دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج

تحلیل پایداری و بررسی نگهداری تونل انتقال آب نوسود

مؤلف:
امیر ظریف

استاد راهنما:
دکتر محمدعلی ابراهیمی

استاد مشاور:
دکتر رضا رحمان‌نژاد

مشاور صنعتی:
مهندس عبدالرضا طاهریان

اردیبهشت ۱۳۸۶

چکیده:

تونل نوسود برای انتقال آب از رودخانه سیروان به دشت‌های گرمسیری غرب کشور اجرا می‌شود. این تونل حدود ۴۹ کیلومتر طول دار که قطعه دوم آن به طول ۲۶ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفته است. حفاری آن به جز ۶۳ متر ابتدایی تونل با استفاده از دستگاه حفاری مکانیزه *TBM* سپردار انجام می‌شود. سطح مقطع تونل دایروی و قطر نهایی آن ۶ متر است. جریان آب درون تونل بدون فشار ثابت است. نگهداری آن شامل بتن مسلح پیش‌ساخته است.

توده‌سنگ مسیر تونل نوسود شامل سنگ آهک، شیل آهکی، آهک شیلی و آهک مارنی می‌باشد. تحلیل پایداری و بررسی نگهداری تونل با استفاده از روش تجربی و عددی انجام شده است. در روش تجربی از سه سیستم طبقه‌بندی *RMR*، *Q* و *RMi* استفاده شده است. نگهداری پیشنهادی سه سیستم برای توده‌سنگ اطراف تونل شامل شاتکریت با ضخامت حداکثر ۱۵ سانتی‌متر که با الیاف فولادی یا تور سیمی تقویت شده و پیچ‌سنگ است. همچنین در صورت لزوم استفاده از قاب بتنی توصیه شده است. تنها در زون آهک مارنی استفاده از بتن با طراحی خاص یا شاتکریت با قاب فلزی پیشنهاد شده است. تحلیل عددی با استفاده از نرم‌افزار دوبعدی *FLAC* انجام شده است. جهت مدلسازی بتن مسلح تونل نوسود از برنامه-نویسی نرم‌افزار *FLAC* استفاده گردیده است، سپس به منظور مدلسازی پرکننده فاصله نگهداری و دیواره را به صورت سطح مشترک در نظر می‌گیریم و مشخصات پرکننده را به عنوان مشخصات سطح مشترک قرار می‌دهیم. در روش عددی برای بررسی نگهداری بتن مسلح از روش کرنش بحرانی استفاده شده است که نتایج حاصل نشان‌دهنده پایداری تونل در زون‌های مختلف سنگ‌شناسی و در اعماق مختلف است.

بهاستین و گریمستاد (۱۹۹۶) رابطه زیر را برای پیش‌بینی فشار نگهداری تونل‌های موجود در توده-سنگ‌های ضعیف ارائه دادند (برای $Q<۴$) [۶]:

$$P_V = \frac{UB}{J_r}.Q^{\frac{-1}{3}} \qquad (۲۱-۳)$$

که B قطر یا دهانه تونل به متر می‌باشد.

رابطه (۳-۲۱) نشان می‌دهد که در توده‌سنگ‌های ضعیف فشار نگهداری با اندازه تونل B افزایش می-یابد.

۳-۱۱-۲- رابطه سینگ و همکاران (۱۹۹۲)

الف) فشار نگهداری کوتاه مدت

در ۳۰ تونل ابزاربندی شده، مشاهده شده که فشار نگهداری سقف طبق رابطه تجربی زیر با کیفیت کوتاه مدت توده‌سنگ متناسب می‌باشد.

$$P_V = \frac{0.2}{J_r}.Q_i^{\frac{-1}{3}}.f.f'.f'' \qquad (۲۲-۳)$$

$$f = 1 + (H - 320)/800 \quad \geq \quad 1 \qquad (۲۳-۳)$$

که در این رابطه:

Q_i : برابر Q۵ ، کیفیت کوتاه مدت توده‌سنگ

P_V: فشار نگهداری کوتاه مدت سقف به MPa

f : فاکتور تصحیح روباره

f': فاکتور تصحیح همگرایی تونل، برای غیر فشارنده برابر ۱ است.

f'': فاکتور تصحیح زمان پس از حفاری (رابطه ۳-۲۴)

H: روباره بالای تاج یا عمق تونل زیر سطح زمین به متر

فاکتور تصحیح f'' برای زمان به صورت زیر به دست می‌آید:

$$f'' = Log\,(9.5 + 0.25) \qquad (۲۴-۳)$$

که t زمان پس از نصب نگهداری به ماه می‌باشد.

ب) فشار نگهداری نهایی

مطالعه سینگ و همکاران (۱۹۹۲) به کمک برون‌یابی مقادیر فشار نگهداری مربوط به ۱۰۰ سال گذشته نشان می‌دهد که در شرایط زمین غیرفشارنده، فشار نگهداری نهایی حدود ۱/۷۵ برابر فشار نگهداری کوتاه

مدت می‌باشد، ولی جتوا (۱۹۸۱) نشان داد که در شرایط زمین فشارنده، فشار نگهداری نهایی ۲ تا ۳ برابر فشار نگهداری کوتاه مدت است [۶].

۳-۱۱-۳- تخمین فشار نگهداری با استفاده از RMR

در سال ۱۹۸۳، یونال بر اساس مطالعاتش در معادن زغال، رابطه زیر را برای تخمین فشار نگهداری با استفاده از RMR پیشنهاد کرد:

$$P_V = \left[\frac{100 - RMR}{100}\right].\gamma.B \qquad (۲۵-۳)$$

که در این رابطه:

P_V: فشار نگهداری

γ: چگالی سنگ

B: عرض تونل

جدول ۳-۱۳- بار وارد بر نگهداری (MPa)

فرمول	سنگ آهک	آهک شیلی	شیل آهکی	آهک مارنی
۲۰-۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱
۲۱-۳	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۴
۲۲-۳	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۲
۲۵-۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مطالعات زمین‌شناسی مهندسی تونل انتقال آب نوسود ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- اهمیت و لزوم پروژه ۶

۲-۳- موقعیت جغرافیایی کلی تونل نوسود ۶

۲-۳-۱- قطعه اول تونل نوسود ۶

۲-۳-۲- قطعه دوم تونل نوسود ۷

۲-۴- مشخصات تونل ۷

۲-۵- زمین‌شناسی مسیر تونل نوسود (قطعه دوم) ۸

۲-۶- زمین ریخت‌شناسی ۸

۲-۷- زمین‌شناسی ساختمانی مسیر تونل ۹

۲-۷-۱- گسله‌ها ۹

۲-۷-۲- درزه‌ها ۱۰

۲-۸- خصوصیات مکانیک‌سنگی سنگ بکر و توده‌سنگ مسیر تونل ۱۲

۲-۸-۱- خصوصیات سنگ بکر ۱۳

۲-۹- نتیجه‌گیری ۱۵

فصل سوم: طبقه‌بندی مهندسی توده‌سنگ ۱۶

۳-۱- مقدمه ۱۷

۳-۲- سیستم طبقه‌بندی *RMR* ۱۸

۳-۳- سیستم کیفیت توده‌سنگ (Q) ۲۰

۳-۳-۱- روش متوسط وزنی مقدار Q ۲۱

۳-۴- اندیس توده‌سنگ (*RMi*) ۲۲
۳-۴-۱- کاربردهای *RMi* ۲۵
۳-۵- روش انتخاب نگهداری تونل با *RMi* ۲۶
۳-۵-۱- پایداری و نگهداری تونل در مواد پیوسته ۲۷
۳-۵-۲- پایداری و نگهداری سنگ در توده‌سنگ ناپیوسته ۲۸
۳-۶- تعیین *RMi* در توده‌سنگ مسیر تونل نوسود ۳۱
۳-۷- پیشنهاد نگهداری ۳۳
۳-۸- مشخصات پیچ‌سنگ ۳۵
۳-۹- توصیف توده‌سنگ ۳۶
۳-۱۰- خودنگهداری ۳۷
۳-۱۱- بار وارد بر نگهداری ۳۸
۳-۱۱-۱- با استفاده از روش بارتون و همکاران ۳۸
۳-۱۱-۲- رابطه سینگ و همکاران (۱۹۹۲) ۳۹
۳-۱۱-۳- تخمین فشار نگهداری با استفاده از *RMR* ۴۰
۳-۱۲- نتیجه‌گیری ۳۸
فصل چهارم: پارامترهای مهندسی توده‌سنگ ۴۳
۴-۱- مقدمه ۴۴
۴-۲- شاخص مقاومت زمین‌شناسی(*GSI*) ۴۴
۴-۳- پارامترهای معیار مقاومت هوک- براون ۴۷
۴-۴- مدول تغییر شکل توده‌سنگ ۵۰
۴-۵- تنش برجا ۵۳
۴-۶- نتیجه‌گیری ۵۵

فصل پنجم: اصول مدلسازی عددی و معرفی نرم‌افزار *FLAC*..... ۵۶

۵-۱- مقدمه ۵۷

۵-۲- معرفی نرم‌افزار *FLAC* ۶۱

۵-۲-۱- نرم‌افزار *FLAC* ۶۱

۵-۲-۲- حل مسأله در *FLAC* ۶۶

۵-۳- مدلسازی سطح مشترک در نرم‌افزار *FLAC* ۶۸

۵-۳-۱- توضیحات کلی ۶۸

۵-۳-۲- مبانی تئوری مدلسازی سطح مشترک ۶۸

۵-۳-۳- ویژگی‌های فیزیکی سطح مشترک ۷۱

۵-۴- نتیجه‌گیری ۷۳

فصل ششم: تحلیل عددی تونل نوسود با استفاده از نرم‌افزار *FLAC* ۷۴

۶-۱- مقدمه ۷۵

۶-۲- مراحل مدلسازی ۷۵

۶-۲-۱- انتخاب محدوده مناسبی از توده‌سنگ اطراف تونل ۷۶

۶-۲-۲- انتخاب مدل رفتاری و تعیین پارامترهای آن ۷۶

۶-۲-۳- اعمال شرایط مرزی و تنشهای اولیه ۷۸

۶-۲-۴- حل مدل تا رسیدن به تعادل قبل از حفاری ۷۹

۶-۲-۵- حفر تونل و حل مدل تا رسیدن به تعادل ۷۹

۶-۲-۶- مدلسازی و نصب المان‌های نگهداری ۸۰

۶-۲-۶-۱- پرکننده ۸۰

۶-۲-۶-۲- نگهداری پیش‌ساخته بتنی ۸۲

۶-۲-۷- حل نهایی مدل و دریافت نتایج تحلیل‌ها ۸۵

۶-۳- پارامترهای مدلسازی عددی در مقاطع مختلف ۸۵

۶-۳-۱- تنش برجا ۸۵

۶-۴- نتایج تحلیل در زون‌های مختلف ۸۶

۶-۴-۱- جابجایی قائم سقف تونل ۸۷
۶-۴-۲- جابجایی افقی دیواره تونل ۸۹
۶-۵- روش بررسی پایداری توده‌سنگ اطراف تونل ۹۱
۶-۵-۱- کرنش بحرانی ۹۱
۶-۵-۲- بررسی پایداری هسته پیشروی تونل ۹۳
۶-۶- تحلیل پایداری تونل نوسود ۹۵
۶-۷- نتیجه‌گیری ۹۶
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۷
۷-۱- نتایج ۹۸
۷-۲- پیشنهادات ۹۹
مراجع ۱۰۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- پلان کلی از طرح انتقال آب نوسود ۶

شکل ۲-۲- کنتور دیاگرام درزه‌ها در محدوده ورودی تونل نوسود ۱۱

شکل ۳-۱- کاربرد اصلی *RMi* در مکانیک سنگ و مهندسی سنگ ۲۴

شکل ۳-۲- نمودار انتخاب نگهداری در توده‌سنگ پیوسته ۲۷

شکل ۳-۳- نمودار انتخاب نگهداری در توده‌سنگ ناپیوسته ۳۰

شکل ۳-۴- نمودار زمان ایستایی دهانه‌های مختلف حفاری ۳۷

شکل ۴-۱- تخمین اندیس مقاومت زمین‌شناسی *GSI* بر مبنای بازبینی مشاهده‌ای شرایط زمین‌شناسی ... ۴۳

شکل ۵-۱- رویه کلی حل مسأله در *FLAC* ۶۴

شکل ۵-۲- یک سطح مشترک نشان داده شده بوسیله سطوح *a* و *b* ، متصل شده توسط فنر با سختی برشی (K_S) و سختی نرمال (K_n) ۶۶

شکل ۶-۱- نحوه تعیین زاویه اتساع (ψ) از طریق آزمایش سه محوری ۷۵

شکل ۶-۲- طرح نگهداری بتن مسلح تونل انتقال آب نوسود ۷۷

شکل ۶-۳- جابجایی قائم سقف در عمق ۱۰۰ متری ۸۲

شکل ۶-۴- جابجایی قائم سقف در عمق ۴۰۰ متری ۸۲

شکل ۶-۵- جابجایی قائم سقف در عمق ۸۲۵ متری ۸۳

شکل ۶-۶- جابجایی قائم سقف در عمق ۱۰۵۰ متری ۸۳

شکل ۶-۷- جابجایی افقی دیواره در عمق ۱۰۰ متری ۸۴

شکل ۶-۸- جابجایی افقی دیواره در عمق ۴۰۰ متری ۸۴

شکل ۶-۹- جابجایی افقی دیواره در عمق ۸۲۵ متری ۸۵

شکل ۶-۱۰- جابجایی افقی دیواره در عمق ۱۰۵۰ متری ۸۵

شکل ۶-۱۱- رابطه بین کرنش بحرانی و مدول تغییر شکل ۸۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مشخصات واحدهای مختلف لیتولوژیکی در مسیر قطعه دوم تونل نوسود ۷

جدول ۲-۲- مشخصات ژئوتکنیکی دسته درزه‌های مختلف ورودی تونل نوسود ۱۰

جدول ۲-۳- خصوصیات فیزیکی و ژئومکانیکی زون‌های مختلف سنگ‌شناسی تونل نوسود ۱۳

جدول ۲-۴- شرایط زون‌های مختلف سنگ‌شناسی مسیر تونل نوسود ۱۴

جدول ۳-۱- امتیاز توده سنگ اطراف تونل نوسود بر اساس طبقه‌بندی ***RMR*** ۱۸

جدول ۳-۲- روش متوسط وزنی مقدار Q برای سنگ آهک تونل نوسود ۲۰

جدول ۳-۳- محاسبه شاخص Q برای توده سنگ اطراف تونل نوسود ۲۱

جدول ۳-۴- مقادیر D بر حسب J_C ۲۲

جدول ۳-۵- پیشنهاد تقسیم‌بندی عددی زمین مطابق ***NATM*** ۲۵

جدول ۳-۶- تعیین پارامترهای لازم برای نگهداری برای زون‌های مختلف تونل نوسود ۳۱

جدول ۳-۷- تعیین اندیس توده‌سنگ (***RMi***) برای زون‌های مختلف مسیر تونل نوسود ۳۱

جدول ۳-۸- نگهداری پیشنهادی برای توده‌سنگ اطراف تونل نوسود براساس طبقه‌بندی ***RMR*** و Q ۳۳

جدول ۳-۹- نگهداری پیشنهادی***RMi*** برای توده‌سنگ اطراف تونل نوسود ۳۴

جدول ۳-۱۰- طول پیشنهادی پیچ‌سنگ بر اساس ***RMR*** ۳۵

جدول ۳-۱۱- توصیف توده‌سنگ اطراف تونل نوسود بر اساس سیستم‌های طبقه‌بندی ۳۵

جدول ۳-۱۲- تعیین دهانه خودنگهدار زونهای سنگ‌شناسی تونل نوسود ۳۶

جدول ۳-۱۳- بار وارد بر نگهداری در سیستم Q ۳۷

جدول ۴-۱- مقادیر ***GSI*** زون‌های سنگ‌شناسی مسیر تونل نوسود ۴۴

جدول ۴-۲- محاسبه پارامترهای***mb*** ، S و a بر اساس***RMi*** و اندیس ***GSI*** ۴۵

جدول ۴-۳- مقادیر ***mi*** زون‌های سنگ‌شناسی مسیر تونل نوسود ۴۵

جدول ۴-۴- مقادیر پارامترهای معیار هوک- براون بر اساس اندیس ***GSI*** ۴۶

جدول ۴-۵- مقادیر پارامترهای معیار هوک ـ براون بر اساس***RMi*** ۴۶

جدول ۴-۶- جمع‌بندی روش غیرمستقیم تعیین مدول تغییر شکل توده‌سنگ ۴۷
جدول ۴-۷- معادلات تجربی تعیین مدول تغییر شکل توده‌سنگ ۴۸
جدول ۴-۸- مدول تغییر شکل توده‌سنگ در مسیر تونل نوسود (GPa) ۴۹
جدول ۴-۹- مقادیر نهایی مدول تغییر شکل توده‌سنگ در مسیر تونل نوسود (GPa) ۴۹
جدول ۴-۱۰- نسبت تنش برجای افقی به قائم در مسیر تونل نوسود ۵۲
جدول ۶-۱- خصوصیات بتن مسلح تونل انتقال آب نوسود ۷۹
جدول ۶-۲- مقاطع مورد تحلیل در زون‌های تونل نوسود ۸۰
جدول ۶-۳- تنش‌های برجای قائم و افقی در زون‌های مختلف مسیر نوسود ۸۱
جدول ۶-۴- مشخصات توده‌سنگ تونل نوسود در اعماق مختلف ۸۱
جدول ۶-۵- بررسی نتایج مدل $FLAC$ در توده‌سنگ اطراف تونل نوسود ۹۰
جدول ۶-۶- جابجایی مجاز توده‌سنگ بر اساس تراز هشدار ۹۰

فصل اول

مقدمه

احداث فضاهای زیر زمینی با اهداف کاربری مختلف، به عنوان یکی از قدیمی‌ترین فعالیت‌های بشری، مشتمل بر دو فرآیند اصلی حفر و نگهداری است. نگهداری این فضاها به منظور تأمین ایمنی افراد و تجهیزات در زمان احداث و تحقق خواسته‌های کاربری در مدت بهره‌برداری صورت می‌گیرد. در مرحله طراحی سازه زیرزمینی می‌بایست در رابطه با امکان و یا عدم امکان اجرای سازه در محل تصمیم‌گیری نموده و در صورت امکان اجرا سازه، نگهداری مناسب را برگزید. طی سی سال گذشته، به واسطه توسعه کامپیوتر محاسبات سازه‌ای پیشرفت فوق‌العاده‌ای داشته‌اند، اما طراحی و نگهداری فضاهای زیرزمینی همچنان با تردید انجام می‌گیرد و چندان اطمینانی به بهینه بودن طراحی(حداقل هزینه در عین تأمین ایمنی کافی) وجود ندارد. در انتخاب و طراحی سیستمهای نگهداری تونل‌ها علاوه بر مطالعات نظری، تجربه هنوز نقش عمده را ایفا می‌کند. تبیین مکانیزم تغییر شکل‌ها و کمی نمودن رفتار زمین با مدل‌های تحلیلی و عددی و نیز مقایسهٔ تئوری با عمل راهکاری است که امروزه به منظور شناسایی عوامل ناپایداری‌های تونل و طریقه مقابله با آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر مشکل ناپایداری‌ها زیاد باشد، نیاز به اطلاعات تفضیلی از توده سنگ و بررسی طرح نگهداری وجود دارد. در صورتی که امکان نگهداری سازه در بلند مدت وجود نداشته باشد امکان ساخت سازه زیر زمینی در این محل وجود ندارد.

تونل نوسود جهت انحراف آب رودخانه سیروان (پنجمین رودخانه پرآب کشور) به داخل کشور اجرا می‌شود. تونل نوسود حدود ۴۹ کیلومتر طول دارد که شامل دو قطعه می‌باشد. حفر قطعه اول به طول حدود ۲۳ کیلومتر هنوز اغاز نگردیده است. قطعه دوم با طولی حدود ۲۶ کیلومتر در دست احداث است که ۶۳ متر ابتدایی تونل با روش دستی حفر شده و نگهداری آن شاتکریت و تور سیمی است. بقیه تونل با استفاده از یک دستگاه حفاری مکانیزه تمام مقطع *TBM* سپردار حفاری خواهد شد مقطع تونل دایره‌ای به قطر حفاری ۶/۷۳ متر است قطر تمام شده تونل بعد از نصب نگهداری ۶ متر است نگهداری تونل با بتن مسلح پیش ساخته انجام می‌شود. جریان درون تونل از نوع جریان آزاد و به صورت ثقلی می‌باشد.

در این تحقیق تحلیل پایداری و بررسی نگهداری بتن مسلح قطعه دوم تونل به طول ۲۶ کیلومتر که توسط *TBM* حفاری خواهد شد انجام شده است. تحلیل پایداری با استفاده از روش تجربی و روش عددی صورت گرفته است. در روش تجربی از سیستم‌های طبقه‌بندی *Q*، *RMi* و *RMR* استفاده شده و تحلیل عددی با روش تفاضل محدود و به کمک نرم افزار دو بعدی *FLAC* انجام شده است. با توجه به استفاده از نگهداری بتن مسلح به ضخامت ۲۵ سانتی‌متر و برای کل طول تونل در این تحقیق سعی بر آن است که در روش تجربی مقایسه‌ای بین میزان نگهداری پیشنهادی در روش‌های تجربی با میزان نگهداری مورد استفاده در تونل انجام گردد. همچنین در روش عددی به مدلسازی نگهداری بتن مسلح پرداخته شده تا به کمک آن نگهداری بتن مسلح تونل نوسود بررسی شود.

مجموعه مطالب در فصول مختلف به صورت زیر ارائه شده است:

فصل اول: این فصل شامل مقدمه و خلاصه‌ای از روندکار پایان‌نامه است.

فصل دوم: در این فصل تونل انتقال آب نوسود معرفی شده و اطلاعاتی در مورد موقعیت جغرافیایی، مشخصات تونل و زمین شناسی تونل آورده شده است. همچنین اطلاعاتی در مورد خصوصیات مکانیک سنگی سنگ بکر و توده سنگ ارائه شده است.

فصل سوم: در این فصل سیستم‌های طبقه‌بندی توده سنگ شامل *Q*، *RMi* و *RMR* برای توده سنگ مسیر تونل نوسود تعیین و نگهداری پیشنهادی توسط آنها ارائه شده است.

فصل چهارم: در این فصل تنش‌های برجا و سایر پارامترهای مهندسی توده سنگ تعیین شده‌اند تا در مدلسازی عددی به کار روند.

فصل پنجم: در این فصل مدلسازی عددی توضیح داده شده و همچنین نرم افزار *FLAC* معرفی شده و سپس با توجه به اهمیت سطح مشترک در مدلسازی نگهداری تونل نوسود به معرفی آن پرداخته شده است.

فصل ششم: این فصل شامل تحلیل پایداری تونل نوسود است. در این فصل چندین مقطع از تونل در عمقهای مختلف تعیین و با نرم افزار *FLAC* جابجایی سقف و دیواره تونل در آنها مورد

بررسی قرار گرفته است. سپس این جابجایی‌ها با جابجایی‌های مجاز که بـا روش کـرنش مجـاز تعیین شده مقایسه گردیده و با توجه به آن پایداری تونل مورد تحلیل قرار گرفته است.

فصل هفتم: نتایج نهایی و پیشنهادات در این فصل ارائه شده است.

فصل دوم

مطالعات زمین‌شناسی مهندسی

تونل انتقال آب نوسود

۲-۱- مقدمه

طرح تونل انتقال آب نوسود بخشی از طرح بزرگ تـأمین آب دشـت‌هـای گرمـسیری غـرب کشور است که اجرای آن امکان انحراف آب رودخانه سیروان (پنجمین رودخانه پرآب کشور) را به داخل کشور فراهم می‌نماید. طرح تونل نوسود با طول حدود ۴۹ کیلومتر به دو قطعه تقسیم شده است. ورودی تونل (در قطعه اول) از لحاظ جغرافیایی در ۷۰ کیلومتری شمال شهرسـتان پاوه از توابع استان کرمانشاه و در محل روستای هیروی است. خروجی تونل (در قطعه دوم) در مجاورت روستای ازگله در ۶۰ کیلومتری شمال شهرستان سرپل ذهاب قرار گرفته است. تونـل نوسود با مقطع دایره‌ای با قطر تمام شده ۶ متر و دبی ۷۰ متر مکعب بر ثانیه به صورت جریان آزاد طراحی گردیده است.

۲-۲- اهمیت و لزوم پروژه

ضرورت انتقال آب به دشت‌های گرمسیری غرب کشور با توجه به بحران کم آبـی و شـرایط خاص اقلیمی برخی از بخش‌های کشور که خاک زراعی مناسب و فراوان ولی مـشکل کـم آبـی دارند، در طی مطالعات مهندسی تحت عنوان طرح تأمین آب دشت‌های گرمسیری غرب کشور با هدف انتقال آب از رودخانه سیروان به محدوده دشت‌های سرقلعه تا موسـیان ـ عـین خـوش مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بررسی‌های انجام شده مؤید آن گردید که امکـان اجـرای ایـن پروژه عظیم از لحاظ فنی و اقتصادی میسر است.

۲-۳- موقعیت جغرافیایی کلی تونل نوسود

۲-۳-۱- قطعه اول تونل نوسود

قطعه اول تونل نوسود با طولی حـدود ۲۳ کیلـومتر از رودخانـه هیـروی در محـدوده دوآب شروع و با عبور از رودخانه مره‌خیل به محدوده رودخانه لیله می‌رسد. همان‌گونه کـه در شـکل ۲-۱ مشاهده می‌شود قطعه اول در استان کرمانشاه واقع گردیده است.

۲-۳-۲- قطعه دوم تونل نوسود

قطعه دوم تونل نوسود با طول حدود ۲۶ کیلومتر از رودخانه لیله در ادامه قطعه اول شـروع گردیده و پس از عبور از زیرگذر رودخانه‌های زلکان و کردی قاسمان در مجاورت روستای ازگله خاتمه می‌یابد (شکل ۲-۱).

شکل ۲-۱- پلان کلی از طرح انتقال آب نوسود [۱]

۲-۴- مشخصات تونل

شکل مقطع تونل دایروی و به قطر حفاری ۶/۷۳ متر و قطر تمام شده ۶ متر است. نگهداری تونل با بتن مسلح پیش ساخته انجام می‌شود. حفاری از دهانه خروجی تونـل در ازگلـه شـروع

شده و با شیبی معادل ۸ در ۱۰۰۰۰ حفاری می‌گردد. در کل مسیر، دو قوس در متراژهای L_1=۳۸۰۰ متر و L_2=۲۱۸۰۰ متر از صفر خروجی (ورودی اجرایی) خواهد داشت.

۲-۵- زمین‌شناسی مسیر تونل نوسود (قطعه دوم)

تونل نوسود (قطعه دوم) در زون زاگرس چین خورده قرار گرفته است و در طول آن تنوع لیتولوژیکی نسبتاً زیاد است. به طوری که امکان تفکیک ۶ واحد لیتولوژیکی در این مسیر وجود دارد که مشخصات آنها در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات واحدهای مختلف لیتولوژیکی در مسیر قطعه دوم تونل نوسود [۱]

ویژگی / ردیف	نام واحد	درصد از کل مسیر	کل طول (متر)	توصیف لیتولوژیکی	سن تشکیلات
۱	Ki	۳۴/۲۱	۸۷۸۷/۶	آهک‌های خاکستری و میان لایه‌های نازک شیل (آهک، آهک شیلی و شیل آهکی)	کرتاسه پایانی
۲	Kg	۲۶/۵۴	۶۸۱۷/۶۰	شیل‌های خاکستری مایل به آبی و میان لایه‌های نازک آهک رسی (آهک شیلی و شیل آهکی)	کرتاسه پایانی ـ ائوسن آغازی
۳	J	۱۴/۰۲	۳۶۰۰/۳۷	آهک، آهک دولومیتی ضخیم تا توده‌ای و آهک‌های رسی نازک لایه با مقاومت کم و میان لایه‌هایی از مارن گل سنگ	ژوراسیک
۴	Kga	۱۱/۳۷	۲۹۱۹/۴۳	آهک رسی و شیل بیتومینه و پیریت‌دار حاوی چرت و رادیو لاریت	کرتاسه آغازی ـ پایانی
۵	EP	۰۷/۶۸	۱۹۷۱/۵۰	شیل آهکی و آهک شیلی	پالئوسن ـ الیگوسن
۶	JKk	۰۶/۱۸	۱۵۸۸/۶۰	آهک نازک لایه تا حجیم و آهک رسی و مارنی	ژوراسیک ـ کرتاسه

۲-۶- زمین ریخت‌شناسی

وضعیت ریخت‌شناسی هر منطقه برگرفته از لیتولوژی واحدهای سنگ چینه‌ای و وضعیت زمین ساخت آن ناحیه است. به طوری که هر واحد سنگی دارای شرایط ریختاری مخصوص به

خود است. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه در دو ناحیه ساختاری رسوبی گسترده ایـران زمین واقع گردیده است لذا ریختارهای گوناگونی در آن دیده می‌شود.

به طور کلی، از ابتدای دهانه ورودی تونل تا متراژ حدود ۳۱۱۳۰ متر بر اساس نوع واحدهای سنگ چینه‌ای، ریختار نوع اول است. این بخش از گستـره طرح که شامل مجموعه‌ای از سنگ-های آهکی دولومیتی تریاس، ژوراسیک و کرتاسه است. توپوگرافی خشن و کوهستانی، ارتفاعات بلند، دره‌های ژرف و پرتگاه‌های عمیق تشکیل شده و شیب عمومی لایه‌بندی این ارتفاعات بـه سمت شمال ـ شمال خاوری بوده و از نظر ریخت‌شناسی در ریختار نوع اول قرار می‌گیرند.

از متراژ ۳۱۱۳۰ متر تا انتهای مسیر تونل اصلی، واحدهای سنگ چینه‌ای سـازندهای ایـلام گوپری و پابده رخنمون دارند که شامل شیل، آهک، شیل آهکی و مارن می‌باشند که به دلیـل مقاومت نسبتاً کم و فرسایش‌پذیری متوسط تا زیاد به صورت ارتفاعات پشته گوسـفندی و تپـه ماهوری کم ارتفاع در آمده‌اند و ریختار نوع دوم را تشکیل می‌دهند.

رسوبات سخت نشده دشت، مخروط افکن‌ها، رسوبات واریزه‌ای، پادگانه‌های قدیمی و جـوان که در ابتدای ورودی و همچنین خروجی تونل اصلی مشاهده می‌شوند ریختار نوع سوم را شامل می‌شوند.

۲-۷- زمین‌شناسی ساختمانی مسیر تونل

مهم‌ترین عناصر ساختاری در این مطالعه عناصر صفحه‌ای هـستند ایـن عناصـر در منطقـه شامل لایه‌بندی، شیستوزیته، درزه‌ها، رگه‌ها و گسل‌ها می‌باشند.

۲-۷-۱- گسله‌ها[1]

تعداد ۸ گسل در تونل مسیر تونل وجود داشته که در متراژهای مختلف مسیر تونل اصلی را قطع می‌نمایند. توپولوژی خشن منطقه و راه‌های دسترسی محدود و صعب‌العبور بررسی میدانی گسله‌ها و خطواره‌های مهم را بسیار دشوار ساخته است. با این وجود، این گسله‌ها در مقـاطعی

[1] *Faults*