت شبکه های مش با عرض ۱۲ متر و در طول مورد نظر تولید میگردد.

۳-۶-۳- تولید پانل 3D :

مجموعه ای از دو شبکه مش و یک لایه پلی استایرن میانی به داخل دستگاه 3D Panel Welding Machine هدایت و اعضای خرپایی (Cross Wire) توسط دو بازوی پنتوماتیکی از داخل EPS عبور و دو شبکه مش را به وسیله جوش الکتریکی اتوماتیک به یکدیگر متصل می نماید.

۳-۶-۴- مراحل کیفیت QC :

مراحل مختلف تولید محصول ، توسط واحد کنترل کیفیت (QC) بر اساس استاندارد، کنترل میشود و در صورت عدم تایید از خط تولید خارج میشود.

۳-۷- مزایای استفاده از 3D پانل

الف) سبک طاق های ساخته شده از پانل در مقایسه با دیگر مصالح، منجر به سرعت نصب تحکیمات سازه میگردد،

ب) عایق در برابر حرارت ، برودت ، رطوبت و صدا،

ج) عایق پلی استایرن که در تولید پانل ها به کار میرود از نوع کند سوز می باشد که پس از پاشش شاتکریت با ضخامت ۵ سانتیمتر ، دیوار پانل تا ۲ ساعت در برابر آتش سوزی مقاوم خواهد بود،

د) امکان حمل و نقل و بکارگیری پانل در مناطق صعب العبور جهت احداث تونل بدون نیاز به تجهیزات خاص بجای قالب لاینینگ. شکل ۳-۵ تا شکل ۳-۸ نصب این پانل ها را به ترتیب در مسیر ترانزیتی شمال غرب به ماکو و راه آهن اصفهان شیراز نشان میدهد.

ه) آزادی عمل در اجرای تحکیمات متنوع قوسی و چند ضلعی به علت انعطاف پذیری قطعات 3D پانل

و) سرعت بیشتر اجرا باعث برگشت سریعتر سرمایه میگردد. {تا ۴ برابر سرعت بیشتر نسبت به روش سنتی} استفاده از پانل های سه بعدی پیش ساخته ضد خوردگی با تقویت موضعی با میلگرد، باعث افزایش سرعت و کیفیت اجرا و مقاومت برشی و کششی پوشش و قابلیت جذب انرژی آن میشود. این پانل ها از میلگردهای نورد سرد با مقاومت مشخصه جاری شدن ۶۰۰ مگاپاسکال بافته میشوند که در دو قطر ۳ و ۴ میلیمتر با شبکه ۱۰ در ۱۰ سانتیمتر و میلگردهای مایل عرضی با زاویه ۴۵ درجه میباشند. جنس فولاد به کار رفته از نوع (ST52) میباشد که ضخامت محور به محور پانلها نیز در دو اندازه ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر قابل تهیه است. در صورت نیاز به استفاده از این پانل ها بصورت قالب میتوان فوم میانی با ضخامت دلخواه نیز در داخل آن تعبیه نمود که پس از بتن پاشی سمت داخل بعنوان یک قالب با ظرفیت باربری بسیار بالا قابل استفاده میباشد. این پانل ها بطور کامل ضد خوردگی بوده و بعلاوه سه بعدی بودن ظرفیت زیادی در کنترل ترک و جذب انرژی دارند.

برای افزایش ظرفیت باربری پانل ها بتن پاشی نشده میتوان از میلگردهای فولادی به میزان مورد نیاز استفاده نمود که در یک یا دو وجه پانل نصب میشوند. شکل ۳-۹ مقاومت پانل های سه بعدی ساخته شده را نشان میدهند. این سیستم بدلیل سه بعدی بودن ، انعطاف پذیری، پیوسته بودن و عدم نیاز به هر گونه اتصال عملاً تمام معایب سیستم های قاب و ریب را به مزیت تبدیل مینماید. قابلیت خم کردن دستی و نصب سریع و آسان از مزایای ویژه این پانل ها میباشد.



شکل ۳-۵- نصب پانل سه بعدی در راه ترانزیت شمال غرب ع محور ماکو

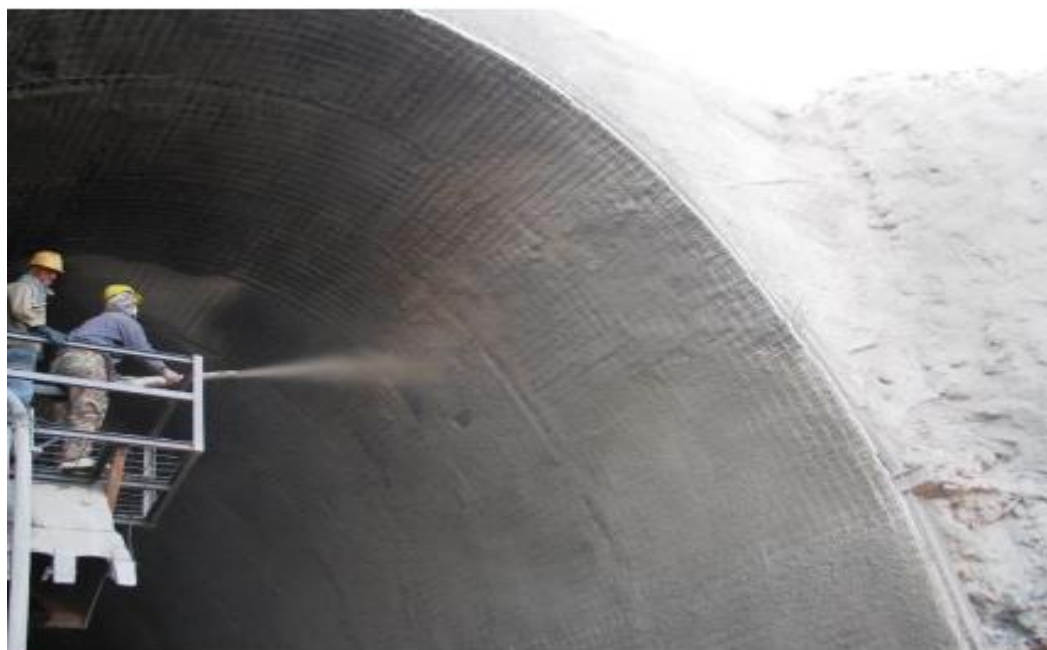


شکل

۳-۶- تونل های راه آهن اصفهان شیراز



شکل ۳-۷- بررسی نصب پانل در تونل های راه آهن اصفهان شیراز



شکل ۳-۸- اجرای شاتکریت در تونل های راه آهن اصفهان شیراز



شکل ۳-۹- مقاومت نهایی 3D پانل

۳-۸- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در طرح پوشش تک پوسته ای بصورت زیر میباشد
برای تبدیل بتن پاشیده معمولی به بتن پاشیده پایا بطوری که بتواند نقش بتن معمولی را در طول عمر
مفید سازه ایفا نماید لازم است موارد زیر در دستور کار قرار گیرد:

۳-۸-۱- اضافه نمودن MCI جهت پایایی فولادها

۳-۸-۲- اضافه نمودن الیاف پلیمری ۱ به میزان متوسط ۱ کیلوگرم در متر مکعب جهت حذف ترک و
کاهش نیاز به اجرای درز و میلگرد طولی

۳-۸-۳- اضافه نمودن افزودنی ۲ به میزان متوسط ۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب جهت تقویت انسجام و دوام

۳-۸-۴- اجرای لایه غشای مایع آب بند بین دو بخش مربوط به پوشش اولیه و تکمیلی نهایی

۳-۸-۵- استفاده از پانل بافته شده ضد خوردگی کارخانه ای PRP جهت افزایش مقاومت برشی تا ۸۰ درصد و ظرفیت جذب انرژی تا ۲۰۰ درصد در صورت نیاز طرح با انجام اصلاحات فوق بتن پاشیده پایا حاصل شده و مقاومت الکتریکی آن به حد استاندارد بتن با دوام (بین ۱۲ تا ۲۰ کیلو اهم سانتیمتر) افزایش مییابد. این مقاومت پس از اجرا و در فواصل زمانی (۳ تا ۵ سال) با دستگاه های غیر مخرب (NDT) قابل کنترل و پایش می باشد.

۳-۹- مزیت طرح پیشنهادی

مزایای کلی طرح پیشنهادی را می توان بصورت زیر خلاصه نمود.

الف) پایایی میلگردها و جلوگیری از خوردگی

ب) کنترل و پیشگیری از ترک خوردگی بتن پاشیده

ج) افزایش چسبندگی به میلگرد و کاهش تخلخل

د) افزایش میزان مقاومت الکتریکی محصول نهایی

ه) آب بندی

و) کاهش فشار قالب و امکان افزایش سرعت بتن ریزی با استفاده از پانل شاتکریت شده

۳-۱۰- اجرای پوشش بتنی تونل ها بر اساس اصول NATM

بر اساس اصل دوم NATM کنترل عملکرد سیستم نگهداری بایستی با ابزار دقیق انجام و طرح بهینه شود. بر اساس اصل سوم NATM برای استفاده از مقاومت ذاتی توده سنگ ، برای نگهداری جداره تونل از سیستم نگهداری انعطاف پذیر که باعث تغییر شکلپذیری کنترل شده سنگ می گردد، استفاده کرد. بر اساس

تکنولوژی بتن پیشرفته در زیر ساختها و شریانهای حیاتی مانند تونل های راه آهن و راه سازه بتنی باید دارای خصوصیات ذیل باشد:

الف) مقاومت مناسب

ب) دوام و عمر مفید زیاد

ج) طاقت و جذب انرژی بالا

د) قابلیت اجرای سریع و آسان

ه) سرمایه اولیه و هزینه نگهداری کم

و) سهولت و امکان پذیری ترمیم و بهسازی

شایان ذکر تمامی شرایط بر اساس اصل دوم NATM و بر اساس اصل سوم NATM را طرح دارار میباشد .

حداقل نیروی خمشی بلوکهای سقفی

بلوکهای تولیدی با عرض ۵۰ سانتی متر با ،در برابر بارهای حین اجرا باید با ۲۰۰ کیلوگرم به ازای هر ۳۰ سانتی متر طولبلوک باشد .این بار باید در نواری به عرض حداکثر ۷ سانتی متر در وسط بلوک اعمال شود .حداقل طول بلوک تولیدی توپر باید ۳۰ سانتی متر باشد .بدیهی است هرچه که عرض بلوک افزایش یافته یا ارتفاع آن کاهش یابد .بلوک مورد نظر برای تحمل نیروی لازم ،باید از مقاومت بالاتری برخوردار باشد . مقاومت لازم برای بلوکهای با عرض بیشتر از ۵۰ سانتی متر،از معادله زیر محاسبه شود :

$$\sigma \geq 200 \times d/50$$

σ = گرم کیلو حسب بر بلوک خمشی نیروی

d = عرض بلوک بر حسب سانتی متر

۳-۱۱- مقایسه با سیستمهای استاندارد :

الف) برتری در امکان اجرای انواع نازک کاری و سطوح تمام شده داخلی و خارجی .

ب) عدم انتقال حرارت و تعریق نسبت به سیستم های دیوار باربر بتنی و امثالهم (شایان ذکر است دیوارهای

بتنی به شدت در برابر انتقال حرارت نقش هادی را بازی کرده و در اختلاف دماهای معمول در فصول سرد

به خودی خود علاوه بر تعریق از داخل - که منجر به تخریب نازک کاری می گردد - در صورت اجرای عایق

حرارتی با محدودیت های اجرایی برای استفاده از طیف گسترده ای از مصالح و روش های نازک کاری روبه

رو می گردند)

ج) استفاده به عنوان عایق کف درویلاها و ظطبقه اول ساختمانهای روی پیلوت و عایق حرارتی بام و

شیروانیی نیز به سازه نگهدارنده .

د) لایه عایق و مستحکم زیر سیستم های گرمایش از کف با لوله های چند لایه

ه) عایق کاری دیوارهای خارجی ساختمانهای موجود .

و) پرکننده عایق درز انقطاع بین ساختمانهای مجاور .

ی) قالب ماندگار و عایق برای اجرای سازه های نگهبان ، دیوارهای حائل و دیواره های دیافراگمی پیش

ساخته یا بتن درجا ، درپایدارسازی گودبرداری ها.

ز) استفاده در اجرای دیوار زیرزمین ها و کف و جداره استخرها

۳-۱۲- سهولت در اجرا:

استفاده از حداقل نیروی انسانی برای بارگیری تخلیه، حمل داخل کارگاه و حمل به طبقات، به لحاظ سبکی و بزرگی قطعات، نود درصد از کار مربوطه حذف می گردد.

۱ متری طول آنها برابر ارتفاع طبقه دیوار تولید می گردد، تعداد / - برای اجرای دیوار از آنجا که عرض اعضا ۲ نیروی انسانی لازم برای اجرا، نسبت به ساختمانهای رایج (باابعاد آجر یا بلوک ۲۰ در ۱۰ یا ۲۰ یا ۵۰ با ۶۰س) به تابعیت از مساحت نمای قطعات (مثلا ۱۲۰ در ۳۰۰ س) و نیز عدم نیاز به ساخت و حمل و اجرای ملات بین هر رج کاهش مییابد.

از آنجایی که برای حفظ ایستایی ها این گونه دیوارها، از بتن پاششی استفاده می گردد و در آن از مصالحی مشابه مات ماسه سیمان استفاده میگردد که در تمامی دیوارهای معمولی، (دیوارهای نمای سنگ یا سیمانی، دیوار سرویس ها، آشپزخانه، فضای مرطوب و نیز دیواره های سمت همسایه) کاربرد دارند برای این چنین آیتمی به لحاظ مقایسه، نمیتوان آن را کار اضافه در نظر گرفت.

در ساختمان های سنتی برای سایر فضاهای داخلی غالبا از پوشش گچ و خاکی برای زیر سازی و رسیدن به سطحی قابل سفیدکاری و تیز کننده کاری، جهت عبور مسیرهای لوله کشی و سیم کشی استفاده میگردد. حذف کامل این آیتم برای دیوارهای پانلی (شامل مسالح و دستمزد) ضمن جبران هزینه و زمان صرف شده ملاتهای پاششی دوطرف باعث صرفه جویی در کندن شیارهای روی دیوار و متعاقب آن، جمع آوری و حمل نخاله گچ و خاک و خرده سفال یا بلوک میگردد. (برای اجرای تاسیسات توکار، در دیوارر پانلی کلیه مسیرها باذوب کردن سریع یونولیت، توسط سشوار صنعتی اجرا میشوند.)

۳-۱۳- برخی از ایرادات و محدودیت های 3d پانل

الف) بکارگیری پانلهای تری دی به عنوان سقف نهایی (بام) به دهانه محدود تا ۵ متر و نیز سقف شیبدار ویلاها، از آنجا که بار دائم و دینامیکی به آن وارد نمی گردد مشکلی نداشته ولی در صورت افزایش دهانه به بیش از ۵ متر و استفاده از آن در کف آپارتمانها، به لحاظ نازکی سقف، مسائلی مانند خیز دراز مدت

(خزش)، انتقال لرزش و رفتار غیر مطمئن در برابر بارهای زنده زیاد مانند تجمعات و حرکات ریز ناشی از تسلیم یا شکست نقطه جوش ها در برابر تمرکز نیرو و عدم رفتار توام مناسب بین میلگردهای تقویتی اضافه شده به سقف و شبکه مفتول با قطر کم در بردارد (منظور استفاده از تری دی پانل به عنوان سقف و مشکل جزئیات آن)

ب) علیرغم رعایت طرح اختلاط و تحمل سختی کار در بتن پاشی زیر سقف، عملاً بازگشت مصالح سیمانی از زیر سقف و ریزش سنگدانه، کارایی و کیفیت بتن زیر سقف را کاهش داده و منجر به ایجاد محدودیت در تعداد طبقات ساخته شده با این سیستم می گردد. بدیهی است که نمایش بارگذاریهای ساکن (استاتیکی) روی سقفهای تری دی و یا قبول بتن ریزی در پای کار بر روی یک قطعه سقفی بلند تری دی و متعاقباً افراشتن و نصب آن روی سقف برای بتن ریزی از بالا، به علت سنگینی و نیاز به جرثقیل، بیشتر جنبه تبلیغاتی داشته و در عمل به صورت انبوه قابل استفاده و به صرفه نمی باشد

ج) جهت رفع این نقص نیاز به استفاده از سقفی بود که با ارتقاء سیستم سازه ای نیاز به بتن پاشی از زیر، در آن از بین رفته و مانند سقف های معمولی با بتن ریزی اجرا گردد. با انتخاب مدل کلی سقف های تیرچه بلوک که از سهولت اجرایی بالا، قابلیت انعطاف مناسب برای شکل ها و دهانه های متفاوت و امکان ایجاد بازشوهای کوچک و بزرگ معماری و تاسیساتی برخوردار بودند، نوعی قالب عایق ماندگار مسلح برای آن ابداع گردید که در سایتهای متفاوت و به طول نامحدود قابل تولید بوده و به علت وجود آرماتور حرارتی، خاموت برشی تیرچه، بلوک و پاشنه تیرچه با سطح تمام عایق در این سقف تنها آرماتور محاسباتی تیرچه در سایت نصب شده و سقف بلافاصله آماده بتن ریزی می گردد و آن بر خلاف سقفهای تری دی، نیاز به ذوب کردن پلی استایرن برای آرماتوربندی تقویتی و شاتکریت از زیر نمی باشد و از سهولت اجرایی بالایی برخوردار است.

فصل چهارم

محاسبات و روش های
اجرایی طرح به صورت
موردی تونل های راه
دسترسی به سد بختیاری

۴-۱- NATM پیشرفته

توسعه و ساخت تونل در ۴۰ سال گذشته در نروژ آغاز شده است . در حلیکه تعداد کمی تونل در این مدت ساخته شده بود یعنی ۷۵۲ کیلومتر در ۶۲۰ تونل تا سال ۲۰۰۲ ساخته شده بود.

در حال حاضر بطور سالیانه ۵۰ تا ۶۰ هزار متر مکعب عملیات پاشش شاتکریت تقویت شده انجام میگیرد.

نظریه ناتم پیشرفته بر اساس تحکیم منطبق بر اساس سنگ در بر گیرنده سازه طراحی انجام میگیرد.

تحکیمات نهایی در دو تونل بزرگ و ملیدرکشورهای نروژ و اطیش بر اساس شاتکریت و راک بولت طراحی و اجرا شده است .

۴-۱-۱- تفاوت بین NATM و NMT

به نظر میرسد از ناتم در زمین های نرم و سست و یا حتی کاوش های باستان شناسی میتوانیم انتظار کمک موثرتری داشته باشیم . در این روش با تشخیص موثر موقعیت دسته درزه ها over break متناسب با وضعیت سازه به وضعیت پایداری مناسب برسیم که در آن حلقه تحمل بار کامل شده است .

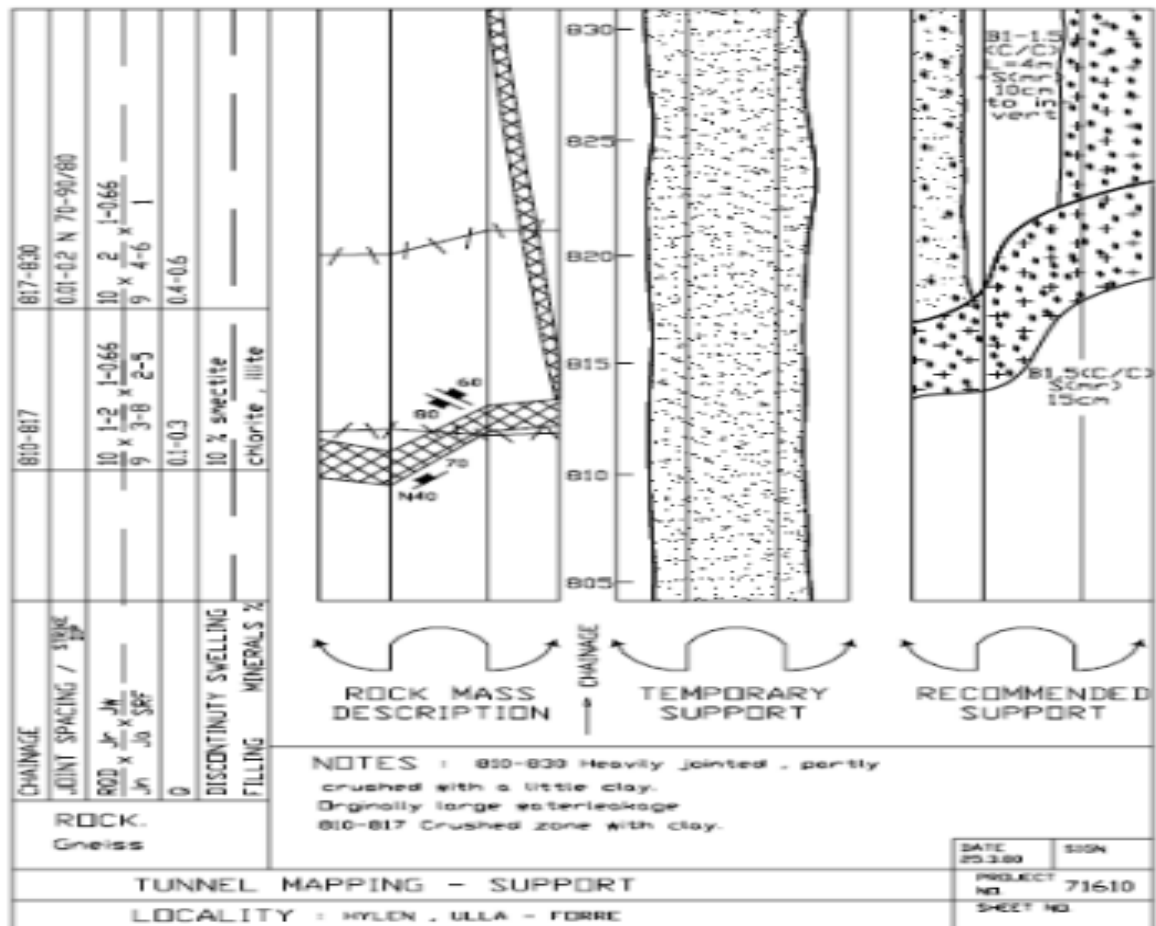
در این روش مهندسین اجرا و ناظر نقش بسیار مهمی در مورد اجرای زمان تحکیمات ایفا مینمایند.

درسنگ هایی که سخت تر هستند و بعضاً حالت ترد و شکننده دارد و مستعد over break هستند مجموعه فولاد سخت و محکم به همراه تیرهای مشبک (3d پانل) در شیوه بالقوه مناسب است .

دسته درزه هایی که با لایه های رس پر شده اند بطور بالقوه ناپایدار و خطرناک بوده و بایستی توسط شاتکریت مسلح به الیاف تحکیم گردند. به یقین از حالت (Fibre reinforced (sfr به همراه یک تحکیم سیستماتیک با تغییر فواصل میتواند بعنوان تحکیم موقت یا دائم در تونل ها بکار رود.

ضخامت حلقه تحمل بار RRS (reinforced rib of shotcrete) میتواند بعنوان مورد نیاز و مطابق مشخصات مورد نیاز سازه از شبکه های مشبک (3D پانل) به علاوه ریب های فلزی تحمل باربری در سازه داشته باشد.

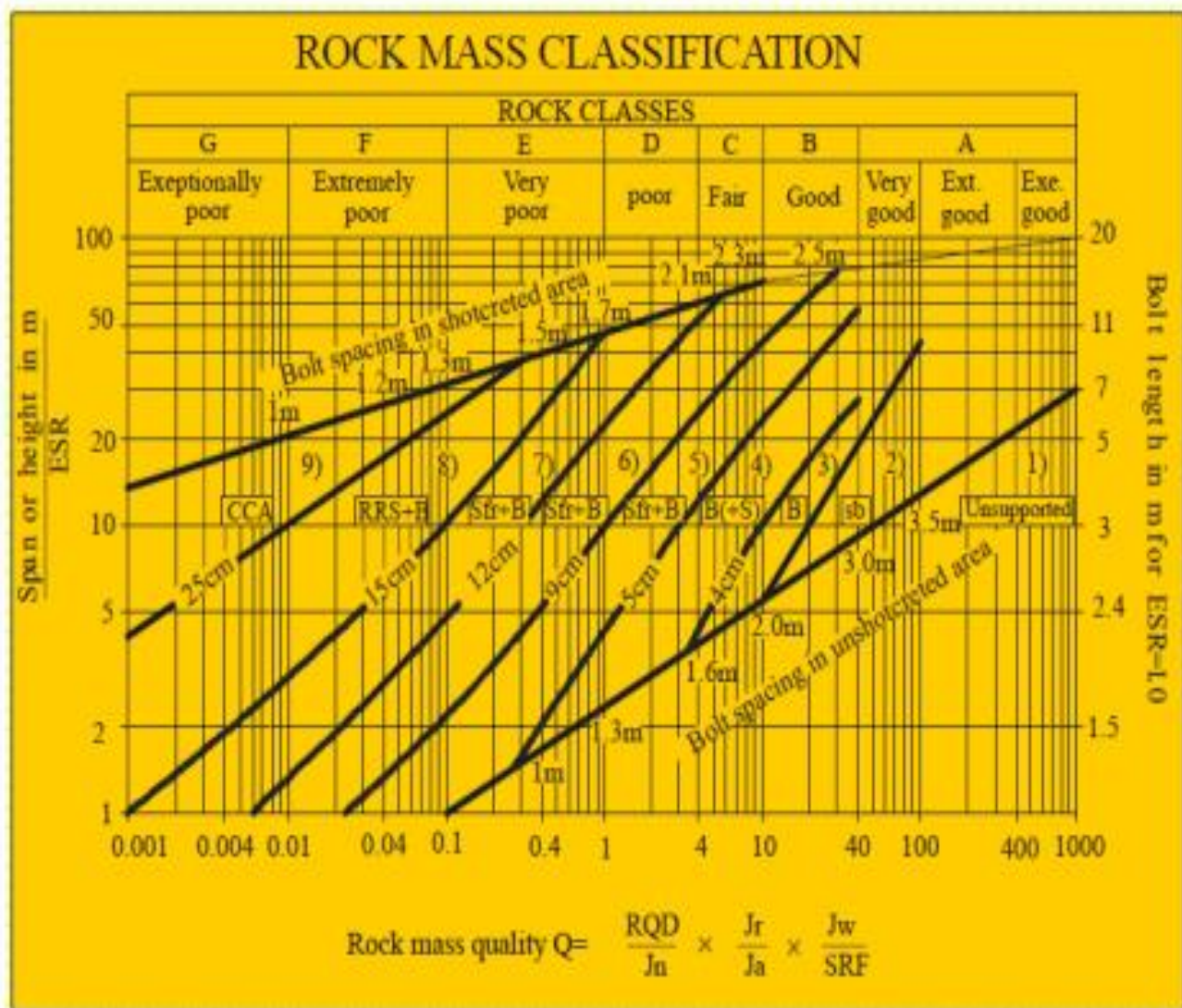
نیاز اساسی برای این کار تهیه برداشت های زمین شناسی (mapping) است که میتواند بعنوان اسناد واقعی از سنگ در بر گیرنده سازه تونل باشد. شکل ۴-۱ را نشان می دهد.



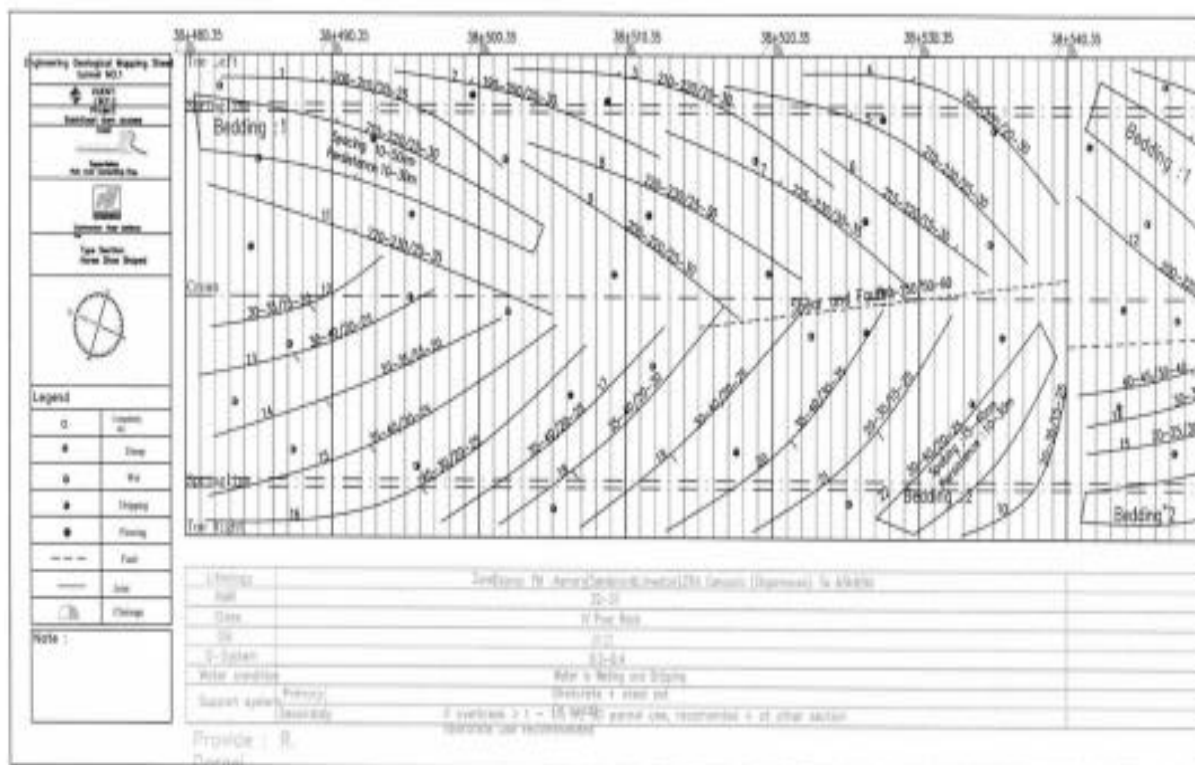
شکل ۴-۱- شیت علمیات کرگیری

Q سیستمی رو به جلوست و در NMT نمود بیشتری پیدا کرده است و در واقع میتوان گفت اساس روش نروژی است. به رغم اینکه بعضی از تونل ها در سنگای سخت حفاری میشوند اما در مواردی منطقه گسلیده بوده و سازه را تحت تاثیر قرار داده و بصورت دگر سان شده که میتواند تونل ها را نیازمند انجام تحکیمات کند.

تحکیمات در تونلها و سازه های بزرگ با هدف امنیت در زمان حفاری (دوره ساختمان) و دوره بهره برداری در نظر گرفته شده و در شرایط اجرایی تفاوت های مهمی با هم دارند که تمامی این روش ها براساس تغییرات Q لحاظ میگردد. شکل ۴-۲- نحوه طبقه بندی توده سنگ براساس سیستم Q را نشان میدهد.



شکل ۴-۲- نحوه طبقه بندی توده سنگ براساس سیستم Q

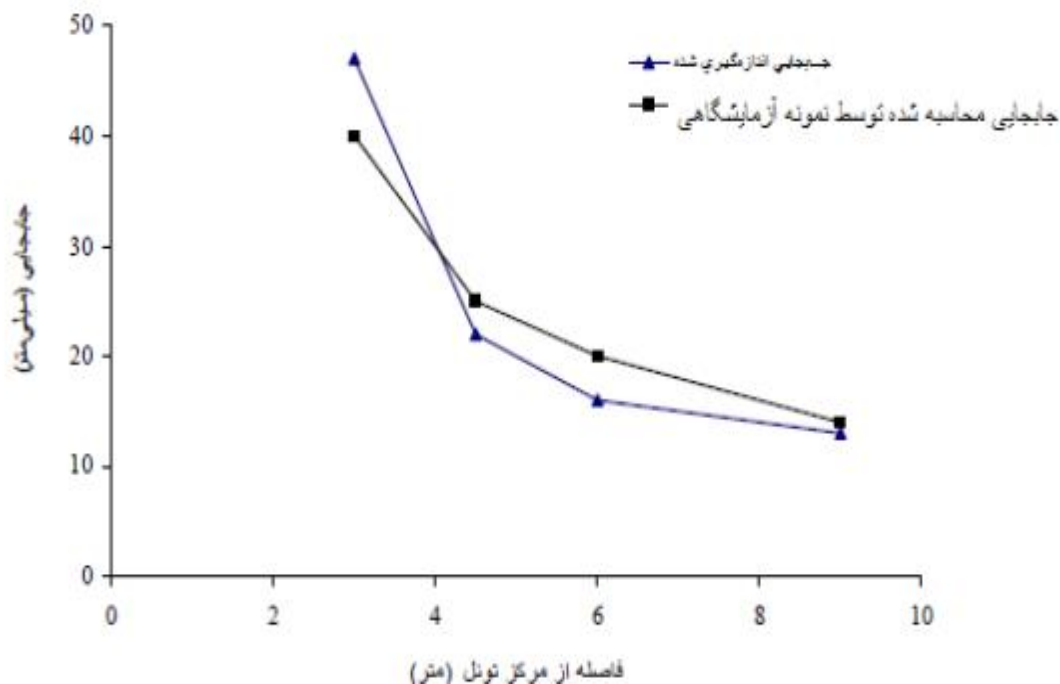


شکل ۴-۳ - Mapping در تونل را نشان می دهد.

روش ها به ترتیب از نوع ساده و سبک در شرایط بهتر Q تا تحکیمات سنگین تر در شرایط ناپایدار زمین متغیر است . این تغییرات شامل طول و فاصله بین راک بولت ها- ضخامت و مقاومت شاکریت ها را میتوان با سیستم Q طراحی کرد.

۴-۲- تحلیل پایداری:

جهت تحلیل پایداری تونل از روش کنترل مستقیم کرنش (DSCT) که توسط ساکورایی (۱۹۸۲) ابداع گردیده استفاده شده است . در این روش ابتدا با استفاده از داده های کشیدگیسنج نمودار کرنش عمق رسم میشود. سپس کرنش های بوجود آمده در توده سنگ های پیرامون تونل با کرنش بحرانی مقایسه میشوند. اگر کرنش بوجود آمده در اطراف تونل کمتر از کرنش بحرانی باشد تونل کاملاً پایدار خواهد بود. در غیر این صورت باید ترتیبی اتخاذ کرد که سیستم نگهداری مناسب تری در تونل مورد استفاده قرار گیرد تا پایداری تونل تأمین شود.



شکل ۴-۴- جایجایی در دیواره تونل

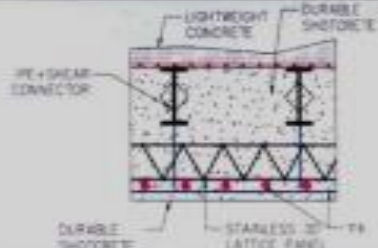
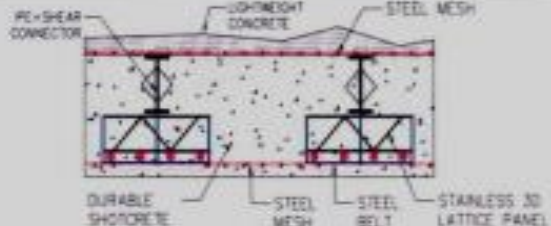
۴-۳- شرایط اجرایی NMT:

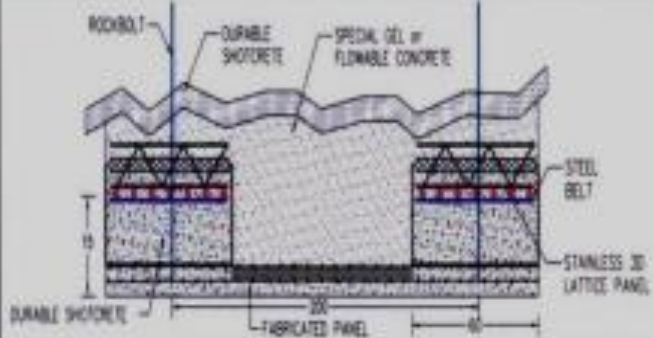
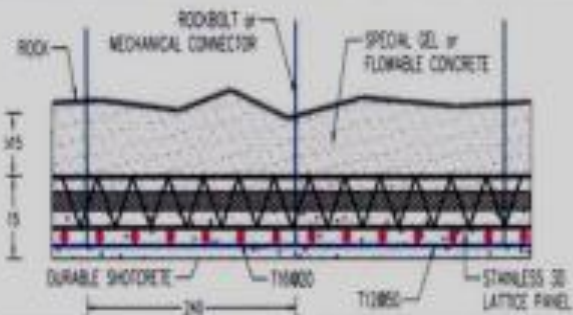
اولویت حفاری در تونلهایی است که توسط عملیات حفاری و اتشباری طراحی شده اند. در خارج از نروژ در تونل هایی که توسط رودهدر حفاری شده اند نیز این شیوه به چشم میخورد. تحکیمات موقت مانند (FR یا B) S+B به عنوان بخشی از تحکیمات دائمی تایید شده است.

در شرایط سنگ های ضعیف تر قبل از تزریق تماسی- استفاده از ارکهای تقویت شده توصیه میگردد. از بتن نیز بعنوان یک بازیگر در تحکیمات موقت در بعضی نقاط میتوان استفاده نمود.

در شرایط ضعیف و آبدار در طراحی NMT میتوان از پانل های عایق برای کنترل و وضعیت اب استفاده کرد. در این شرایط پیشرفت گاهاً تا یک کیلومتر میرسد.

مشخصات تیپ تک پوسته ای تونل ها با هدف عدم نیاز به قالب متحرک- عدم نیاز به تأسیسات بتن مرکزی- حذف زمان لازم برای لاینینگ نهایی- افزایش سرعت اجرا- افزایش دوام- عدم نیاز به تزریق تماسی

ردیف	شرح روش	Q	نوع زمین
۱		$Q < 0.01$	خاک
۲		$0.01 < Q < 1$	سنگ ضعیف

۳		$Q > 1$	سنگ خوب
۴		$Q > 1$	سنگ خوب

شکل ۴-۵- شرح روش تونل‌زنی

۴-۴- مشخصات طرح سد و نیروگاه بختیاری

سد بختیاری با ارتفاع ۳۱۵ متر بلندترین سد بتنی دوقوسی جهان خواهد گردید. این سد بر روی رود بختیاری که از سرشاخه های رود دز میباشد احداث خواهد شد. محل پروژه در استان لرستان و در ۵۷۰ کیلومتری جنوب غربی تهران قرار دارد. از لحاظ تقسیمات زمین شناسی این منطقه در پهنه

زاگرس چین خورده واقع شده است و سازند سروک متعلق به کرتاسه اکثر سنگ های محدوده ساختگاه را تشکیل میدهد. در کنار این پروژه، یک نیروگاه برق آبی با ظرفیت تولید ۱۶۰۰ مگاوات برق ساخته خواهد شد. این نیروگاه به صورت زیرزمینی و در فاصله حدود ۵۰۰ متری پایین دست محور سد، در کرانه چپ رودخانه احداث خواهد گردید. این نیروگاه شامل دو مغار، یکی برای محل قرارگیری ژنراتورها و دیگری برای استقرار مبدلها میباشد. مغار ژنراتور دارای ۲۵/۲۳ متر عرض، ۲/۴۶ متر ارتفاع و ۱۶۱ متر طول است. مغار ترانسفورمر دارای ۴/۱۳ متر عرض، ۲/۱۳ متر ارتفاع و ۱۸۲ متر طول است [۱].

مشخصات کلی طرح بصورت زیر میباشد :

کد طرح : ۴۰۶۰۱۰۹۵

عنوان طرح : سد و نیروگاه آبی بختیاری

محل اجرا: استان لرستان شمال غرب ایستگاه راه آهن تنگ پنج (هشتمین ایستگاه حد فاصل اندیمشک - دورود) در مسیر راه آهن تهران - اهواز و نقطه جغرافیایی به طول شرقی ۴۵°۱۰ و عرض شمالی

۳۲ ۵۶° ۲۳

کد و نام دستگاه بهره بردار: شرکت سهامی توسعه منابع آب و نیروی ایران

پیش بینی سال خاتمه طرح : ۱۳۹۶

۴-۴-۱- اهداف طرح

۱. تولید ۲۹۸۴ گیگاوات ساعت انرژی برق آبی در سال

۲. افزایش ۱۵۰۰ مگاوات به توان تولید برق کشور در ساعات پیک مصرف برق

۳. جلوگیری از ورود رسوبات رودخانه بختیاری به مخزن دز در در نتیجه افزایش عمر مفید بهره برداری دز

۴. افزایش حجم آب قابل تنظیم در حوزه رودخانه دز و در نتیجه امکان مدیریت بهتر منابع آب به منظور

افزایش سطح زیر کشت اراضی پایین دست

۵. کنترل سیلاب و جلوگیری از تخریب آن و بهبود شرایط ایمن در محدوده پایین دست سد.

۴-۴-۲- تاریخچه طرح

مطالعات مرحله اول طرح سد و نیروگاه بختیاری در اسفند ماه ۱۳۷۵، بمدت ۳۳ ماه، به مهندسی مشاور مهتاب قدس واگذار و گزارش های مربوط به مرحله اول طرح در اسفندماه ۱۳۷۹، تحویل شرکت آب و نیروی ایران شده است .

پس از انتخاب مجری طرح در سال ۱۳۸۳ و انتقال پروژه از معاونت طرحهای توسعه شرکت ، مذاکرات مربوط به انتخاب مشاور مرحله دوم طرح ادامه یافت و نهایتاً در تاریخ ۲۸/۳/۸۴ شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران انجام خدمات مهندسی مشاوره شامل بازنگری و تکمیل مطالعات مرحله اول ، انجام مطالعات مرحله دوم و تهیه اسناد مناقصه برای سد و نیروگاه بختیاری را به مشارکت مشاورین مطالعات طرح بختیاری که از:

شرکت خدمات مهندسی برق مشانیر

شرکت مهندسی مشاور دزآب

شرکت پویری سوئیس

شرکت مهندسی اشتوکی پارس

با مسئولیت مشترکاً، منفرداً و متضامناً تشکیل شده است ، واگذار نمود.

۴-۴-۳- موقعیت جغرافیایی طرح

ساختمان سد و نیروگاه بختیاری در بخش سفلاهی رودخانه بختیاری در استان لرستان و در بخش جنوب غربی ایران در دامنه های جنوب غربی کوه زاگرس چین خورده و در ناحیه ای به طول شرقی ۴۸ ۴۵ ۱۰ و عرض شمالی ۲۳ ۵۶ ۳۲ در شمال غرب ایستگاه تنگ پنج (هشتمین ایستگاه حد فاصل اندیمشک - دورود) در مسیر راه آهن تهران ن اهواز، بر روی رودخانه بختیاری واقع شده است .

همچنین ساختمان سد بختیاری به فاصله مستقیم حدود ۵۰ کیلومتری بالادست سد دز و پنج کیلومتری بالادست تقاطع رودخانه های سزار-بختیاری قرار گرفته است . شکل ۴-۶ مشخصات طرح سد و نیروگاه بختیاری را نشان میدهد.

۴-۴-۴- زمین شناسی منطقه سد بختیاری

محل مورد بررسی در شمال غربی پهنه زاگرس چین خورده، که از تعداد زیادی تاقدیس با یال های پرشیب و دره های عمیق با راستای موازی با امتداد زاگرس (N110-135) تشکیل شده است، قرار گرفته است . سازندهای زمین شناسی ناحیه شامل گرو، سروک، گورپی، امیران ، تله زنگو کشکان میباشد. لیتولوژی سروک شامل سنگ آهک سیلیس داری است که میتواند به هفت واحد (SV1-SV7) تقسیم شود. بطوری که بیشتر پروژه و تمامی بدنه سد و مغارهای نیروگاه در این سازند قرار گرفته اند ث محل نیروگاه در جنوب غربی تاقدیس سیاه کوه ، یکی از مهمترین بخش های زمین شناسی محل پروژه و در واحدهای SV5 و SV6 که از سنگ آهک تا سنگ آهک مارنی با میان لایه های سنگ آهک سیلیسی تشکیل شده اند ، قرار گرفته است . جزئیات لیتولوژی این واحدها در ذیل آورده شده است [۱].

واحد لیتولوژی

SV1 سنگ آهک تا سنگ آهک مارنی متوسط تا ضخیم لایه به همراه مارنوشیل

SV2 سنگ آهک تا سنگ آهک مارنی نازک تا متوسط لایه به همراه مارنوشیل

SV3 سنگ آهک مارنی تا سنگ آهک سیلیسی

SV4 سنگ آهک با گرهک های سیلیسی کوچک

SV5 سنگ آهک ضخیم تا خیلی ضخیم لایه با گرهک های سیلیسی بزرگ

SV6 سنگ آهک و آهک مارنی متوسط تا ضخیم لایه با میان لایه های نازک مارنی

SV7 سنگ آهک و آهک مارنی نازک تا متوسط لایه

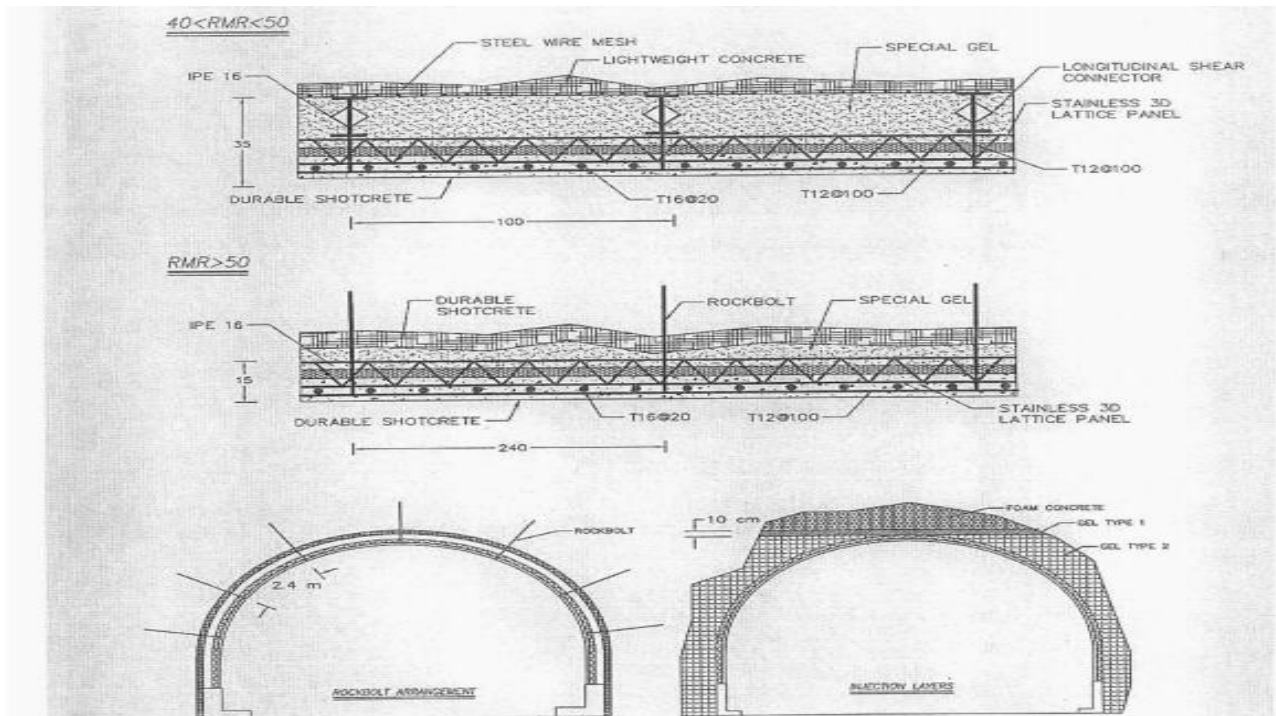
در محدوده قرارگیری سد و نیروگاه بختیاری یک چین خوردگی اصلی به نام تاقدیس سیاه کوه و سه گسل اصلی که به نام های F1,F2,F3 نامیده شده اند شناسایی شده است . گسل F1 در قسمت های پایین دستی مخزن سد و در یال شمال شرقی تاقدیس سیاه کوه و گسل F2,F3 در پایین دست محل سد حادث شده اند.

تاقدیس سیاه کوه حالتی کاملاً فشرده دارد بگونه ای که شیب لایه ها تحت تأثیر چین خوردگی شدید، سریعاً از وضعیت افقی به حالت کاملاً پرشیب تغییر مییابد . وجود فشارهای تکتونیکی بالا درساختمان سد بختیاری موجب بالا بودن سطح تنش ها در توده سنگ شده است . در تاقدیس سیاه کوه که گستره حضور آن بین مخزن ، ساختمان و پایین دست سد مشترک است ، دو دسته درزه اصلی وجود دارد . دسته درزه های موجود از نوع برشی بوده و عمود بر محور چین قرار گرفته اند [۱].

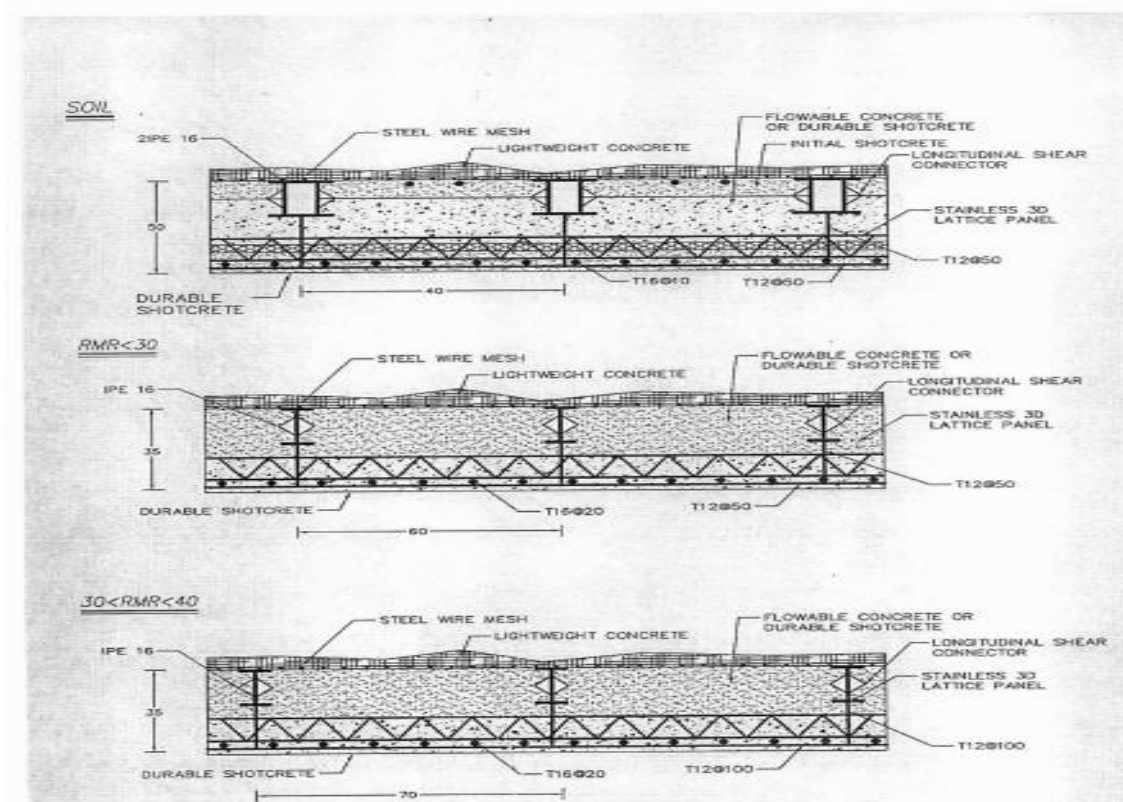
مشخصات سد		مشخصات نیروگاه و پست	
نوع سد	بتی ۲ قوسی	نوع نیروگاه	زیر زمینی
ارتفاع از پی	۳۱۵ متر	ظرفیت کل	۱۵۰۰ مگاوات
ارتفاع از کف	۳۰۰ متر	ظرفیت قابل افزایش تا	-
طول تاج	۴۳۴ متر	تعداد واحدها	۶ عدد
عرض تاج	۱۰ متر	متوسط انرژی سالانه	۲۹۸۴ گیگا وات ساعت
ترافیک تاج	۸۴۰ متر بالاتر از سطح دریا	نوع توربین ها	فرانسس با محور عمودی
ترافیک نرمال	۸۳۰ متر بالاتر از سطح دریا	سرعت اسمی	۳۷۲/۷ دور در دقیقه
سیستم احداث	۱۲۰۰×۲ متر	ترافیک نصب محور توربین	۵۲۵/۵
حجم مخزن	۴۸۴۵ میلیون متر مکعب	نوع شیرهای ورودی	پروانه ای
حجم مفید مخزن	۳۰۲۷ میلیون متر مکعب	فشار حداکثر	۱۶۰ بار
مساحت مخزن	۵۸۷ کیلومتر مربع	تعداد ترانسفورمرها	۱۸ واحد + ۱ واحد کمکی
طول مخزن	۵۹ کیلومتر	دیی طراحی نامی هر واحد	۱۰۳/۵ مترمکعب بر ثانیه
حجم آب تنظیمی سالانه	۳۳۳۵ میلیون متر مکعب	قدرت خروجی نامی ژنراتورها	۵۲۲/۳ مگا وات
نوع سرریز	توتالی درجه دار	نوع خطوط انتقال نیرو	۴۰۰ کیلو ولت
موقعیت سرریز	تکیه گاه راست	تعداد خطوط خروجی	۳ خط
ظرفیت تخلیه سیلاب	۵۷۰۰ مترمکعب	نوع پست	۴۰۰ کیلو ولت (فشرده)
احجام عمده طرح			
کل حفاری و سنگ برداری	۵,۱۰۰,۰۰۰ مترمکعب	حفاری و گمانه های تزریق	۵۸۰,۰۰۰ متر طول
حفاری زیر زمینی	۱,۰۰۰,۰۰۰ مترمکعب	طول تونلهای زیر زمینی	۵۵۰۰ متر
بتن رویان (بجز بدنه و سرریز)	۲۰۰,۰۰۰ مترمکعب	طول شفتهای عمودی	۱۵۰×۳
بتن بدنه سد و سرریز	۳,۱۲۵,۰۰۰ مترمکعب	ابعاد مخزن نیروگاه	۶۱×۴۶×۲۴ متر
بتن دوزی زیر زمینی	۲۰۰,۰۰۰ مترمکعب	طول جاده های دسترسی	۷۵ کیلومتر

جدول ۴-۱- مشخصات طرح سد و نیروگاه بختیاری

۴-۴- طراحی موردی برای تونل های راه های دسترسی به سد بختیاری:



شکل ۴-۶- تیپ نهایی تحکیمات در سنگ های نسبتاً خوب



شکل ۴-۷- تیپ تحکیمات در سنگ های ضعیف



UK Construction Technologies

شرکت ساختمانی بتون پاش

توليدات و تکنولوژی های پیشرفته در سازه های بتنی



شماره: ۹۶۰-۹۶۸-۹۶۸

تاریخ: ۹۶۸-۹۶۸-۹۶۸

مکان: تهران

پیش فاکتور

شرح کار و راه مصرف		شرکت خاز راه مصرف		توضیحات	
ردیف	شرح کالا	واحد	مقدار	بها واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)
۱	لتنس پانل	مترمربع		۹۰۴۴۰۰۰	
۲	ADVA Flow	لیتر		۹۸۰۰۰	
۳	UK MonoFixFB ₂	کیلوگرم		۹۲۰۰۰	
جمع کل:					
تخفیف می شود ۵٪ ارزش افزوده:					
جمع نهایی:					

• حساب جام پانک ملت به شماره ۱۷۴۹۸۱۷۲/۹۲ به نام شرکت بتون پاش

• بابت هزینه های سوپرایزی بیمه مسئولیت مدنی-آزمایشات NDT، بارها، هر مترمربع سطح یکمدهزار ریال دریافت میشود.

• کلیه کسورات قانونی بر عهده کارفرما بوده و پس از پرداخت مالیات یک نسخه از فیش پرداختی به شرکت بتون پاش تحویل میگردد.

مهر و امضاء فروشنده:



تهران - خیابان آفریقا - پلاک ۳۳ - شماره ۲۲ - طبقه ۱۲ - واحد ۴۷ : تلفن : ۰۲۱-۵۲۹۵۴ - ۲۲۰۱۱۹۲۶ : فکس : ۰۲۱-۱۲۵۸۲
 Apt.47, No.22, Golshahr Blvd., Africa Ave., Tehran 19155-IRAN Tel : (+9821) 22011931 & 22952954 Fax : (+9821) 22012582
 E-mail : betonpash@yahoo.com www.betonpash.com

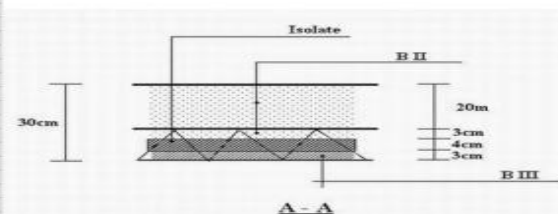
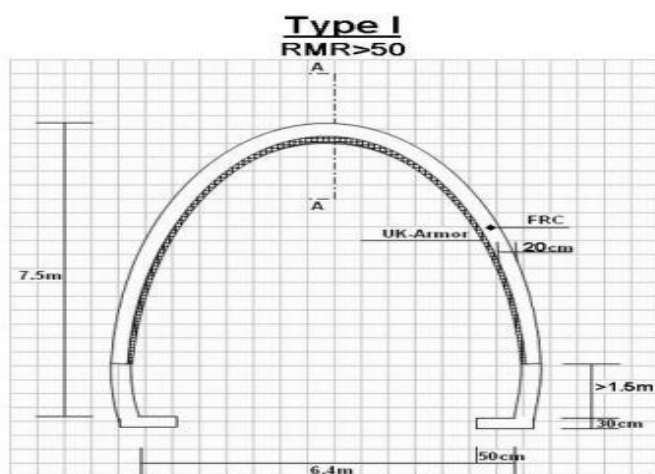
London Office: Unit 307, 315Chiswick High Road, Chiswick,W4 4HH Tel: (020)8994 6239 Mob: 07971 971 515
 info@ukconstructiontechnologies.com
 E-mail From: info@ukconstructiontechnologies.com
 Turkey Office: Kilyospe Muh., Recepçaya Cad. No. 15r7, Taksim/ Istanbul - TURKEY
 Tel: (+90212) 361 69 01 Fax: (+90212) 361 69 03 ukconstruction.tr@gmail.com

شکل ۴-۸- قیمت های نهایی اعلام شده برای عملیات 3D پنل

۴-۵- محاسبات ظرفیت مقطع جایگزین

به منظور تامین نگهداری برای تونل بختیاری با سطح مقطع . شکل ۴-۹ نوع تک پوسته ای پوشش بتنی بکار رفته و پانل های استفاده شده با مشخصات زیر ایجاد گردید.

استفاده از نوع تک پوسته ای منجر به رسیدن به اهداف عدم نیاز به قالب متحرک، عدم نیاز به تأسیسات بتن مرکزی، حذف زمان لازم برای لاینینگ نهایی، افزایش سرعت اجرا، افزایش دوام و عدم نیاز به تزریق تماسی میگردد. سطح مقطع تونل مورد بحث در شکل ۴-۹ دیده می شود مزایای استفاده از این سیستم در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است . جدول ۴-۱ نمونه هایی از کارهای مشابه انجام شده در سرتاسر جهان را نشان میدهد.



شکل ۴-۹- سطح مقطع

• سرعت بالا • سهولت اجرا	اجرا
• تطابق رفتار با زمین و شکل پذیری بالا • جذب بار و تمرکز تنش پائین	ایمنی و رفتار
• حجم حفاری و مصالح و ضخامت کمتر • عمر مفید بالاتر و کاهش هزینه های نگهداری	اقتصاد

شکل ۴-۱۰- مزایای کلی سیستم تک پوسته ای

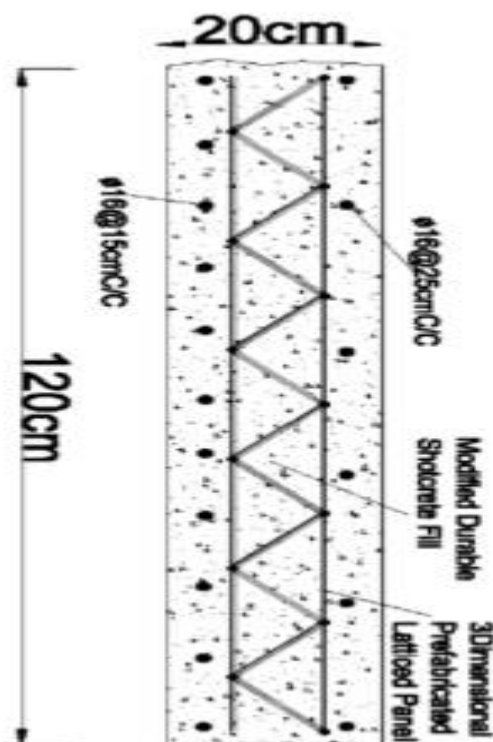
	PROJECT	COUNTRY	COMMENTS
1	Dublin Port Tunnel	EIRE	Twin Bore Tunnel, Sprayed Lining
2	Yacumba	Venezuela	Irrigation Tunnel - Sprayed Concrete
3	Lake Mead, Nevada	USA	Intake shafts & Tunnels
4	West Frankfort, Kentucky	USA	Storm Drainage Tunnel - Final Lining
5	Mount Blanc, Tarragona	SPAIN	High Speed Rail Tunnel
6	Several Gold Mines, Nevada	USA	Lining of Mines
7	Cobriza	PERU	Copper Mine
8	Tizapa, Zacazonapan	MEXICO	Gold Mine
9	Road Tunnel	NORWAY	
10	Chungar, Andes	PERU	Mine
11	Atacocha, Andes	PERU	Mine

جدول ۴-۲- پروژه های مشابه در جهان

۴-۶- مشخصات مقاطع

پوشش اولیه موجود شامل IPE180 در فاصله ۳۰ سانتیمتر که فضای بین آنها با بتن پاشی با ضخامت بین ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتر و دو لایه شبکه میلگرد حرارتی نمره ۶ بصورت ۱۰×۱۰ سانتیمتر میباشد.

پوشش نهایی موجود شامل بتن مسلح در جا با ضخامت ۳۰ سانتیمتر با دو لایه میلگرد نمره ۱۴ در فاصله ۲۰ سانتیمتر در بالا و پایین در تاج تونل با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال و فولاد AIII و پوشش بتن ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است .



شکل ۴-۱۱- جزییات پوشش اولیه

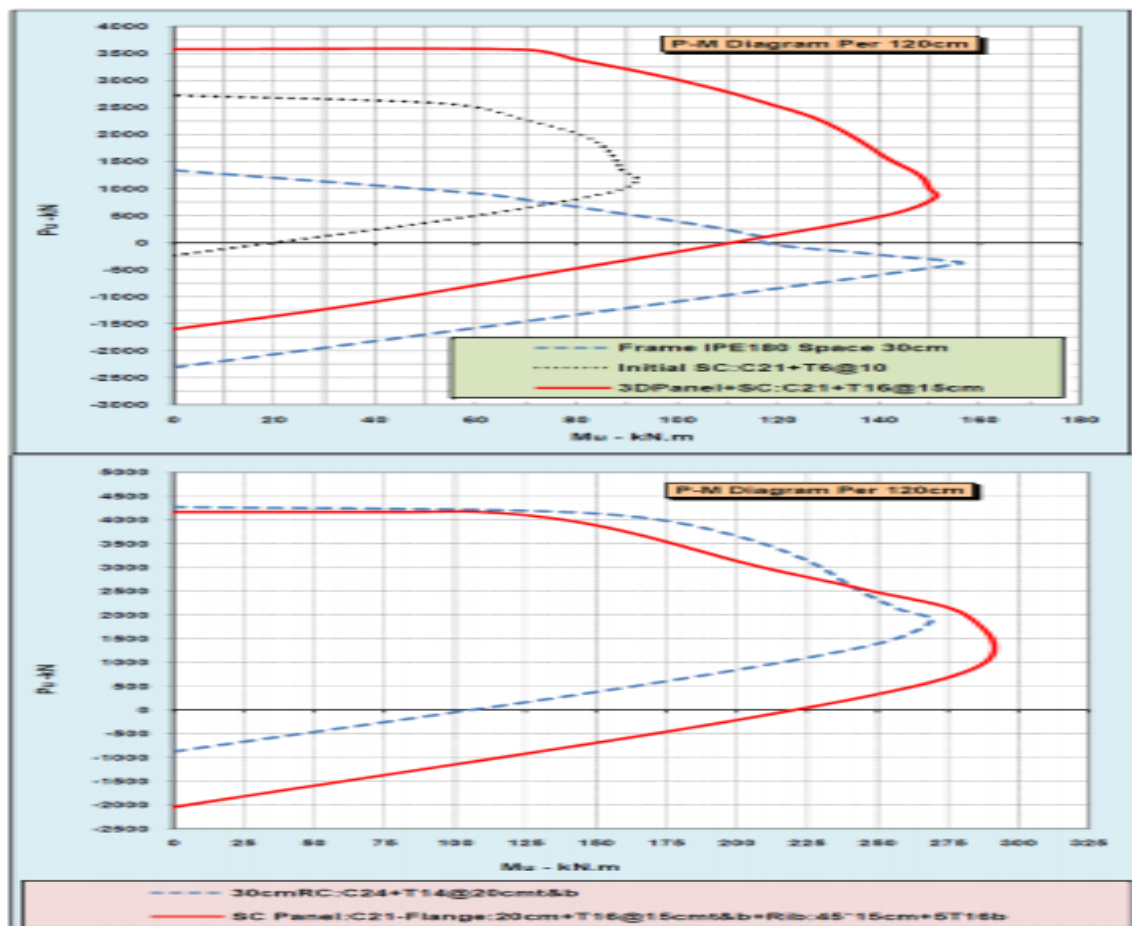
پوشش جایگزین شامل پوشش اولیه ۲۰ سانتیمتر با بتن پاشیده پایا در داخل پانل باضافه ریب بتنی با ۱۵ میلیمتر در فواصل ۱۰ سانتیمتر و با مقاومت جاری شدن ۶۰۰ مگاپاسکال ، ظرفیت خمشی و محوری مقطع مقداری افزایش مییابد. مقاومت فشاری بتن پاشیده ۲۰ مگاپاسکال و فولاد AIII و پوشش بتن ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است [۲۶]-[۳۰]. (انجام شده در تونل های راه اصلی پاتاوه - دهدشت)

۴-۷- مقاومت خمشی و محوری

مقاومت خمشی مقاومت در برابر تنش های القایی درونی در یک المان ساختاری در هنگام اثر یک نیرو یا ممان خارجی بر آن و تمایل به ایجاد خمش است . در حالت سیستم موجود بعلت عدم انتقال برش ناشی از خمش بین پروفیل و بتن پاشیده ، ظرفیت خمشی آنها به یکدیگر قابل ترکیب نبوده و هر یک بطور جداگانه عملکرد خمشی دارند. اما بتن پاشیده نقش انتقال بار محوری و انتقال بار از زمین به پروفیل فولادی را ایفا میکند. در هر دو نوع مطابق شکل ۳-۴ ظرفیت سیستم جایگزین در حالت خمشی و محوری

بیشتر بوده و پاسخگوی بارهای وارده می باشد. بعلاوه بعلت اضافه شدن میلگردهای پانل با قطر ۳ میلیمتر در فواصل ۱۰ سانتیمتر و با مقاومت جاری شدن ۶۰۰ مگاپاسکال ، ظرفیت خمشی و محوری مقطع افزایش مییابد. البته در مجموع ملاک مقایسه منحنیهای اندرکنش است که برای بارهای وارده پاسخگو است . حالت کشش خالص هم در پوشش اولیه اتفاق نمیافتد [۲۷].

در حالت بارهای نهایی هم منحنی اندرکنش بصورت شکل ۴-۱۲ است . در این حالت هم ظرفیت نهایی دو مقطع معادل بوده ضمن اینکه ظرفیت خمشی و کششی پوشش جدید بسیار بیشتر است .



شکل ۴-۱۲- نمودارهای نهایی بارهای هم منحنی [۳۴]

۸-۴- مقاومت برشی

اضافه نمودن پانل جهت تأمین مقاومت برشی اضافی مربوط به خاموت های پیش بینی شده در طرح میباشد که میتواند در طرح نهایی بسته به نیاز تأمین شود. اضافه نمودن خاموت بیشتر بصورت سنجاق در پانل سه بعدی بسیار سریع و آسان و قبل از نصب پانل روی زمین هم قابل انجام است [۲۸].

برای سیستم متشکل از پانل با این توضیح که شبکه خرپایی دارای خاموت های با قطر ۳ میلیمتر بصورت دو طرفه با زاویه ۴۵ درجه و تنش جاری شدن $F_y=600\text{MPa}$ میباشد، مقاومت معادل مقطع عبارتست از مجموع مقاومت بتن و شبکه خرپایی. با محاسبه ظرفیت پانل بطور مجزا و با فرض عمق مؤثر ۱۴۰ میلیمتر در جهت اطمینان برای عرض ۱۲۰ سانتیمتر خواهیم داشت [۳۱]-[۳۳].

$$A_{v-per-stirrup} = 7.1\text{mm}^2$$
$$\phi V_{s-5\text{ hours}} = 11\text{ton} / 120\text{cm}$$

در پوشش اولیه مقاومت برشی مقطع موجود در عرض ۱۲۰ سانتیمتر با پروفیل های IPE180 حدود ۲۲ تن میباشد. برای سیستم جایگزین مجموع مقاومت برشی برای بتن پاشیده در ساعات اولیه که به مقاومت نهایی نرسیده است تقریباً همین مقدار بدست می آید.

در پوشش نهایی مقاومت برشی مقطع موجود در عرض ۱۲۰ سانتیمتر ۲۰ تن و مقاومت برشی مقطع تک پوسته ای ۳۵ تن خواهد بود.

۹-۴- مراحل اجرایی

پوشش تک پوسته ای در دو مرحله اجرا میشود:

- ۱- مرحله اول اجرای همان سیستم نگهداری اولیه با جایگزینی قاب و بتن پاشی با پانل با بتن پاشیده اصلاح شده پایا است .

۲- مرحله دوم اجرای ۱۵ سانتیمتر دوم بتن پاشیده پایا با نصب پانل و میلگردهای مورد نیاز روی آن بصورت ریب است . در نهایت هم پرداخت نهایی روی سطح با پاشیدن ملات الیافی یا پرداخت دستی در صورت نیاز قابل انجام است [۳۵].

در مقایسه فنی و اقتصادی روش احداث پوشش نهائی تونل ها با (روش تک پوسته ای) و روش جاری (روش دو پوسته ای) در شرایط یکسان ظرفیت باربری :

الف) کاهش هزینه به میزان حدود ده درصد

ب) زمان اجرا حدود یک چهارم

ج) دوام حدود ۵ برابر

اجرای بخش دوم میتواند با فاصله مناسب از پیشروی حفاری تونل و اجرای تحکیم اولیه صورت پذیرد.

۴-۹-۱- طرح اختلاط بتن روان و شاتکریت پایا

طرح اختلاط جهت تولید بتن روان و شاتکریت پایا در هر متر مکعب ، مطابق جدول ۴-۲ است .

ماده	بتن روان	شاتکریت پایا
ماسه (KG)	۱۲۰۰	۱۷۰۰
سیمان (KG)	۴۰۰	۴۰۰
نخودی (KG)	۵۰۰	-
Adva Flow (lit)	۲	در شاتکریت تر اضافه می شود
UK Monofix FB2 (KG)	-	۲
پودر سنگ (KG)	۱۵۰	-
آب (Lit)	۱۵۰	۱۶۰

جدول ۴-۳- طرح اختلاط بتن و شاتکریت استفاده شده [۳۷]

۴-۱۰- توصیه ها و پیشنهادات

با هدف احداث تونل هایی که بتوان مانند یک آثار تاریخی سالیان دراز از آن بهره برداری کرد:

الف) رعایت حداقل اصول اولیه اعلام شده برای روش جاری احداث و سیستم نگهداری تونل ها و اصلاح سریع آن با صدور بخش نامه های اداری از طرف کارفرمای محترم به مهندسین مشاوران جمله :یک پارچه کردن پوشش اولیه و ثانویه - سیستم آب بندی و زهکشی مناسب - حفاظت بتن و آرماتور از خوردگی [۳۶]

ب) جایگزینی تدریجی روش های پیشرفته و نوین امروزی به جای روش جاری سیستم نگهداری تونل ها

ج) با توجه به اینکه همه یافته های تکنولوژیک در کنفرانسها و سمینارها و شبکه اینترنت وارد نمیشود ولی در نمایشگاه های تخصصی آخرین تکنولوژیهای اجرایی مطرح میشود لازم است اعتباری برای شرکت ، مدیران و کارشناسان دست اندرکار این رشته در دستگاه کارفرما و مشاور جهت حضور در این نمایشگاه ها در بودجه طرح پیش بینی شود.

د) با توجه به اینکه مانیتورینگ یکی از کارهای اساسی کنترل محاسبات - عملیات اجرایی یک تونل در حین بهره برداری است و لازم است روش های پیشرفته ای برای رفع معایب احتمالی اعمال شود و با توجه به اینکه سوابق فنی طرح در سیستم کارفرما و مشاور دوران ساخت موجود می باشد پیشنهاد میشود نگهداری سیستم حداقل تا ۲ سال پس از تحویل قطعی توسط کارفرمای زمان ساخت انجام گیرد و در موافقتنامه طرح این مدت با پیش بینی اعتباری در زمان ارائه طرح به سازمان برنامه ذکر شود.

۴-۱۱- کنترل کیفیت ، آزمایشات و پایش و ابزاربندی

۴-۱۱-۱- رفتارسنجی و ابزاربندی

رفتارسنجی، تکنیکی برای بررسی و مراقبت تغییرات زمین می باشد که از طریق آن می توان خطرات احتمالی در سنگ را به صورت کمی و کیفی کنترل نمود.

هدف اصلی اندازه گیریهای برجا، تعیین شرایط پایدار در یک حفره زیرزمینی توسط تهیه اطلاعات کمی ، بر اساس رفتارنگاری توده سنگ و نگهداری است .

بطور کلی می توان اهداف رفتار نگاری را بصورت زیر خلاصه نمود:

الف) بررسی عملکرد سیستم نگهداری، پیش بینی مشکلات و انجام اصلاحات

ب) کنترل صحت فرضیات ، مدل های تصویری و مقادیر مشخصات توده سنگ که در محاسبات طراحی بکار می روند.

ج) تامین ایمنی در خلال عملیات ساختمانی و بهره برداری و دادن اخطار به موقع مثلا در مورد توسعه جابجاییهای غیر معمول زمین ، فشار آب های زیرزمینی و بارهای اعمال شده بر عناصر نگهداری

د) بررسی تاثیر عملیات اجرایی در محیط اطراف

۴-۱۱-۲ آزمایشات کنترل کیفی

در مورد پانل های سه بعدی و شاتکریت استفاده شده در تونل آزمایشات کنترل کیفیت متنوعی به منظور بررسی پارامترهای گوناگون آن استفاده میشود مهمترین این آزمایشات به شرح زیر می باشد:

الف) مقاومت فشاری

ب) مقاومت خمشی

ج) مدول الاستیسیته

د) وجود حفرات

ه) چسبندگی لایه ها به یکدیگر

و) همگرا سنجی

ی) تنش سنجی

۴-۱۱-۳ تست های غیر مخرب بتن

تست های غیر مخرب به منظور اندازه گیری پارامترهای ماده بدون آسیب رساندن به نمونه انجام میشوند. تعیین مقاومت فشاری، کشش و سختی بتن بصورت غیر مخرب انجام میشود. شکل ۴-۱ دستگاه چکش اشمیت جهت اندازه گیری مقاومت فشاری و کشش بتن را نشان میدهد.



شکل ۴-۱۳- چکش اشمیت جهت اندازه گیری مقاومت فشاری، کششی و سختی بتن همراه با کرگیری

For the non-destructive detection of corrosion in the reinforcement bars of concrete building elements. Discover rust before it becomes visible and has caused disastrous damage.

For the first time CANIN renders it possible to make a large area assessment directly on the display of an indicator.

CANIN sets new standards in the sphere of building structure examination. The large display, just 9 keys for simple operation using menu technique and the intelligent memory render CANIN a unique instrument worldwide.

240 measurement values are represented on the easily legible display in grey levels. 120,000 measurements can be stored in the intelligent memory and called up with the cursor keys as measuring fields of 240 measurement values. A measuring surface of more than 4000 m² can be managed with the large memory.

Potential field measurement

The corrosion of steel in concrete is an electrochemical process. It represents a galvanic element – similar to a battery – producing an electric current, measurable as an electric field on the surface of the concrete. This potential field can be measured with an electrode known as a half-cell. By making measurements over the whole surface, a distinction can be made between corroding and non-corroding locations. There are many scientific studies describing this method which has been known in the USA for more than

Printouts directly to scale with CANIN without PC via RS 232C

Meter 0.00 2.00
0.00
0.40
0.80
1.20
1.60
2.00
2.40
2.80
Printer: KODAK DICONIX 180 si serial

Meter 0.00 2.00
0.00
0.40
0.80
1.20
1.60
2.00
2.40
2.80
Printer: HP DeskJet 500 C

The printouts contain:

شکل ۴-۱۴ دستگاه اندازه گیری برای شناسایی خوردگی آرماتورهای بتن و زنگ زدگی قبل از اینکه بصورت چشمی قابل تشخیص شود و موجب خسارات زیاد گردد.



شکل ۴-۱۵ دستگاه اندازه گیری مقدار حفرات موجود در بتن و اندازه گیری مقدار تخلخل آن بصورت غیر مخرب را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۶ دستگاهی به بسادگی میتواند مقدار ضخامت بتن قرار گرفته بر روی آرماتور را اندازه گیری نماید.

Resistivity Meter

Measurement of the electrical resistance of reinforced concrete components for assessing the risk of corrosion.

The corrosion of steel in concrete is an electro-chemical process which generates a flow of current and can dissolve metals. The lower the electrical resistance, the more readily the corrosion current flows through the concrete and the greater is the probability of corrosion. The metal loss as a function of time, i.e. the rate of corrosion, also increases. The literature mentions limits of possible corrosion based on scientific work, e.g:

with $\rho \geq 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$	corrosion is improbable
with $\rho = 8 \text{ to } 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$...	corrosion is possible
with $\rho \leq 8 \text{ k}\Omega\text{cm}$	corrosion is fairly certain

ρ (rho) = resistivity

The resistance of concrete may differ very greatly depending on the local conditions and the environmental influences. An extensive investigation with the RESI resistivity meter and the graphical display of the measured values permits the determination of spots where corrosion may occur. The combination of resistance and potential measurement* furthermore improves the information about the corrosion condition of the rebars.

* CANIN potential tester (Corrosion Analysing Instrument)

proceq

شکل ۴-۱۷ دستگاه مقاومت سنج الکتریکی برای اندازه گیری مقدار خوردگی فولاد درون بتن می باشد. هر چه دستگاه

مقاومت الکتریکی بیشتری نشان دهد، نشان از خوردگی و زنگ زدگی کمتر در بتن مورد بررسی است.



شکل ۴-۱۸ دستگاه تعیین مشخصات ترک شامل عرض، عمق، و مسیر آن تعیین محل حفره ها در داخل بتن تعیین ضریب پواسون مدول الاستیسیته

Extraction tester...
...measures pull-out force/displacement on anchored bolts and plugs.

- continuous digital indication of force and associated displacement
- pacer with selectable loading rate
- peak value indication (pull-out force and displacement)
- data storage (approx. 450 measurement groups) and RS 232 C for printout or data-transfer to a PC

Type series for 4 measuring ranges

DYNA Z..FS
Force and displacement measurement with electrical sensors; Digital display with WIGAmeter FS; Accuracy of the force $\pm 0.5\%$ and of the displacement ± 0.01 mm

Type	Tensile force	1 digit
Z 5 FS	5 kN	0.01 kN
Z 15 FS	15 kN	0.01 mm
Z 25 FS	25 kN	
Z 50 FS	50 kN	

DYNA Z..SE
Force measurement with sensor; Displacement measurement; none; Digital display with DYNAMETER; Accuracy $\pm 0.5\%$

Type	Tensile force	1 digit
Z 5 SE	5 kN	0.01 kN
Z 15 SE	15 kN	0.01 kN
Z 25 SE	25 kN	0.01 kN
Z 50 SE	50 kN	0.01 kN

DYNA Z..S
Force measurement with pressure gauge; Displacement measurement; none; Display analogue; Accuracy $\leq \pm 2\%$

Type	Tensile force	1 graduation
Z 5 S	5 kN	0.05 kN
Z 15 S	15 kN	0.1 kN
Z 25 S	25 kN	0.25 kN
Z 50 S	50 kN	0.5 kN

ISO 9001 **proceq**

شکل ۴-۱۹ مقاومت کششی بتن با استفاده از دستگاه PULL OFF و PULL OUT

۴-۱۱-۴ گزارش تفسیرداده های رفتارنگاری تونلهای راه سد بختیاری

موضوع مطالعات :

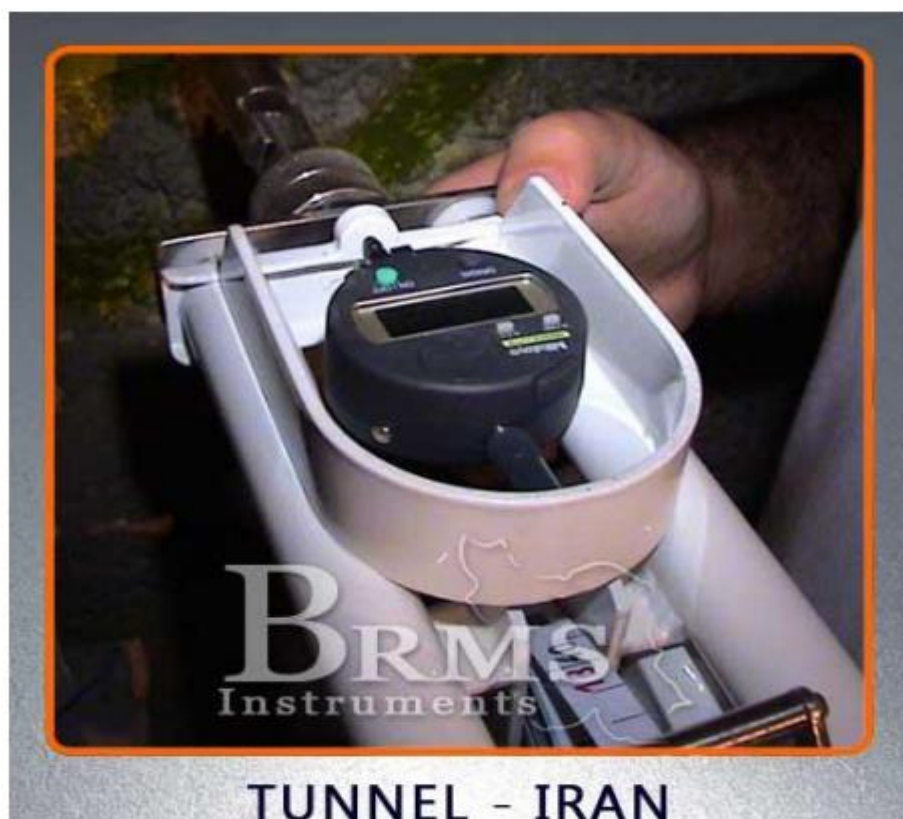
هدف اصلی ابزاربندی در این تونلها انجام رفتارنگاری با استفاده از ابزاردقیق نصب شده و تفسیرداده های قرائت شده می باشد .

تفسیرداده های ابزاردقیق و رفتارنگاری و ارزیابی وضعیت پایداری تونل قبل و بعد از تحکیمات با استفاده از نمودارهای رسم شده و با توجه به دنوع فعالیتهای اجرایی در تونل و با استناد به رفتار نگاری مشاهده ای همزمان انجام خواهد شد .

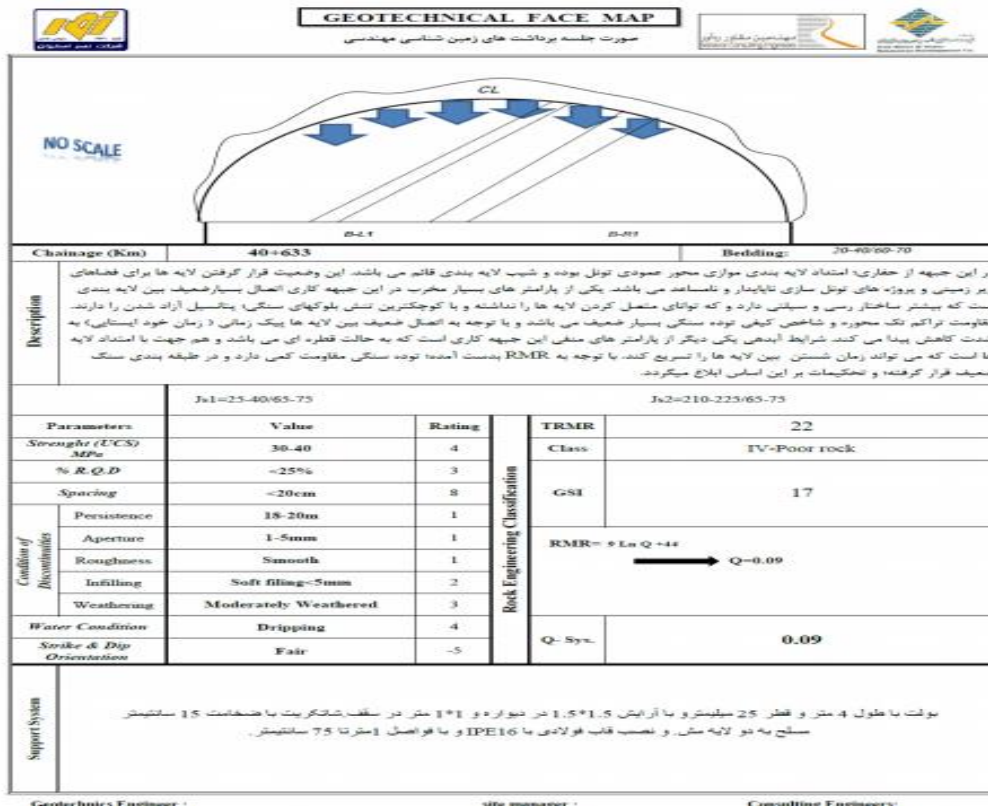
در کنار پردازش ، قرائت و تفسیرداده های دریافتی بایستی گزارش جامع و تکمیلی پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین شناسی که بصورت برداشتهای روزانه face map و مراحل تکمیلی آنها که بصورت هفتگی mapping بایستی بعنوان یک پارامتر تاثیر گذار لحاظ گردد. تمامی این عوامل در رسیدن به انالیز برگشتی موثر و دقیق برای حصول به طراحی به روز و واقع بینانه لازم و ملزوم یکدیگرند و انواع ابزاربندی را نشان می دهند. در این طراحی سعی گردیده تا با انجام تمامی این برداشتهای میدانی به شیوهای ساده به توجیه ترین شکل اقتصادی به پایدارترین حالات سازه در زمان دوره های ساختمان و بهره برداری رسید.



شکل ۴-۲۰ کشیدگی سنج سه نقطه ای

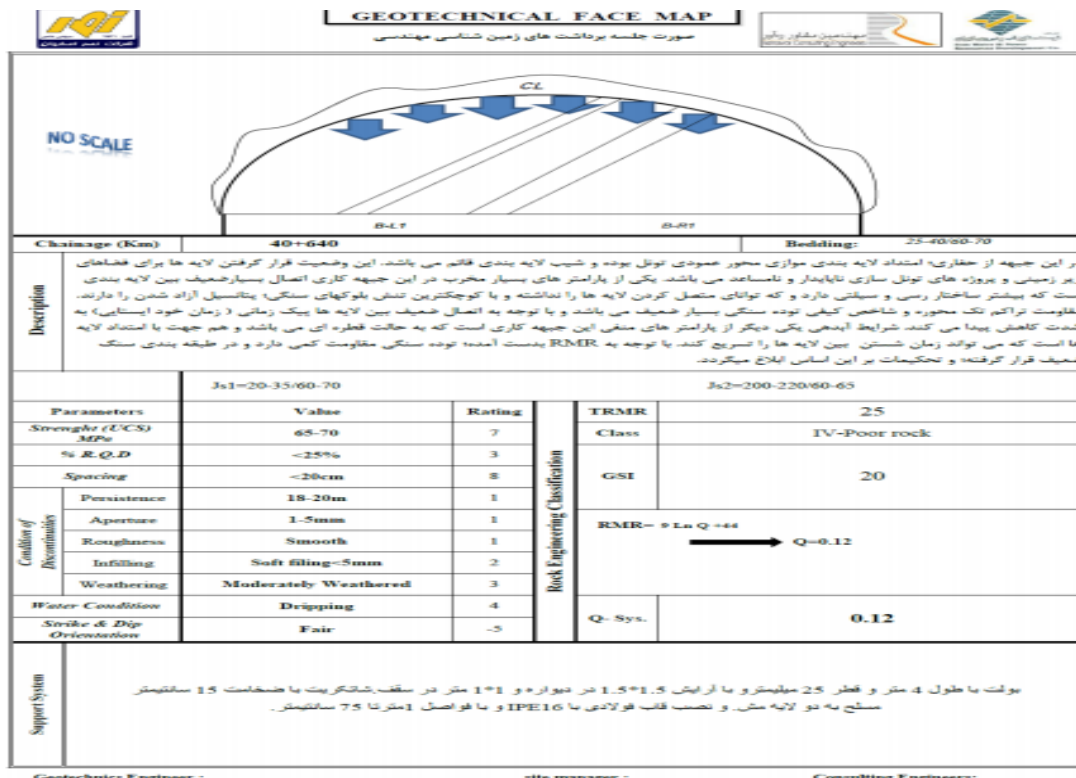


شکل ۴-۲۱- متر همگرایی سنج



شکل

۴-۲۲- برداشت زمین شناسی سد یختیاری



شکل ۴-۲۳- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها

صورت جلسه پرداخت های زمین شناسی مهندسی

Site : Tunnel NO-4

Site : Tunnel NO-4

Type Section: Horse Shoe Shape

Client: L.W.P.C.

Supervision: RAH AVAR Consulting Eng.

Contractor: Nasr esfahan Co.



DISCONTINUITY SURVEY DATA SHEET

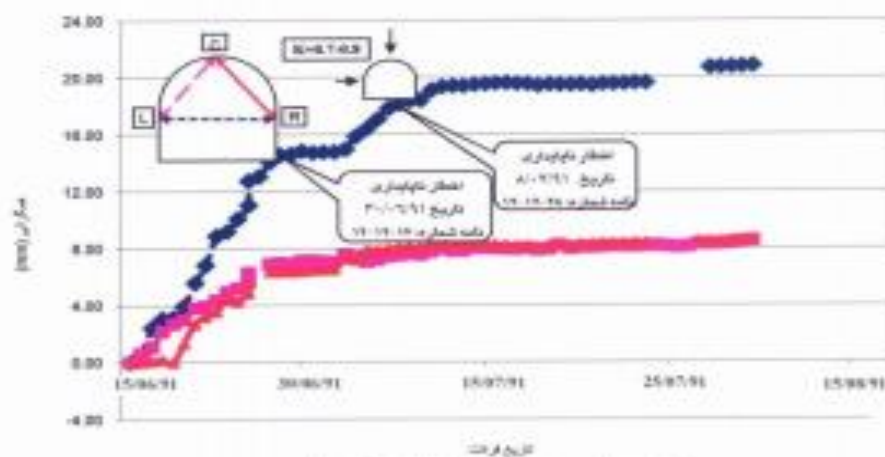
برگ ثبت اطلاعات ناپیوستگی ها

40+640 = کیلو متر 3

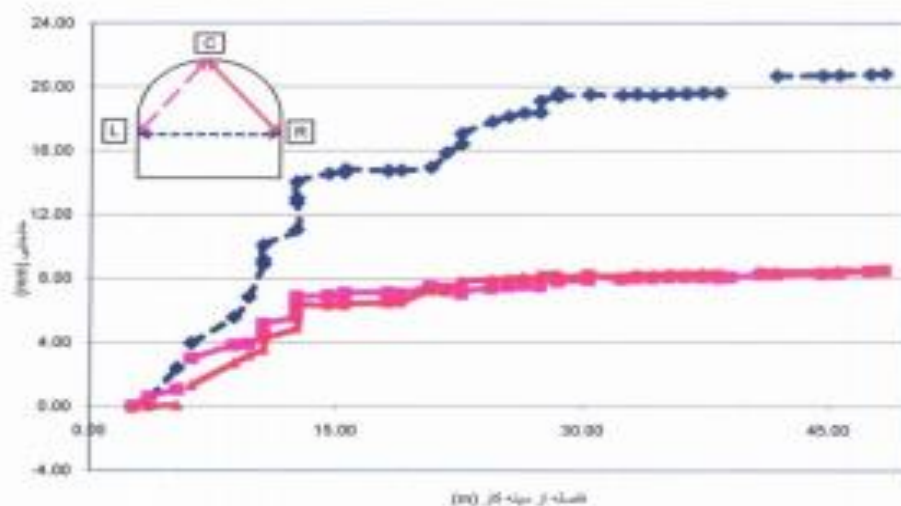
بعل برداشت : خروجی تولل ۴

[illegible]

شکل ۴-۲۴- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها



تعداد چسبایی در ایستگاه BK-375 تونل شماره 5 به پخشاری

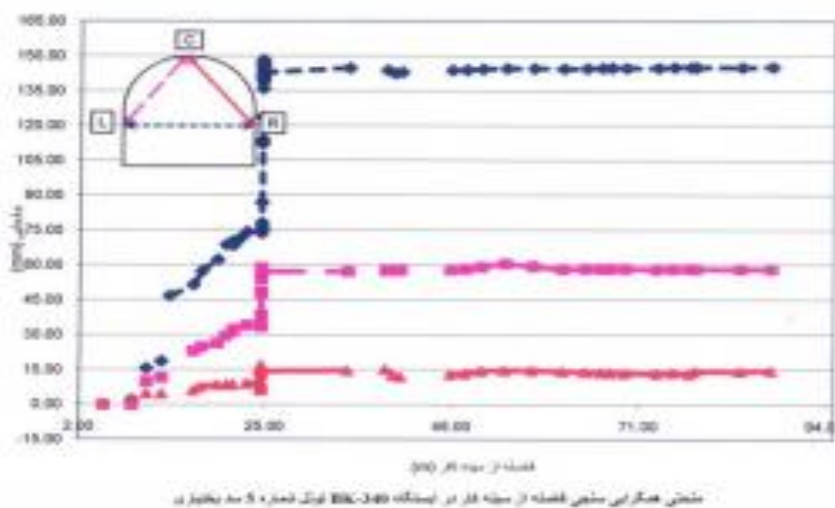
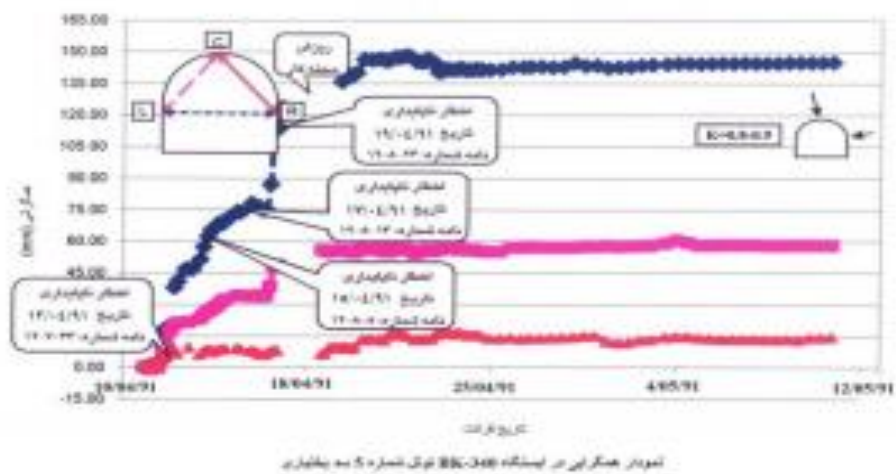


مختل چسبایی سطحی فاصله از سینه کار در ایستگاه BK-375 تونل شماره 5 به پخشاری

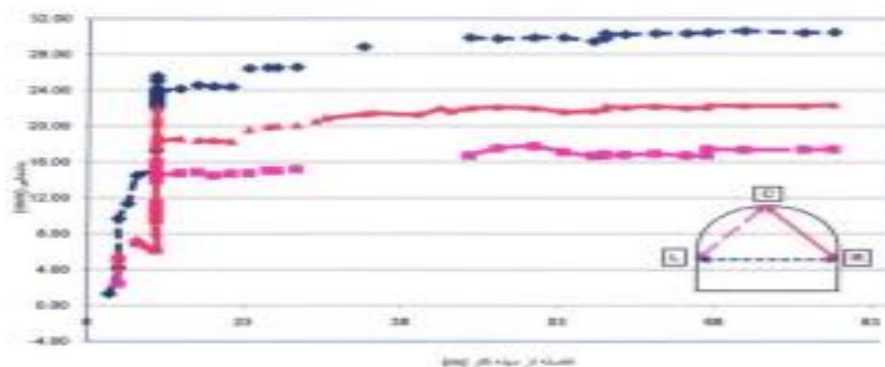
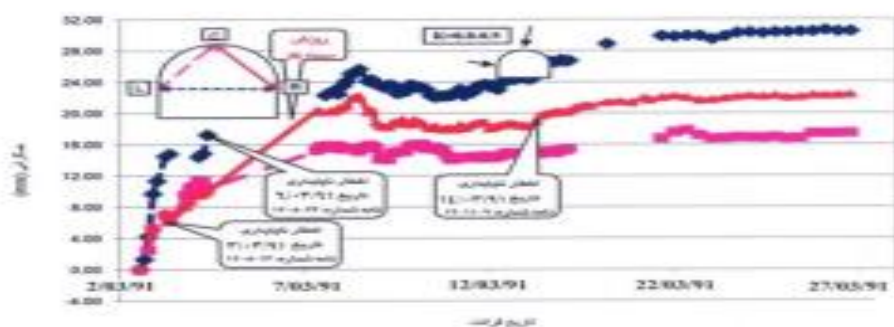


مختل عمیق توده سنگ از سطح (متر)
میانگین کرنش در توده سنگ سطح در ایستگاه BK-375 تونل شماره 5 به پخشاری

شکل ۴-۲۵- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها



شکل ۴-۲۶- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها



موتینگین فرشت در توده سنگ مسقف در ایستگاه BK-290 تونل شماره 4 به سمت پشتهای

شکل ۴-۲۷- نتایج حاصل از ابزاربندی در تونلها

فصل پنجم

جمع بندی

۵-۱- تحلیل مشکلات و تاخیرات در تونل های راه دسترسی به سد بختیاری :

در این قسمت سعی شده است (به طور نمونه) در یک دوره ۱۰ روزه در طی دوره گزارش بر روی نحوه ی اجرای عملیات دقیق تر شده و با ثبت تاخیرات به عارضه یابی از موانع موجود که سبب جلوگیری از پیشرفت پروژه طبق برنامه می شوند پردازیم (چراکه ما انتظاری بسیار فراتر از روند پیشروی کنونی داشته و براین باوریم که دسته ای از مشکلات سبب ممانعت از این مسئله می شود)، و سپس به ارزیابی و تحلیل مشکلات دست بزنیم، سیستم اجرای عملیات با روند کنونی را شبیه سازی کرده و در نهایت پیشنهاداتی برای رفع موانع ارائه بدهیم .

توضیحات : بررسی جنس تاخیرات روزانه ای که در جبهه های کاری متفاوت پیش می آیند نشان میدهد که این تاخیرات به تمامی ناشی از عوامل ریشه ای محدودی است و به عبارتی میتوان این تاخیرات را در گروه های مشکلات عمده دسته بندی کرد این مشکلات در زیر آمده است :

الف) خرابی ماشین آلات یا کمبود آنها

ب) عدم برنامه ریزی کاری صحیح و درست برای استفاده از پرسنل

ج) سوانح ناگهانی ناشی از عدم وجو مطالعات اولیه (همچون ریزش سنگ از سقف تونل)

د) نبود مصالح و منابع مصرفی که بدلیل عدم سفارش به موقع و همچنین محدودیت های زمان تامین مواد ناشی از صعوبت دسترسی (فقط بوسیله راه آهن) پیش می آید

ه) شرایط جوی نامناسب همچون بارندگی شدید یا سیل که به خاطر عدم دوراندیشی در ساخت مسیر دسترسی (مانند گابیون بندی مناسب) سبب از بین رفتن مسیرهای دسترسی می شود و لذا کلیه عملیات اجرایی را متوقف می کند

۵-۱-۱- تحلیل پارتو :

اصل پارتو در بعد عارضه یابی به این معناست که همواره حدود ۸۰-۹۰٪ از مشکلات سازمان ناشی از ۲۰-۴۰٪ از عوامل متعدد ایجاد این مشکلات هستند به عبارتی با تمرکز بر روی این عوامل محدود می توان تا حدود ۸۰٪ از مشکلات سازمان را برطرف کرد .

همانطور که از نمودار پارتو مشخص است حدود ۹۰٪ از تاخیرات ناشی از حدود ۴۰٪ از عوامل است به عبارتی با برطرف کردن عوامل خرابی ماشین آلات و شرایط جوی نامساعد می توان تا حد زیادی تاخیرات را پوشش داد، اما بدیهی است که شرایط جوی خارج از حدود کنترل ماست و تنها میشود تاثیرات ناشی از آن را با دوراندیشی آنهم به اندازه ای خفیف کاست، اما عامل خرابی ماشین آلات در حدود کنترل ماست و با ایجاد یک برنامه منسجم و یکپارچه میتوان تا حد زیادی از مشکلات ناشی از آن را کاست

۵-۱-۲- شبیه سازی روند اجرای پروژه :

در این قسمت سعی شده است که روند ایجاد تاخیر در اجرای عملیات در قالب نرم افزار شبیه سازی VENSIM مورد تقلید قرار بگیرد و نحوه ایجاد تاخیر در طی ۲۰۰ روز آتی مورد ارزیابی قرار گرفته است .

فرضیات مدل :

نرخ متوسط ایجاد تاخیر طبق نمونه گیری ۱۰ روزه از تمام جبهه های کاری برای تمامی عوامل تاخیر در زیر آمده است :

الف) نرخ متوسط ایجاد تاخیر ناشی از خرابی یا کمبود ماشین آلات برابر است با ۴,۳۳ در روز برای هر جبهه کاری

ب) نرخ متوسط ایجاد تاخیر ناشی از شرایط جوی با فرض بارندگی شدید ۲۰ روزه به طوری که سبب آب گرفتگی معابر و مسدود کردن مسیرهای دسترسی شود (طبق سوابق موجود) و سپس توقف آن در مابقی ایام سال در این ناحیه برابر با ۴,۳۳ ساعت در روز برای هر جبهه کاری

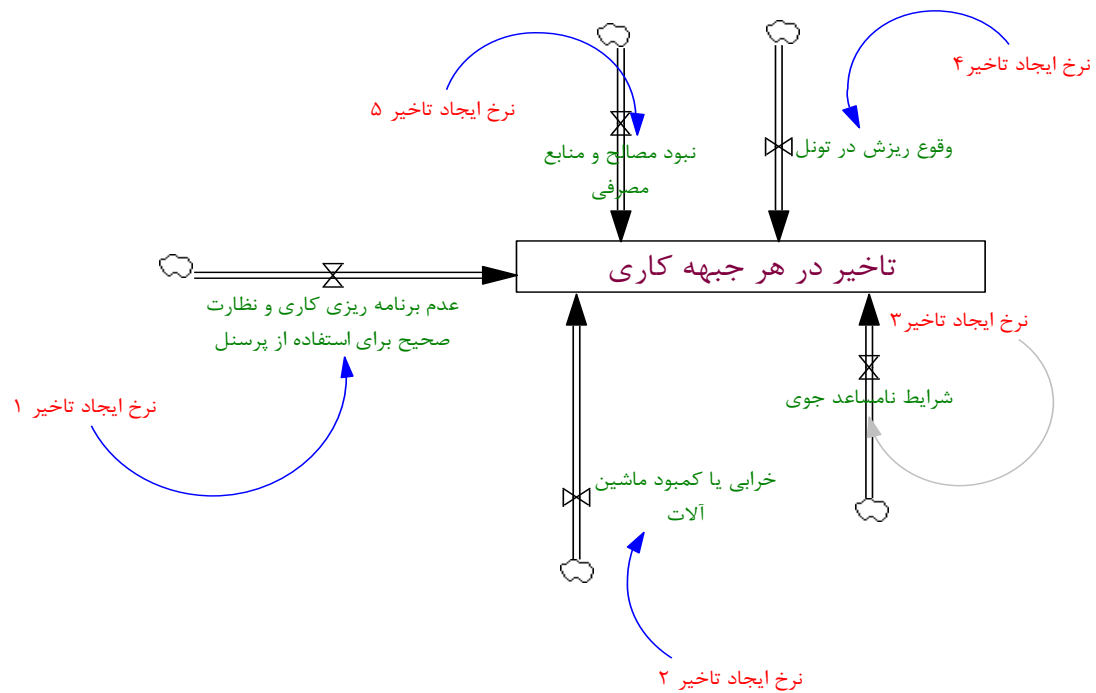
ج) نرخ متوسط ایجاد تاخیر به واسطه عدم برنامه ریزی کاری صحیح برای استفاده مناسب از پرسنل برابر با ۰,۴ ساعت در روز برای هر جبهه کاری

د) نرخ متوسط ایجاد تاخیر بدلیل روبه رو شدن با کمبود منابع و مصالح مصرفی همچون سوخت برابر با ۰,۴۸ ساعت در روز برای هر جبهه کاری

ه) نرخ متوسط ایجاد تاخیر به واسطه وقوع ناگهانی ریزش در تونل ها به واسطه عدم وجود مطالعات اولیه

برابر با ۰,۲ ساعت در روز برای هر جبهه کاری

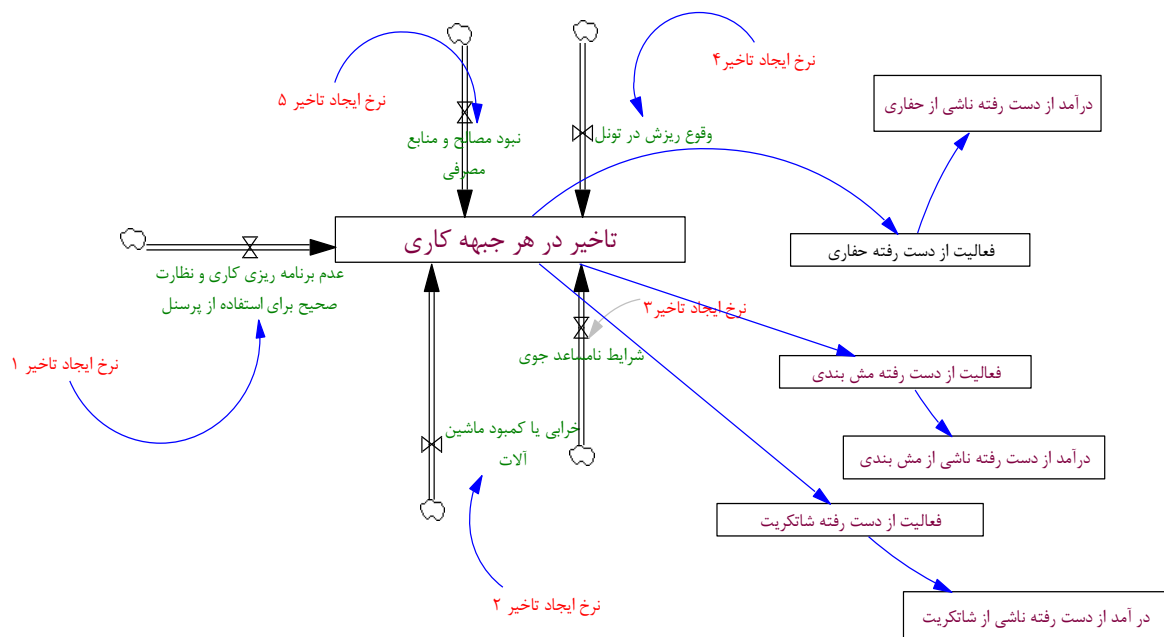
دیاگرام شماتیک تعریف مدل تاخیر برای شبیه سازی تاخیرات آتی در نرم افزار VENSIM



شکل ۵-۱ دیاگرام شماتیک تعریف مدل تاخیر

دیاگرام های تولید شده برای شبیه سازی تغییر میزان تاخیر در طی ۲۰۰ روز بعد از اجرای شبیه

سازی مدل تکامل یافته ی تاخیر با در نظر گرفتن بازخوردهای آن



شکل ۵-۲ دیاگرام های تولید شده برای شبیه سازی

۵-۱-۳ فرض های مدل :

طبق بازده نمونه گیری شده از جبهه های کاری مختلف به طور متوسط نرخ انجام فعالیتها در زیر آمده است

الف) توانایی انجام عملیات حفاری در هر ساعت به میزان ۱۰,۴۹ مترمکعب

ب) توانایی اجرای شاتکریت به میزان ۲۰,۷۲ متر مربع در هر ساعت

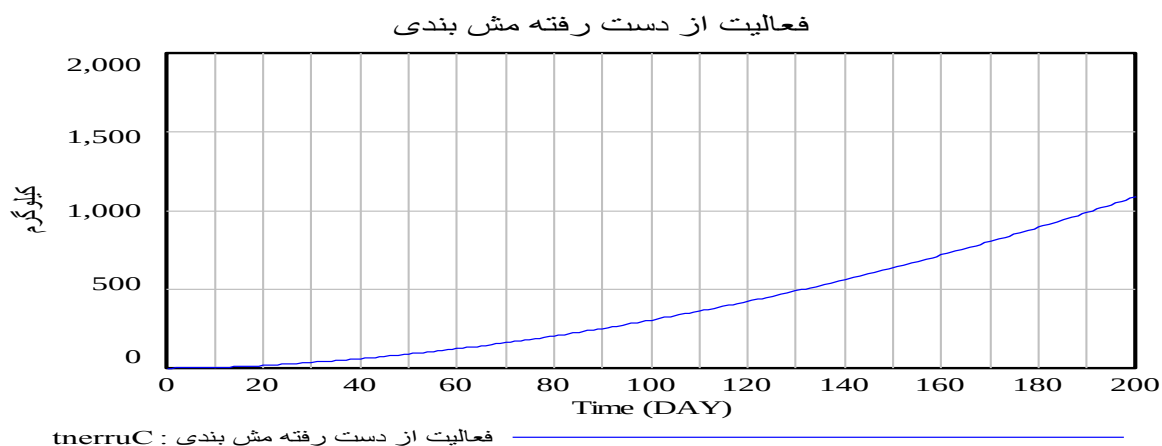
ج) توانایی اجرای مش بندی در هر ساعت به میزان ۱۰۹,۸۳ کیلوگرم

د) درآمد ناشی از حفاری به ازاء هر مترمکعب به میزان ۴۰۰۰۰ تومان

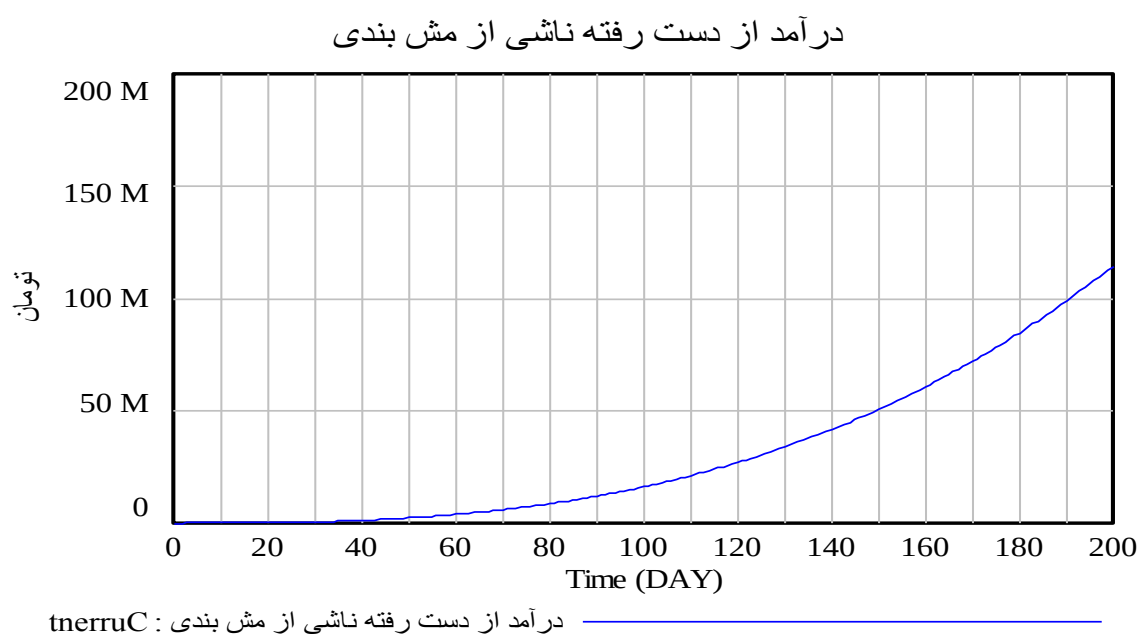
ه) درآمد ناشی از اجرای شاتکریت به ازاء هر مترمربع به میزان ۳۴۸۵۲ تومان

و) درآمد ناشی از مش بندی به ازاء هر کیلوگرم ۱۵۰۰ تومان

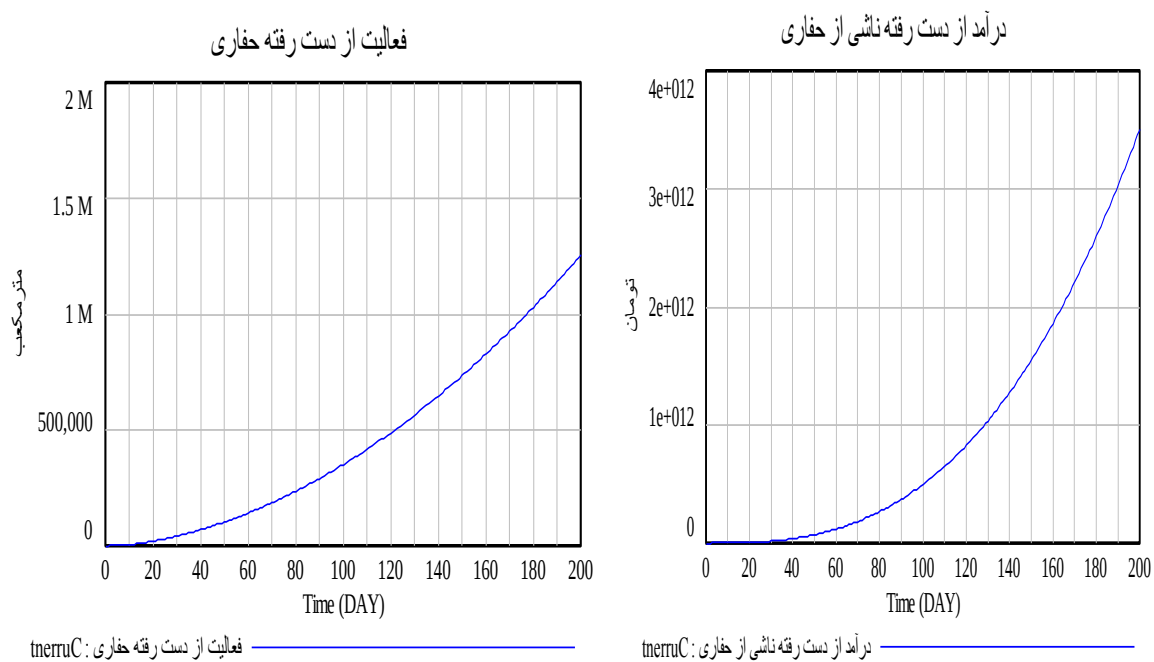
با ورود داده های نرخ و فرموله کردن ریاضی مدل و تشکیل معادلات و روابط مدل را برای ۲۰۰ روز اجرا و به تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی خواهیم پرداخت .



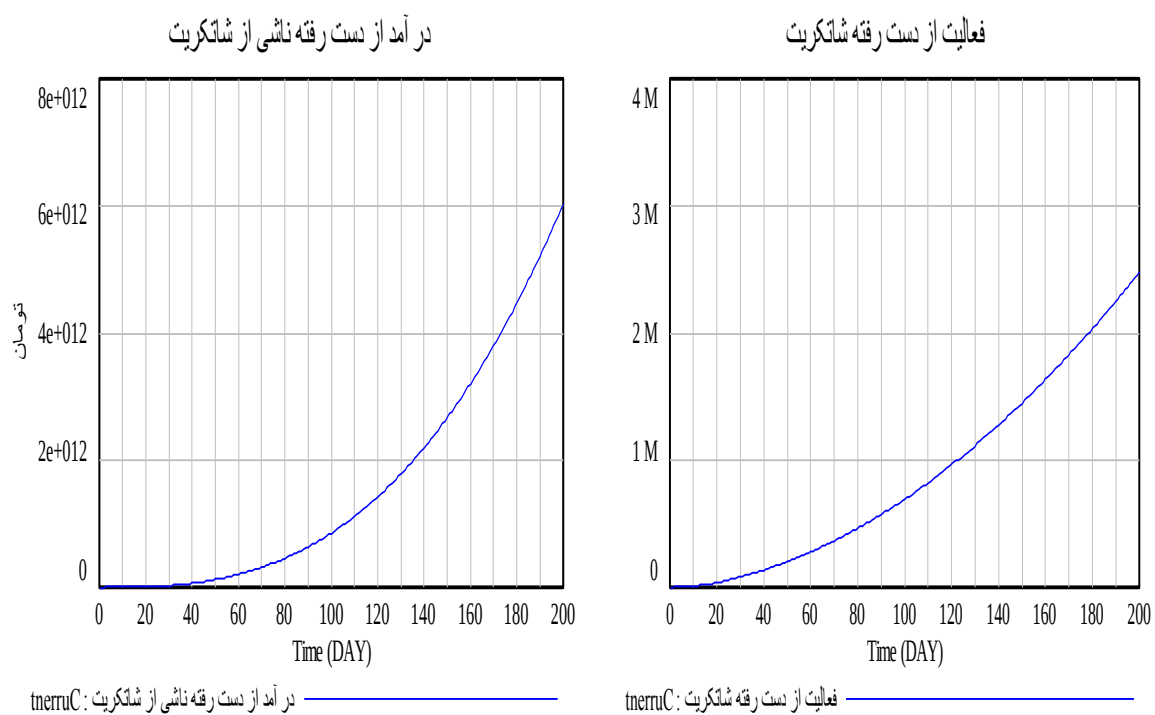
شکل ۳-۵



شکل ۴-۵



شکل ۵-۵



شکل ۶-۵

۵-۱-۴ تحلیل :

این دیاگرام ها نشان می‌دهند که در صورتی که روند اجرای عملیات با همین تاخیرات پیش برود خسارات زیادی را به بدنه سازمان وارد ساخته ایم نمونه ای از این خسارات در قالب فرصت از دست رفته یا درآمد تباه شده در زیر خواهد آمد :

الف) از دست دادن درآمد تجمعی معادل ۱۱۴,۰۰۰,۰۰۰ تومان که می‌توانست به واسطه ی اجرای مش بندی حاصل بشود

ب) از دست دادن درآمد تجمعی معادل با ۶,۰۳۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان که می‌توانست با اجرای شاتکریت به دست آید (توجه کنید که در مدل محدودیتی برای نهایت حجم مورد شاتکریت وجود نداشته است و لذا حجم اجرای شاتکریت در صورت رفع تاخیرات بسیار بالا خواهد بود . با توجه به اینکه مبلغ به دست آمده بسیار بالاتر از مقدار کل قراردادی است لذا می‌توان چنین برداشت کرد که در صورت رفع تاخیرات می‌توان قبل از ۲۰۰ روز آینده عملیات شاتکریت تمامی تونل ها را به طور کلی انجام داد .)

ج) از دست دادن درآمد تجمعی معادل با ۳,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان که می‌توانست با حفاری تونل ها به دست آید . (توجه شود که توضیح قسمت قبلی برای این بخش نیز صادق است .

۵-۱-۵ پیشنهاد برای پوشش تاخیرات :

همانگونه که از مدل های بالا بر می آید ، سازمان خسارت زیادی را بابت تاخیرات ایجاد شده در هر جبهه کار پرداخت میکند، طولانی شدن زمان پروژه به تدریج سبب افزایش هزینه ها شده ، موقعیت رقابتی شرکت برای اخذ پروژه ها در آتی را تحت تاثیر قرار داده و نهایتا سبب از دست رفتن در آمد ها می شود . از میان مشکلات موجود به جزء شرایط جوی نامناسب تمامی آنها قابل حل در سازمان خواهند بود و لذا با تمرکز روی این عوامل میتوان تا حد زیادی تاخیرات ناشی از آنها را پوشش داد . از این بین آنچه که از تحلیل های بالا برمی آید سهم قابل توجه ماشین آلات در ایجاد تاخیر است ، طبیعی است که در یک شرکت عمرانی سهم عظیمی از سرمایه مربوط به بخش ماشین آلات است و از طرفی پیشرفت عملیات نیز منوط به سلامت

ماشین آلات خواهد بود لذا با دوراندیشی و پیاده سازی تدابیر کنترلی میتوان تاثیرات ناشی از خرابی ماشین آلات را تا حد زیادی خنثی نمود از این رو پیشنهاد می شود که با قوت هرچه تمام تر قسمت نت (نگهداری و تعمیرات) شرکت هر چه سریع تر فعال شود تا بتوان با برنامه ریزی صحیح سرویس ماشین آلات از خرابی آنها تا حد امکان جلوگیری کرد .

شایان ذکر است با توجه به اجرای لایننگ تک پوسته ای هم زمان میتوان سه عملیات اصلی فوق را انجام داده و از تاخیرات ناشی جلوگیری شود همچنین با نصب 3D پنل و شاتکریت هم زمان زمان اجرای پروژه نیز کاهش یافته و هزینه تعمیر و نگهداری ماشین آلات نیز کم خواهد شد .

همچنین با توجه به اینکه در روش لابننگ تک پوسته ای نیاز به بچینگ نمیباشد و هم زمان با حفاری اقدام به تحکیمات نهایی میشود همچنین با نصب پنل ها عملیات مش بندی اکثر قسمت ها حذف میشود کلی از ماشین آلات آزاد شده و میزان تاخیرات کاهش پیدا میکند .

۵-۲- محاسبه اقتصادی طرح دو پوسته ای دو مرحله ای

هزینه هر متر مربع ارماتور نمره ۱۶ و ۱۸ به صورت شبکه لانه زنبوری در دیواره و سقف که وزن آن برابر و ۲۲ و ۱۶ برای کف و همچنین قلاب ها و خرک با نمره ۱۰ حدود ۱۸۰۰ کیلوگرم ارماتور در یک متر طول مصرف میشود با احتساب قیمت کیلویی ۲۰۰۰۰ ریال بابت خرید و کیلویی ۸۰۰۰ ریال بابت خم و نورد و کیلویی ۱۲۰۰۰ ریال بابت ارماتور بندی برابر است با ۷۲۰۰۰۰ ریال و هزینه بتن ریزی مترمکعبی ۱۴۰۰۰۰ ریال با میکسر و تحویل پای جبهه کار همچنین هزینه دستمزد اجرا برای کف مترمکعبی ۱۲۰۰۰۰ ریال و برای دیواره و سقف متر مکعبی ۱۶۰۰۰۰ ریال که میآیند ۱۴۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته میشود که با احتساب سطح مقطع ۳۰ متر و ضخامت ۶۰ سانتیمتر لایننگ حدود ۲۶۱۰۰۰۰ ریال هزینه قالب لغزنده کف و قالب هدرولیکی برای دیواره و سقف و هزینه های ریل برای حرکت قالب که حدود ۴۰۰۰۰۰۰۰۰ میلیون تومان که برای هر متر طول تونل با ارزش اسقاطی حدود ۲۵۰۰۰۰۰۰ ریال و همچنین

هزینه های قالب بندی و سربندی و واتر استاپ ها به میزا متر طولی حدود ۱۸۰۰۰۰۰ ریال و بتن پر کننده متر طولی حدود ۶۰۰۰۰ ریال و هزینه کل حدودا برابر ۱۴۱۷۰۰۰۰ ریال برای هر متر طول تونل خواهد شد .

۵-۳- محاسبه اقتصادی طرح تک پوسته ای یک و دو مرحله ای

با توجه به برداشت ها و نقشه ها و Mapping طرح متشکل از دو دیواره با ارتفاع ۳/۳۵ و یک کف بند در تاج آن یک فقره لیس پانل در طول ۵/۵ متر برای تونل و قطر ۳ متر تشکیل شده است در سطح داخلی پانل ارماتوربندی با عرضی به قطر ۱۶ میلیمتر با فاصله ۲۰ سانتی متر از هم و ارماتورهای طولی با قطر ۱۰ میلیمتر به فاصله نیم متر از هم سطح پانل با شاتکریت پایا در ضخامت ۸ سانتیمتر و پشت پانل با بتن متراکم پر میشود .

۵-۴- هزینه

هزینه هر متر مربع از پانل ۱۸۲۹۵۲۰ ریال و هزینه هر لیتر افزونی برای شاتکریت و بتن خود تراکم که در هر متر مکعب ۲ لیتر مصرف دارد ۱۲۸۰۰۰ ریال میباشد که برای ۳۰ سانتیمتر ضخامت حدودا ۷۶۸۰۰ ریال که جمع هزینه برای هر مترمربع ۱۹۰۶۳۲۰ ریال و هزینه برای یک متر طول تاج ۱۰۴۸۴۷۶۰ ریال میباشد .

۵-۶- جمع بندی

در مجموع طرح پوشش تک پوسته ای علاوه بر تأمین کلیه مشخصات فنی طرح و مقاومت ها و ظرفیت های مورد نیاز دارای مزایای زیر است :

الف (افزایش دوام و عمر مفید سازه تا حداقل ۵ برابر سیستم متداول .

ب) افزایش سرعت اجرا بدلیل حذف عملیات آرماتوربندی، قالب بندی و تزریق تحکیمی و زمان باز کردن قالب و اجرای پوشش آب بند غشایی سنتی، تا حداقل ۴ تا ۵ برابر سیستم متداول .

پ) تغییر هزینه های کل مصالح و اجرا حدود ۱۰ درصد کمتر .

ت) افزایش تغییر قابل ظرفیت جذب انرژی بدلیل استفاده از الیاف و پانل مخصوص بافته شده سه بعدی و قابلیت تحمل بهتر بارهای فوق العاده مانند انفجار و زلزله و حرکات شدید زمین ، نشست ، روانگرایی، جابجایی گسل و غیره نسبت به سیستم متداول .

ث) افزایش تغییر قابل مقاومت در برابر آتش سوزی بدلیل استفاده از الیاف پلیمری مخصوص که در زمان حریق بعنوان فیوز آزاد ساز فشار بخار عمل میکنند نسبت به سیستم متداول .

ج) سیستم پیشنهادی جایگزین بازای هر مترمربع سطح تمام شده کامل پوشش و با احتساب کلیه ضرایب ۱۲۰۰۰۰۰ ریال هزینه طراحی و تأمین و اجرا خواهد داشت .

AFTES RECOMMENDATIONS FOR THE DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT		معرفی شاتکریت به عنوان لاینینگ نهایی در استاندارد طراحی شاتکریت (انجمن تونلسازی فرانسه)	
AFTES welcomes comments on this paper:			
Version 1 - Approved by Technical			
4 - DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT		5.2 - MONITORING OBJECTIVES AND MEANS	
4.1 - REVIEW OF AVAILABLE DESIGN METHODS		5.2.1 - Deformation measurements	
4.1.1 - GENERAL Considerations		5.2.2 - Stress measurements	
4.1.2 - Methods for load evaluation		5.3 - MONITORING SECTIONS	
4.1.3 - Verification of the structural stability		5.3.1 - Standard monitoring sections	
4.1.4 - Main characteristics of standard design methods		5.3.2 - Enhanced monitoring sections	
4.2 - TYPE 1 SPRAYED CONCRETE - PROTECTIVE LAYER		5.3.3 - Spacing of the sections and frequency of measurements	
4.2.1 - Description		5.4 - INTERPRETATION AND BACK CALCULATION	
4.2.2 - Technical recommendations		5.4.1 - General background	
4.2.3 - Objectives		5.4.2 - Convergence measurements	
4.2.4 - Design		5.4.3 - Extensometers placed within the ground	
4.3 - TYPE 2 SPRAYED CONCRETE - STRUCTURAL LAYER		5.4.4 - Stress measurements	
4.3.1 - Description		5.4.5 - Back analyses	
4.3.2 - Technical recommendations		6 - STRUCTURES NOT LINED WITH CAST-IN-PLACE CONCRETE	
4.3.3 - Objectives		6.1 - INTRODUCTION	
4.3.4 - Design		6.2 - AREA OF APPLICATION	
4.4 - TYPE 3 SPRAYED CONCRETE - STRUCTURAL RING		6.3 - SPECIFIC LIMITATIONS	
4.4.1 - Description		6.3.1 - Water-tightness	
4.4.2 - Technical recommendations		6.3.2 - Surface roughness	
4.4.3 - Objectives		6.3.3 - Heterogeneity and variability of concrete properties	
4.4.4 - Design		6.3.4 - Durability	
4.5 - CONSIDERATION OF SPRAYED CONCRETE IN THE FINAL LINER DESIGN		6.4 - CONCRETE COMPOSITION	
4.5.1 - Introduction		6.5 - DESIGN OF THE FINAL SPRAYED CONCRETE LINER	
4.5.2 - Sprayed concrete not included in the final liner design			
4.5.3 - Recommendations for the consideration of sprayed			



معرفی شاتکریت به عنوان لاینینگ نهایی در استاندارد تونل سازی (وزارت راه آمریکا) FHWA

10.7 SHOTCRETE LINING

As discussed in Chapter 9, shotcrete represents a structurally and qualitatively equal alternative to cast-in-place concrete linings. Its surface appearance can be tailored to the desired project goals. It may remain a rough, sprayer type shotcrete finish, or may have a quality comparable to cast concrete when trowel finish is specified. Shotcrete as a final lining is typically utilized in combination with the initial shotcrete supports in SEM applications when the following conditions are encountered:

- The tunnels are relatively short in length and investment in formwork is not warranted and larger than about 25-35 feet (8-11 m).
- The access is difficult and staging of for
- The tunnel geometry is complex and cut and fill as well as bifurcations qualify in this; would otherwise be constructed in the excavated material.



U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-09-010
March 2009

When shotcrete is utilized as a final lining a waterproofing membrane as presented in C1 (200 to 300 mm) or more and its application applications to allow for shotcrete setting a monolithically from a structural point of applications and assure that the shotcrete is any dust or dirt films that could create a delimit the application between the layers to 24 hours. Shotcrete final linings are applied onto a carrier system that is composed of lattice girders and welded wire fabric mounted to lattice girders toward the waterproofing membrane side. This carrier system also acts fully or partially as structural reinforcement of the finished lining. The remainder of the required structural reinforcing may be accomplished by rebars.

Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements

FHWA-NHI-09-010
Road Tunnel Manual

10-30

10 – Tunnel Lining
March 2009

8

فهرست بخشی از تونل های ساخته شده با شاتکریت به عنوان لاینینگ نهایی در دنیا



PERGAMON



Tunneling and Underground Space Technology 16 (2001) 295–309

Tunneling and
Underground Space
Technology

www.elsevier.com/locate/tust

ITA/AITES Accredited Material Sprayed concrete for final linings: ITA working group report

308

T. Franzen et al. / Tunneling and Underground Space Technology 16 (2001) 295–309

No.	Country	Name	Tunnel	Type	Length (m)	Finished cross section			Shotcrete Thickness (cm)	Compressive strength (MPa)	Remark	Reinforcement
						Width (m)	Height (m)	Area (m ²)				
126	Sweden	Ajars	Hydro power	1992	230			40	5 + 2			Steel fibre
127	Sweden	Norrals	Railway	1996	3850	7.5	7.20		5-7 + 2.5 ^a	≥ 40	^a unconfined layer	Steel fibre
128	Sweden	Enken	Railway	1998	500	7.5	7.20		5-7 + 2.5	≥ 40	150 m mesh reinforced insulated construction	Steel fibre
129	Sweden	Hillsten	Railway	1998	1800	7.5	7.20		5-7 + 2.5	≥ 40		Steel fibre
130	Sweden	Igggrund	Railway	1992	500	7.5	7.20		5-7 + 2	≥ 40		Steel fibre
131	Sweden	Hilbo	Railway	1996	430	12.5	8		6-12	≥ 40		Steel fibre
132	Sweden	Kungälv-Kalbfell	Railway	1999	1300	12.5	9	100		≥ 40		Steel fibre
133	Sweden	Swedish- bustan	Railway	1997	3420	7.5-12	8.6-9.3		6-10 + 2	≥ 40	4 tunnels	Steel fibre
134	Sweden	Grodgöhusen	Railway	1992	8100	7-11.5				≥ 40	14 tunnels	Steel fibre
135	Sweden	Arländabustan	Railway	1998	8100	7-12		65-200	5-12 + 2	≥ 40		Steel fibre

10 • 9

فهرست بخشی از تونل های ساخته شده با شاکریت به عنوان لاینینگ نهایی در دنیا

Table 2
Continuation of permanent linings data

No.	Tunnel Name	Route	Year	Length (km)	Internal diameter (m)	External diameter (m)	Notes	Reference
1	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1975	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
2	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1976	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
3	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1977	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
4	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1978	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
5	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1979	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
6	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1980	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
7	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1981	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
8	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1982	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
9	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1983	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
10	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1984	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
11	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1985	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
12	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1986	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
13	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1987	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
14	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1988	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
15	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1989	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
16	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1990	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
17	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1991	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1

چون و آن - تکنولوژی های پیشرفته بتن

Table 3
Continuation of permanent linings data

No.	Tunnel Name	Route	Year	Length (km)	Internal diameter (m)	External diameter (m)	Notes	Reference
18	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1992	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
19	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1993	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
20	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1994	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
21	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1995	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
22	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1996	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
23	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1997	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
24	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1998	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
25	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	1999	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
26	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2000	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
27	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2001	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
28	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2002	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
29	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2003	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
30	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2004	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
31	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2005	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
32	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2006	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
33	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2007	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
34	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2008	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
35	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2009	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
36	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2010	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
37	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2011	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
38	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2012	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
39	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2013	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
40	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2014	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
41	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2015	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
42	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2016	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
43	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2017	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
44	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2018	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
45	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2019	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
46	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2020	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
47	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2021	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
48	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2022	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1
49	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2023	1182	152	168	Single shell - concrete in construction, concrete in service, shell	1
50	Alaska (Trans-Alaska Pipeline)	Alaska	2024	1182	152	168	Single shell - single walling, constructed in segments, concrete	1

TUNNEL LINING DESIGN GUIDE



5.5 Sprayed concrete linings

In his early work in rock tunnels, Rabcewicz (1969) recognised that sprayed concrete was a material well suited to tunnelling for the following reasons.

- **Permanent lining** Sprayed concrete is a structural material that can be used as a permanent lining.
- **Early age strain** The material behaviour of sprayed concrete, which is initially soft and creeps under load but can withstand large strains at an early age, is compatible with the goal of a lining which permits some ground deformation and therefore stress redistribution in the ground.

Tunnel lining design guide. Thomas Telford, London, 2004

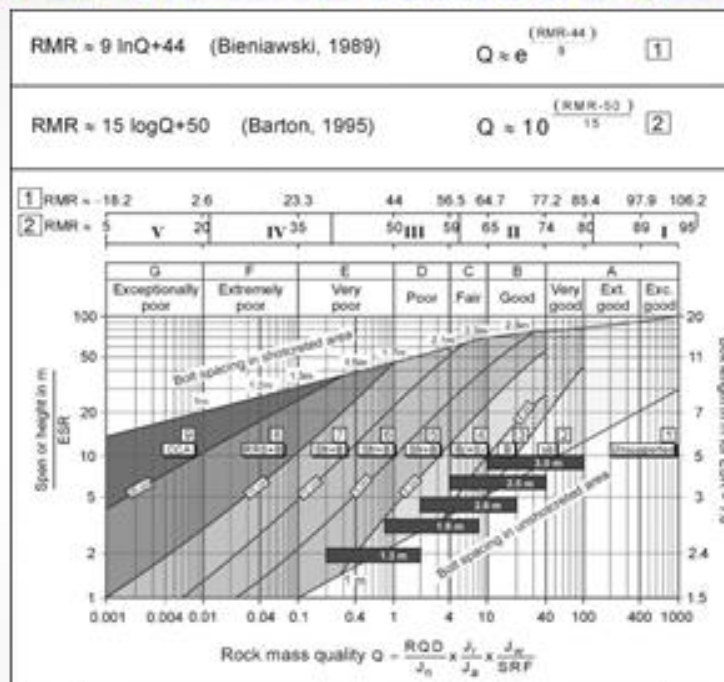
79

تفاوت های روش تونلسازی نیروزی (NMT) و اتریسی (NATM)

Some of the key differences between NMT and (the sometimes misused term) NATM that were more obvious 10 years ago than today, following technology improvements. More NATM operations use S(fr) today than 10 years ago.

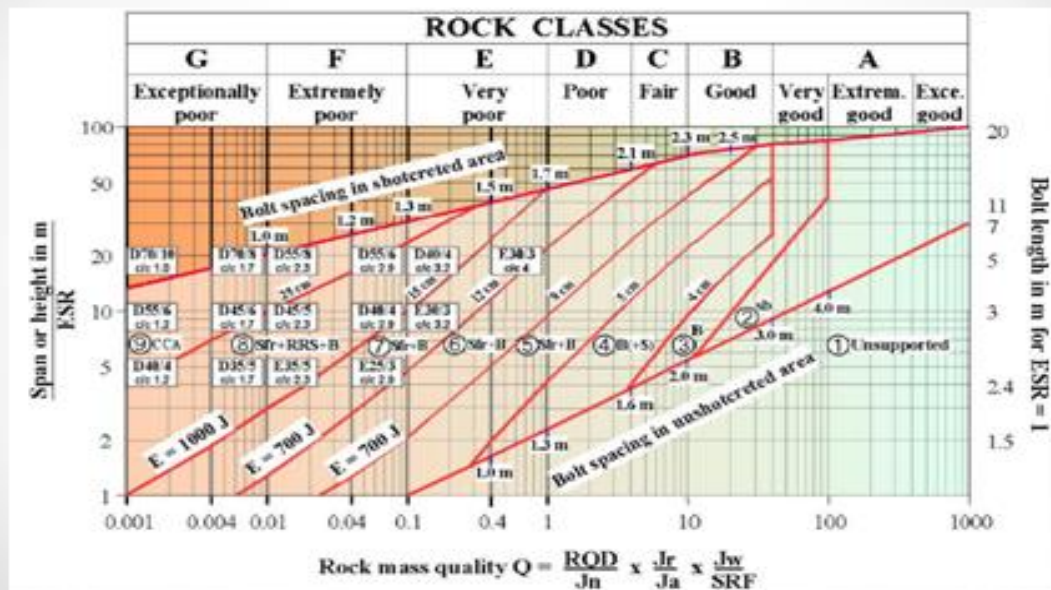
- NMT uses a predictive classification for support design.
- (NATM uses monitoring for support design.)
- NMT gives the permanent support which is not followed by concrete lining.
- (NATM gives the temporary support, which is followed by concrete lining.)
- NMT uses high capacity (10-25m³/hr) robotically applied wet-mix, steel fibre reinforced shotcrete.
- (NATM uses hand placed steel mesh, and usually dry mix shotcrete which is often applied by hand held equipment.)

طراحی شاتکریت به روش بارتون و نحوه محاسبه در شرایط لرزه ای



$$Q_{seismic} \approx \frac{1}{2} Q_{static} \approx \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{2.SRF}$$

طرح لاینینگ با استفاده از روش جذب انرژی



منابع و مراجع

آئین نامه پیشنهادی ساختمانهای مرکب از صفحات ساندویچی (D3) وزارت مسکن و شهرسازی،

سازمان

ملی زمین و مسکن، (نسخه نظر خواهی) پائیز ۱۳۸۴.

آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ، استاندارد ۲۸۰۰۸۴ (ویرایش سوم)، مرکز تحقیقات

ساختمان و مسکن ، ۱۳۸۴.

آیین نامه بتن ایران آبا

پانل های ساندویچی سبک سه بعدی، ویژگی ها، استاندارد ۷۱۴۳، موسس استاندارد و تحقیقات

صنعتی ایران چاپ اول .

دستورالعمل طراحی، ساخت و اجرای سیستم های پانل پیش ساخته سه بعدی، نشریه شماره

۳۸۵ دفتر امور فنی تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله ، معاونت برنامه ریزی و

نظارت راهبری ریاست جمهوری.

صرفه جویی در مصرف انرژی، مقررات ملی ساختمان ایران ، مبحث ۱۹، وزارت مسکن و

شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ساختمان .

طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه ، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران ، وزارت مسکن و

شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان .

عایق بندی و تنظیم صدا، مقررات ملی ساختمان ، مبحث ۱۸، وزارت مسکن و شهر سازی، دفتر

تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان .

مجموعه معیارهای نظام صفحات ، وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان ملی زمین و مسکن ، دفتر

مهندسی ۱۳۸۰.

نشریه شماره ۱۸۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، طراحی مجاری آب بر زیرزمینی

نشریه شماره ۳۰۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، راهنمایی طراحی سازه ای تونل های آب بر

ویژگیها و روش آزمون صفحه های پلی استایرن قابل انبساط برای مصارف عایق حرارت ،

استاندارد ۱۵۸۴،

استاندارد موسسه و تحقیقات صنعتی ایران ، چاپ دوم .

- G. Lande, D. Clarke, and T. J. Wilton, "Controlled tunnel blasting," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 20, no. 1, 1983.
- B. Giorgio, "886241 Numerical analysis of blasting during tunnelling (In German)," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 25, no. 6, 1988.
- G. Berta, "Blasting-induced vibration in tunnelling," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 31, no. 5, 1994.
- Z. L. Wang and H. Konietzky, "Modelling of blast-induced fractures in jointed rock masses," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 76, no. 12, pp. 1945–1955, Aug. 2009.
- J. Fan, L. Dou, H. He, T. Du, S. Zhang, B. Gui, and X. Sun, "Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 22, no. 2, pp. 177–181, 2012.
- C. Zhai, M. Li, C. Sun, J. Zhang, W. Yang, and Q. Li, "Guiding-controlling technology of coal seam hydraulic fracturing fractures extension," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 22, no. 6, pp. 831–836, 2012.
- R. Grandori, A. Lembo-Fazio, and R. Ribacchi, "Excavation of the Ridracoli hydraulic tunnels using a double shield TBM," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 28, no. 2, 1991.
- R. Grandori and F. F. Antonini, "Double shield TBM excavation technique: recent experiences and future development," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 32, no. 4, 1995.
- Q.-M. Gong, J. Zhao, and Y.-Y. Jiao, "Numerical modeling of the effects of joint orientation on rock fragmentation by TBM cutters," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 183–191, Mar. 2005.
- N. Innaurato, C. Oggeri, P. P. Oreste, and R. Vinai, "Experimental and Numerical Studies on Rock Breaking with TBM Tools under High Stress Confinement," *Rock Mech. Rock Eng.*, vol. 40, no. 5, pp. 429–451, Oct.

2006.

I.-M. Lee, C. Yoo, K.-H. You, and R. Grandori, “Abdalajis east railway tunnel (Spain) – double shield universal TBM cope with extremely poor and squeezing formations,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 21, no. 3, 2006.

I.-M. Lee, C. Yoo, K.-H. You, S. Kim, M.-S. Han, and M.-S. Cho, “A case study on open-TBM of Lot. 14-3 in Seoul–Busan super high-speed railway,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 21, no. 3, 2006.

R. Hasanpour, J. Rostami, and B. Ünver, “3D finite difference model for simulation of double shield TBM tunneling in squeezing grounds,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 40, pp. 109–126, 2014.

D. Festa, W. Broere, and J. W. Bosch, “An investigation into the forces acting on a TBM during driving – Mining the TBM logged data,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 32, pp. 143–157, 2012.

H. Schneider, “Criteria for Selecting a Boom-Type Roadheader,” *Mining Magazine*, p. 183.

Herbert L., J. Nichols, and P. E. David A. Day, *Moving the Earth: The Workbook of Excavation*, 5th ed. New York, McGraw-Hill, 2005.

S. Mahdevari, H. Shirzad Haghighat, and S. R. Torabi, “A dynamically approach based on SVM algorithm for prediction of tunnel convergence during excavation,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 38, pp. 59–68, 2013.

P. G. C. Prazeres, K. Thoeni, and G. Beer, “Nonlinear analysis of NATM tunnel construction with the boundary element method,” *Comput. Geotech.*, vol. 40, pp. 160–173, 2012.

F. Tonon, “Sequential excavation, NATM and ADECO: What they have in common and how they differ,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 25, no. 3, pp. 245–265, 2010.

T. Svoboda, D. Mašín, and J. Boháč, “Class A predictions of a NATM tunnel in stiff clay,” *Comput. Geotech.*, vol. 37, no. 6, pp. 817–825, 2010.

R. Schwingenschloegl and C. Lehmann, “Swelling rock behaviour in a tunnel: NATM-support vs. Q-support – A comparison,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 24, no. 3. pp. 356–362, 2009.

I.-M. Lee, C. Yoo, K.-H. You, J. Lee, S. Akutagawa, Y. Yokota, T. Kitagawa, A. Isogai, and T. Matsunaga, “Estimation of model parameters and ground movement in shallow NATM tunnel by means of neural network,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 21, no. 3, 2006.

M. Irshad and L. H. Heflin, “Soft-ground NATM tunnel designs for the Washington, D.C. Metro,” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 385–392, 1988.

“The pros and cons of NATM,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 32, no. 4, 1995.

Sprayed concrete for final linings, 2001, ITA working group report, ITA_AITES Accredited Material.

Franzén, T.B. Celestino, International Tunneling Association Lining Of Tunnels under Groundwater Pressure, Shotcrete Use, 2002, T.

ACI Committee 318, 2002, Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318-02), American Concrete Institute, Detroit.

Karlsgasse Österreichischer Betonverein Austrian Concrete Society, 1999, Sprayed Concrete Guideline.

ACI Committee 506-2R, 1998, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Shotcrete, American Concrete Institute, Detroit.

EFNARC, 1996, European Specification for Sprayed Concrete.

Sprayed Concrete for Rock Support, 1993, Technical Specification and Guidelines, Publication No. 7, Norwegian Concrete Association, Committee on Sprayed Concrete.

British Tunneling Society (BTS) and institution of Civil Engineers (ICE), 2004,

Tunnel Lining Design Guide, Thomas Telford, London, UK.

The UK Concrete Society, 2007, Guidance on the Use of Macro synthetic-fiberreinforced

Concrete, Surrey, UK.

ICC Evaluation Service Inc., 2003, Acceptance Criteria for Concrete with Synthetic Fibers, Whittier, California, USA.

Abstract

Today, in the industry, the necessity of using new agents and elements has become imperative and inevitable, and tunneling knowledge has not been the exception. In this project we have tried to get to know some of this technology. The most suitable results and advantages of the concrete concrete method compared to reinforced concrete reinforcement can be the non-corrosion of metals in concrete and the increase of concrete strength up to 1.3 times the ordinary concrete. Also, the shortening of the executive operations of the building and the reduction of the administrative costs of the relevant plan and overhead costs over a shorter time period and eliminating items such as slider molds and sealing strips in ditches and underground structures. In our country, for the first time in 2004, a total length of 1,300 meters in Mashhad, Bafgh, and Tohtollah Khamari, was made by Shakirit. In the meanwhile, it was tried to replace the macrocracker with macroscopic material instead of macroscopic material and to remove the shaker machine due to lack of availability and high price. This thesis examines the methods for calculating and evaluating the capacity of concrete concrete and comparing it with the concrete load bearing capacity of the reinforcement. Also, the economic technical analysis of two modes in the Bakhtiari Dam access road has been done. This comparison is a technical justification for the use of fiber concrete in concrete coatings of underground structures instead of reinforced concrete with steel bars. The comparison of capacities in this research is based on flexural and shear capacities, which are the most critical components in the design of these sections. In the case of interacting with the pressure, due to the proper functioning of the concrete, the role of the weapon is less and the critical situation will not be. However, in the full design of the section, all interactions must be taken into account, but in comparison with the situation, it will be the most critical condition. The first part of this research is related to the

introduction of the design of the second part of the second chapter of the mechanism of drilling and maintenance in the tunnel. The third part of the proposed system designed by the 3D panel. Part IV of the design method of validated results of evaluation of the strength of concrete fiber computing and design methods of the case, The access to the Bakhtiari dam and the fifth section is to sum up and conclude. Underground buildings such as tunnels, gates, shafts, urban underground structures, defense gates and after-drilling operations should be properly protected and kept in place to witness the least tensions and inclinations. This operation consists of two temporary storage units and one that has been tried at this end to be discussed more often in the ongoing maintenance phase.

Key words:

Line, single-shell, tunnel, 3 d-panels



Kharazmi International Campus
M.Sc, Thesis in Mineral Exploition

Single shell lining layout of the tunnel in case of Bakhtiari dum

By : Arman Nazeri

Supervisor:
Dr.Farhang Sereshki

September 2016