



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده فنی مهندسی

مهندسی معدن - استخراج

عنوان:

بررسی سرعت پیشروی حفر تونل‌های زیر زمینی توسط دستگاه تمام
مقطع TBM و نگرشی بر حفر تونل آبرسانی قمروود توسط این دستگاه

استاد راهنما:

دانشجو:

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده.....
۲	مقدمه
۴	تاریخچه

بخش اول: چگونگی تونل زنی بادستگاه تمام مقطع (TBM)

۱- فصل اول: سازه های زیرزمینی

۸	• انواع حفاریات زیرزمینی
۱۹	• طراحی تونل
۲۵	• روش های حفر تونل

۲- فصل دوم: ماشین های حفاری تمام مقطع (TBM)

۳۳	• قسمت های مختلف ماشین
۳۹	• انواع ماشین های حفار تمام مقطع
۴۲	• انتخاب نوع ماشین

۳- فصل سوم: مکانیک سنگ

۴۷	• خواص فیزیکی سنگ ها
۴۹	• خواص مکانیکی سنگ ها
۴۹	• تنش های طبیعی و القایی
۵۱	• طبقه بندی مهندسی سنگ ها

۴- فصل چهارم: پیشروی و بهره برداری TBM

- نرخ نفوذ ۷۵
- پیشروی ۸۶
- بهره بری ۱۱۴
- مقایسه روش ها ۱۳۳

۵- فصل پنجم: عمر مفید ابزار برش دستگاه TBM

- ابزار برش ۱۴۱
- محاسبه عمر ابزار برش به روش CMS ۱۴۶
- محاسبه عمر ابزار برش به روش RMI ۱۴۹

نگرشی بر حفر تونل قمرود توسط دستگاه TBM

۶- فصل ششم: کلیات طرح قمرود

- معرفی طرح ۱۵۴
- موقعیت جغرافیایی و حدود منطقه مورد مطالعه ۱۵۵
- هدف از انجام طرح انتقال آب قمرود ۱۵۶
- سابقه مطالعه ۱۵۶

۷- فصل هفتم: مطالعات زمین شناسی منطقه

- مطالعات زمین شناسی عمومی ۱۵۸
- مطالعات زمین شناسی ساختمانی ۱۶۳

۸- فصل هشتم: انتخاب روش و دستگاه مناسب حفاری تونل قمرود

- شرایط زمین شناسی مسیر تونل ۱۶۹
- انتخاب روش حفاری مناسب ۱۷۰
- نحوه انتخاب ماشین حفار ۱۷۰

- تهیه مشخصات فنی و انتخاب سازنده دستگاه ۱۷۹
- جمع بندی ۱۸۰

۹- فصل نهم: شرایط محدود کننده تونل زنی با TBM در قمرود

- شرایط محدود کننده زمین شناسی در تونل زنی با TBM در قمرود ۱۸۴
- تمهیدات در نظر گرفته شده به منظور مواجه شدن با شرایط دشوار زمین شناسی ۱۹۱

۱۰- فصل دهم: پیش بینی سرعت نفوذ TBM در تونل قمرود

- روش کار ۱۹۷
- مدل NTH ۱۹۸
- شرایط زمین شناسی مسیر تونل ۲۰۳
- بررسی عملکرد ماشین حفر تمام مقطع در تونل قمرود توسط مدل NTH ۲۰۴
- بحث و تفسیر نتایج ۲۰۷

۱۱- فصل یازدهم: محاسبه نرخ مصرف دیسک های برشی دستگاه TBM در پروژه قمرود

- انواع دیسکهای برشی ۲۱۰
- محاسبه نرخ مصرف دیسک برشی تونل انتقال آب قمرود ۲۱۰
- نتیجه گیری ۲۱۳

۱۲- فصل دوازدهم: نگهداری تونل قمرود

- مقدمه ۲۱۶
- تونل انتقال آب قمرود ۲۱۶
- روش کار ۲۱۷
- سیستم طبقه بندی اندیس توده سنگ ۲۱۷
- مدلسازی با نرم افزار UDEC ۲۱۸
- خلاصه و نتیجه گیری ۲۲۳

۱۳- فصل سیزدهم: شاکریت و بتن الیافی و امکان کاربرد آن برای نگهداری تونل قمرود

- ۲۲۵ مقدمه
- ۲۲۵ تولید سگمنت مسلح شده با آرماتور در کارخانه
- ۲۲۸ تولید آزمایشی سگمنت با الیاف فولادی
- ۲۳۰ بررسی نتایج آزمایش
- ۲۳۳ جمع بندی و نتیجه گیری

۲۳۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

۲۳۸ منابع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۱- رده بندی سنگ ها بر اساس قابلیت حفاری بوسیله ماشین های تونل کنی.....
۲۹	جدول ۲-۱- مفروضات مورد استفاده در پیش بینی سرعت حفاری تونل
۴۳	جدول ۱-۲- تقسیم بندی انواع رودهدرها.....
۵۳	جدول ۱-۳- رده بندی های مهم سنگ
۵۶	جدول ۲-۳- تقسیم بندی کیفی سنگ ها بر اساس شاخص RQD.....
۵۸	جدول ۳-۳- اندازه عددی پارامتر A در شرایط مختلف زمین شناخت.....
۵۸	جدول ۳-۴- اندازه عددی پارامتر B در وضعیت های مختلف درزه نسبت به امتداد تونل
۵۹	جدول ۳-۵- اندازه عددی پارامتر C در شرایط مختلف آب های زیرزمینی و فاصله داری درزه ها
۶۲	جدول ۳-۶- رده بندی ژئومکانیکی سنگ ها (RMR).....
۶۷	جدول ۳-۷- رده بندی سنگ ها بر اساس شاخص Q.....
۷۵	جدول ۴-۱- روابط پیشنهاد شده برای نرخ نفوذ.....
۷۸	جدول ۴-۲- عوامل موثر در سرعت پیشروی ماشین.....
۸۴	جدول ۴-۳- داده های سرعت پیشروی (AR) و سرعت نفوذ (PR) مربوط به سنگ هایی با مقاومت مختل.....
۹۱	جدول ۴-۴- مقادیر پیشنهاد شده برای برخی از سنگ ها
۱۰۵	جدول ۴-۵- طبقه بندی شمارنده حجمی درزه ها
۱۴۹	جدول ۵-۱- نتایج آزمایش سرشار برای برخی از انواع س
۱۵۴	جدول ۶-۱: مشخصات تونل های سیستم انتقال آب طرح قمرود(مهاب قدس - ۱۳۸۰)

۱۶۹	جدول ۸-۱- مشخصات توده سنگ های مسیر تونل (موسسه مهندسين مشاور ساحل ، ۱۳۸۲)
۱۷۸	جدول ۸-۲- مقایسه مزایا و معایب انواع ماشینهای حفر تونل در سنگ
۱۸۱	جدول ۸-۳- مشخصات فنی ماشین ساخته شده برای اجرای تونل قمرود
۱۸۴	جدول ۹-۱- معرفی واحد های زمین شناسی مهندسی تفکیک شده در محدوده مورد مطالعه
۱۸۹	جدول ۹-۲- خلاصه نتایج محاسبه میزان همگرایی حداکثر در جهت قطر تونل بر حسب mm
۲۰۰	جدول ۱۰-۱: درجه شکستگی ها.....
۲۰۵	جدول ۱۰-۲- مشخصات توده سنگ های مسیر تونل
۲۰۶	جدول ۱۰-۳: نتایج پیش بینی عملکرد TBM با استفاده از مدل NTH
۲۱۱	جدول ۱۱-۱- شاخص مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر واحدهای مختلف مسیر تونل.....
۲۱۱	جدول ۱۱-۲- محتوی کوراتر در واحدهای سنگی مسیر تونل.....
	جدول ۱۱-۳- شاخص سرشار در هر پهنه.....
212	جدول ۱۱-۴- مفروضات در نظر گرفته شده در قطعه ۵
213	جدول ۱۱-۵- نرخ مصرف دیسک برشی در قطعه ۵ پروژه انتقال آب قمرود.....
۲۱۸	جدول 12-1: توصیف توده سنگ اطراف تونل بر اساس RMi
218	جدول 12-2: نگهداری پیشنهادی توسط RMi
219	جدول 12-3: خصوصیات ژئومکانیکی درزه و سنگ بکر
۲۲۱	جدول 12-4: مشخصات پیچ سنگ (فاصله داری پیچ سنگ در جهت عمود بر مقطع ۱ متر است).....
222	جدول 12-5: مشخصات شاکریت (شرایط کرنش صفحه ای اعمال شده است).....
223	جدول 12-6: محاسبه نیروهای اعمالی بر نگهداری با نرم افزار UDEC.....
226	جدول ۱۳-۱: مشخصات سگمنت های بتنی
226	جدول ۱۳-۲: مشخصات طرح مخلوط بتن

- 228 جدول ۱۳-۳: مشخصات الیاف فولادی در ساخت سگمنت آزمایش
- 229 جدول ۱۳-۴: طرح مخلوط های بکار
- ۲۹۲ جدول ۱۳-۵: مشخصات سبد ساخته شده برای تولید سگمنت
- ۲۳۲ جدول ۱۳-۶: نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۴,۵ ساعته برای نمونه های مک
- 233 جدول ۱۳-۷: نتایج آزمایش برزیلی ۴,۵ ساعته برای نمونه های مکعبی

فهرست نمودار ها

صفحه	عنوان
۱۹	نمودار ۱-۱- منحنی دانه بندی - تراوایی
۵۴	نمودار ۱-۳- رابطه زمان خودایستایی دهانه حفريات زیرزمینی بدون نگهداری با سیستم RMR
۶۰	نمودار ۲-۳- ارتباط ضریب تعدیل RSR و قطر تونل
۷۷	نمودار ۱-۴- تغییرات سرعت نفوذ ماشین نسبت به مقاومت سنگ
۷۹	نمودار ۲-۴- رابطه بین نرخ نفوذ و نیروی اعمال شده از کاترهد
۸۱	نمودار ۳-۴- اطلاعات مربوط به سرعت متوسط نفوذ برای ۷ پروژه حفر تونل با TBM در نروژ
۸۱	نمودار ۴-۴- شاخص نفوذ در محل در چهار تونل حفر شده در سنگ سخت و ارتباط آن با UCS / I_{50}
	نمودار ۵-۴- شباهت سرعت نفوذ TBM (متر بر ساعت) با سرعت چالزنی ضربه ای (متر بر دقیقه) و فاصله داری
۸۳	درزه در سنگ آهک
	نمودار ۶-۴- مقادیر پیشنهاد شده برای CLI و پارامترهای مربوط به آن
	91
۹۲.	نمودار ۷-۴- رابطه بین Sj DRI
۹۲.	نمودار ۸-۴- رابطه بین AVs و Sj
۹۲	نمودار ۹-۴- رابطه AVs و CLI
۹۲.	نمودار ۱۰-۴- رابطه بین Sj و CLI
۱۰۴	نمودار ۱۱-۴- طبق بندی دسته درزه ها
106	نمودار ۱۲-۴- همبستگی بین KS و ν
110	نمودار ۱۳-۴- ضریب تصحیح قطر تیغه
۱۱۱	نمودار ۱۴-۴- ضریب تصحیح فاصله داری تیغه

- ۱۱۱ نمودار ۴-۱۵- رابطه بین نرخ نفوذ پایه، فاکتور درزه داری TBM و نیروی معادل رانش ابزار برش
- 122 نمودار ۴-۱۶- رابطه میان پیشروی و نرخ نفوذ
- ۱۲۴ نمودار ۴-۱۷- اطلاعات جمع آوری شده از ۱۴۵ تونل در سال ۱۹۹۹
- 125 نمودار ۴-۱۸- رابطه میان شاخص کیفی تونل زنی در سنگ و ضریب کاهش بهره وری
- 125 نمودار ۴-۱۹- رابطه میان شاخص کیفیت تونل زنی در سنگ و ضریب کاهش بهره وری
- 132 نمودار ۴-۲۰- زمان های مصرفی TBM، سیستم پشتیبانی و متفرقه
- 138 نمودار ۴-۲۱- مقایسه نتایج یک مطالعه موردی
- ۱۴۸ نمودار ۵-۱- رابطه بین شاخص سرشار و درصد کوارتز محتوی در توده سنگ
- 149 نمودار ۵-۲- رابطه بین مقاومت فشاری تک محوره سنگ و شاخص سرشار

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۸	شکل ۱-۱ تصویر TBM اولیه
۹	شکل ۲-۱ قسمت های مختلف ماشین تمام مقطع
۱۰	شکل ۳-۱ دستگاه TBM با صفحه حفار پر
۱۰	شکل ۴-۱ صفحه حفار ستاره ای مورد استفاده در تونل مترو زوریخ
۱۰	شکل ۵-۱ صفحه حفار با ابزار برش مجزا
۱۲	شکل ۶-۱ برنده های دیسکی
۱۳	شکل ۷-۱ آرایه ابزار برش در صفحه کار
۱۵	شکل ۸-۱ ساختمان ماشین و چنگک زن ها
۱۷	شکل ۹-۱ تصویر سپر گل
۱۷	شکل ۱۰-۱ مقطع سپر گل
۱۸	شکل ۱۱-۱ تصویر سپر EPB
۲۰	شکل ۱۲-۱ تصویر دستگاه TBM تک سپره
۲۲	شکل ۱۳-۱ فلوجارت کلی سیکل پیشروی ماشین TBM باز
۲۴	شکل ۱۴-۱ فلوجارت کلی سیکل پیشروی ماشین TBM تک سپره
۲۵	شکل ۱۵-۱ فلوجارت کلی سیکل پیشروی ماشین TBM با سپر تلسکوپی
۴۴	شکل ۱-۲ رودهدر کله مخروطی
۴۵	شکل ۲-۲ رودهدر کله گاوی
۸۲	شکل ۱-۴ فراوانی درزه، مقاومت سنگ و مقدار Q و ارتباط مفهومی آن با سرعت حفاری و یا چالزنی

۸۵	شکل ۴-۲- تصویر آزمایش های سه گانه - الف: آزمون تردی
۸۵	شکل ۴-۲- تصویر آزمایش های سه گانه - ب: آزمون چالخورى
۸۵	شکل ۴-۲- تصویر آزمایش های سه گانه - ج: آزمون سایش (AV)
۸۸	شکل ۴-۳- زاویه بین سطح ناپیوستگی و جبهه کار (β)
۹۵	شکل ۴-۴- چگونگی توزیع فشار در سنگ و ایجاد چپیس
۹۶	شکل ۴-۵- اندرکنش میان F_r و F_n
۱۰۳	شکل ۴-۶- فلوشیت روی RMI
119	شکل ۴-۷- وقوع ریزش در پشت کاترهد
119	شکل ۴-۸- وقوع ریزش در بالای کاترهد
119	شکل ۴-۹- وقوع ریزش در جلوی کاترهد و نحوه کنترل آن
120	شکل ۴-۱۰- تحکیم به روش انجماد
120	شکل ۴-۱۱- تحکیم به شیوه پری بولت
121	شکل ۴-۱۲- پیشروی با استفاده از حفر تونل پایلوت
142	شکل ۵-۱- هندسه برش ایجاد شده توسط دیسک های برشی
144	شکل ۵-۲- فرسوده شدن رینگ خارجی
145	شکل ۵-۳- اشکال مختلف استهلاک دیسک های برشی
146	شکل ۵-۴- نرخ مصرف دیسک برشی یا توجه به موقعیت آن ها بر روی کاترهد
147	شکل ۵-۵- افزایش تنش لازم برای شکست سنگ به دلیل افزایش تنش محصور کننده
155	شکل ۶-۱: معرفی طرح انتقال آب قمرود(مهتاب قدس -۱۳۸۰)
159	شکل ۷-۱: واحد های مهم زمین شناسی و ساختمانی ایران(نبوی-۱۳۵۵)
	شکل ۷-۲: نقشه مورفو تکنونیک بخش شمال شرقی منطقه که نشان گر کار سازی گسله های کواترنر در ناحیه است
162	(مشاورین ساحل - ۱۳۸۲)
	شکل ۷-۳: نمونه ای از چین های کشیده که در فرا دیواره گسل کمر بسته تشکیل شده است و نشانه سازوکار معکوس

165. رتندگی در امتداد گسله های شمال غرب - جنوب شرقی منطقه است
- 167 **شکل ۴-۷:** نمودار گل سرخی رگه های کوارتزی و لایه های کوارتزی برداشت شده در سراسر منطقه
- 167 **شکل ۵-۷:** نمودار گل سرخی گسله های برداشت شده در منطقه و عناصر وابسته به آن
- 171 **شکل ۸-۱:** محدوده کاری ماشینهای حفر تونل در سنگ (askilsrud 1996)
- ۱۷۲ **شکل ۸-۲:** سیکل کامل حفاری open tbm از نوع دو کفشه (askilsrud 1996)
- ۱۷۳ **شکل ۸-۳:** سیکل کامل حفاری Single Shield TBM (Askilsrud, 1996)
- شکل ۸-۴:** سیکل کامل حفاری D.S.TBM در زمینهای نیمه خرد شده یا مناسب
- 176 (Askilsrud, 1996)
- شکل ۸-۵:** سیکل کامل حفاری D.S.TBM در زمینهای بسیار خرد شده و ریزشی
- ۱۷۷ (1996 Askilsrud)
- 182 **شکل ۸-۶:** نمایی از ماشین پروژه قمرود پس از ساخت و نصب نهایی آن در کارخانه
- 199 **شکل ۱۰-۱:** نمودار تعریف DRI
- 200 **شکل ۱۰-۲:** میزان نیروی محوری اعمالی بر هر برش دهنده بر اساس قطر برش دهنده و تونل
- شکل ۱۰-۳:** ضریب درزه داری به صورت تابعی از فاصله داری ناپیوستگی ها برای $DRI \neq 49$
- 201 ، نمودار بالا K_{DRI}
- 201 **شکل ۱۰-۴:** رابطه سرعت چرخش پیشانی برشی با قطر ماشین و قطر برش دهنده
- شکل ۱۰-۵:** سرعت نفوذ پایه برای قطر برش دهنده برابر ۴۸۳ میلی متر و فاصله داری برش دهنده های برابر ۷۰ میلی مت
- 203 **شکل ۱۰-۶:** ضریب تصحیح K_d برای قطر برش دهنده مخالف ۴۸۳ میلی متر
- 203 **شکل ۱۰-۷:** ضریب تصحیح K_a برای میانگین فاصله داری برش دهنده ها مخالف ۷۰ میلی متر
- 206 **شکل ۱۰-۸:** هیستوگرام پیش بینی تغییرات سرعت نفوذ TBM بر حسب متر بر ساعت
- ۲۰۶ **شکل ۱۰-۹:** هیستوگرام پیش بینی تغییرات سرعت پیشروی TBM بر حسب متر در روز بر اساس مدل TH ..
- ۲۱۰ **شکل ۱۱-۱:** انواع مختلفی از دیسک های برشی

- 220 شکل 1-12: جابجایی برشی در توده سنگ اطراف تونل در مدل ۲.
- 220 شکل 2-12: جابجایی برشی در توده سنگ اطراف تونل در مدل ۱.
- 220 شکل 3-12: جابجایی قائم و افقی در فواصل صفر، ۰٫۵، ۱، ۱٫۵، ۳، ۵ متری به ترتیب از مرکز سقف و دیواره
- 221 شکل 3-12: رفتار برشی توده سنگ اطراف تونل.
- ۲۲۵ شکل ۱-۱۳: نحوه آرایش سگمنت های بتنی در تونل قمرود.
- 227 شکل ۲-۱۳: سبدهای آرماتور برای تولید سگمنت.
- ۲۲۸ شکل ۳-۱۳: عمل آوری سگمنت در سیستم بخار.
- 228 شکل ۴-۱۳: اتمام فرآیند عمل آوری و خارج کردن سگمنت ها از قالب و حمل و چیدمان آن ها داخل کارخانه
- ۲۳۰ شکل ۵-۱۳: شبکه آرماتور و سگمنت تولید شده با میلگرد و الیاف فولاد.
- 232 شکل ۶-۱۳: بتن ریزی قالب با بتن الیافی و سگمنت های تولید شده با الیاف.
- 233 شکل ۸-۱۳: نمونه مکعبی در آزمایش فشاری و نمونه استوانه ای در آزمایش برزیلی.

چکیده:

تونل انتقال آب قمرود به طول 35750 متر و با شیب ۰/۱۳ درصد، به منظور انتقال 23 متر مکعب آب در ثانیه از سرچشمه های دز به قمرود طراحی شده و عملیات اجرایی آن از اوایل سال 1381 آغاز شده است. طراحی و احداث قطعات سوم و چهارم این تونل به طول حدود 18 کیلومتر به قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص) واگذار شده است. با توجه به طول زیاد تونل و محدودیت زمانی پنج ساله برای اجرای پروژه و با عنایت به نرمهای پائین تونلسازی با روشهای سنتی، استفاده از روشهای حفر مکانیزه تونل امری اجتناب ناپذیر است. بدین منظور با توجه به شرایط زمین شناسی مسیر تونل و مقایسه مزایا و معایب و سرعت حفاری انواع ماشینها، ماشین حفر تونل با سپر تلسکوپی برای اجرای 17400 متر از طول 17700 متری این تونل انتخاب و مشخصات فنی ماشین و سیستم پشتیبانی آن، با همکاری مشاورین خارجی و داخلی، تهیه شد. در نهایت پس از بررسی پیشنهادات ارائه شده از سوی سازندگان این تجهیزات و مذاکره با آنها، خرید این ماشین صورت گرفت.

این پایان نامه، شامل دو بخش می باشد که بخش اول مختصری از مسائل مربوط به تونل زنی با دستگاه TBM رابه خود اختصاص می دهد و مطالب مربوط به تونل قمرود که شامل کلیات طرح، زمین شناسی منطقه، انتخاب روش و دستگاه مناسب حفاری، تخمین سرعت حفاری، میزان بهره بری سرمته حفاری و نگهداری تونل قمرود می باشد در بخش دوم قرار گرفته اند. در خاتمه با توجه به تمام موارد ذکر شده در متن پایان نامه ضمن ارائه نتیجه گیری به بیان پیشنهادات و راهکارهای مناسب و جدید در حفر تونل های مشابه پرداخته شده است.