



تاثیر نفوذپذیری لاینینگ روی بار اعمال شده بر لاینینگ

ابوذر قربانی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان

a.ghorbani462@gmail.com

رضا رحمان نژاد، دانشیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

حسین جلالی فر، استاد یار بخش مهندسی نفت، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

در تونل‌هایی که در زیر سطح ایستایی حفر می‌شوند، یکی از عوامل بارگذاری روی سیستم نگهداری فشار آب زیرزمینی می‌باشد. در صورتی که تونل با فرض عایق کامل طراحی شود، باید تمام بار وارد بر تونل ناشی از آب زیر زمینی را به صورت فشار هیدرواستاتیک در طراحی در نظر گرفت. اما در صورتی که از سیستم‌های زهکشی استفاده شود، بار ناشی از هد آب، بسته به نوع زهکشی، تا حدودی حذف می‌گردد. ولی در عوض بار اضافه دیگری ناشی از حرکت جریان را نیز در محاسبات لحاظ نمود. در این مقاله به بررسی میزان اثر کاهش هد آب روی بار وارده بر لاینینگ با استفاده از مدل سازی عددی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: تونل، آب زیر زمینی، زهکشی، Flac2D

۱ مقدمه

پوشش تونل‌هایی که در زیر سطح آب زیرزمینی احداث می‌شوند، توسط فشار آب بارگذاری می‌شود. این بار به شرایط موجود در زمین و نگهداری بستگی دارد. پوشش‌های تقریباً آب‌بند تا حدی به صورت فشار هیدرواستاتیک، بارگذاری می‌شوند و باید تمام بار ناشی از آب زیر زمینی را تحمل نمایند ولی در صورت وجود جریان، این فشار کاهش می‌یابد. پوشش تونل‌ها تقریباً هیچگاه به طور کامل نفوذناپذیر نمی‌باشد مطالعات انجام شده با استفاده از مدل‌های عددی و اندازه‌گیری‌های برج‌ها بر روی حفاریات عمیق، نشان داده است که بهره‌گیری از اقدامات کاهش دهنده محلی مقدار آب زیرزمینی، به طور قابل ملاحظه‌ای بار تحمیلی بر سازه را کاهش داده، به طوری که تأثیری نیز بر ظاهر سطح آب زیرزمینی نمی‌گذارد [۱]. همچنین در این بررسی خاطر نشان شده است که در نظر گرفتن جریان آب زیرزمینی (یعنی پوشش زهکشی شده‌ای از تونل) به جای استفاده از رویکرد فشار هیدرواستاتیک آب (یعنی آب بند بودن پوشش تونل) امکان اجرای یک پروژه ایمن‌تر و اقتصادی‌تر را فراهم می‌سازد.

جهت بررسی اثر انواع شرایط مختلف هیدرولیکی، روش‌های تحلیلی و عددی مختلفی ارائه شده است. در روش‌های تحلیلی ارائه شده دو ایده دنبال شده است. در ایده اول صرفاً براساس مدل‌سازی جریان آب و تأثیر آن بر نحوه تغییر فشار آب استفاده شده است که از این دسته می‌توان به تلاش‌هایی که توسط اشلایس (۱۹۹۷، ۱۹۸۶) و همچنین ژوئینگ و همکاران (۲۰۰۸) صورت پذیرفته اشاره نمود [۲،۳]. در ایده دوم سعی شده است با اصلاح روش‌های محاسبات مکانیکی موجود، که برای محاسبه زمین اطراف یک سازه استفاده می‌شود، بحث اثر



جریان آب زیرزمینی را اطراف سازه‌ها بیان نمایند. در این صورت زمین با دو رفتار الاستیک و الاستوپلاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به مقالات ارائه شده توسط بوبت (۲۰۰۳، ۲۰۰۷)، کارانزا-تورس و ژائو (۲۰۰۹)، آرجونی و همکاران (۲۰۰۸)، کولیمباس و واگنر (۲۰۰۷)، بلی و نام (۲۰۰۱) و فرناندز و تریسو (۱۹۹۴) اشاره نمود [۹-۴]. در بررسی زمین الاستیک بیان می‌شود که تغییر شرایط مرزی از حالت زهکشی کامل تا عایق کامل بر روی بار اعمال شده بر نگهداری اثری ندارد. اما در حالت الاستوپلاستیک که زمین دچار شکست می‌شود، تغییر شرایط زهکشی تاثیر بسزایی روی بار اعمال شده بر نگهداری خواهد داشت. علاوه بر روش‌های تحلیلی فوق، با استفاده از روش‌های مدل‌سازی عددی نیز تلاش‌هایی صورت گرفته است. به عنوان مثال هوک و همکاران (۲۰۰۸) شرایط مختلف زهکشی را در اطراف یک تونل با استفاده از مدل‌سازی عددی مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۰].

۲ معرفی تونل انتقال آب کرج - تهران زمین شناسی مهندسی

سامانه انتقال آب غرب تهران به منظور انتقال آب شرب تهران از سد امیرکبیر طراحی و در حال اجرا می‌باشد. مهمترین بخش این پروژه احداث تونلی طویل با طول تقریبی ۳۰ کیلومتر می‌باشد که قرار است در دو قطعه مجزا اجرا شود. طول بخشی از مسیر ۱۵۹۸۰ متر بوده و با استفاده از روش مکانیزه و به وسیله ماشین حفاری تمام مقطع (TBM) حفر می‌گردد. شکل مقطع تونل دایروی و به قطر حفاری ۴/۶۶۵ متر و قطر تمام شده ۳/۹ متر است. نگهداری تونل با سگمنت انجام می‌شود. ضخامت نگهداری ۰/۲۵ متر می‌باشد [۱۱]. گستره طرح از نظر چینش‌شناختی دربرگیرنده مجموعه‌های رسوبی - آتشفشانی مختلفی از سازند کرج است. سنگ‌شناسی آنها به طور کلی شامل تناوب‌هایی از توف، ماسه سنگ، کنگلومرای ریز دانه و بخش‌های سیلت‌استون و گدازه و حتی آگلومرایی هستند که به طور جانبی تغییرات چشمگیری دارند.

۳ جزئیات و نتایج مدل‌سازی عددی

برای بررسی شرایط هیدرولیکی مختلف روی بار روی نگهداری در مسیر تونل انتقال آب کرج - تهران دو منطقه به عنوان مناطق نمونه انتخاب شده است. منطقه Gta4، به علت مقاومت بالای سنگ در این منطقه، به عنوان زمین با رفتار الاستیک در نظر گرفته شده است. هم چنین منطقه CTZ، به علت ضعیف بودن سنگ، به عنوان زمین با رفتار الاستوپلاستیک در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی از نرم افزار FLAC ۲d استفاده شده است. این نرم افزار قادر است که مدل‌سازی‌های هیدرولیکی را به صورت جداگانه و یا همزمان را ایجاد نماید. پارامترهایی که برای مدل‌سازی لازم است در جدول ۱ آورده شده است [۱۲].



برای مدل‌سازی در مناطق مختلف مسیر تونل، از آنجایی که در مدل‌سازی های هیدرولیکی محدوده تحت تاثیر حفر تونل در شرایط هیدرولیکی اطراف آن بسیار وسیع تر از حالت مدل-سازی مکانیکی می باشد، از مدلی با ابعاد ۲۰۰ متر (طول) در ۱۳۰ متر (ارتفاع) استفاده شده است. برای ایجاد این ابعاد مش ۸۰×۶۰ در نظر شده است. برای افزایش دقت در محاسبات در نزدیکی محل حفر تونل، که در مرکز مدل می باشد، تراکم مش‌بندی در این منطقه افزایش داده شده است.

برای بیان نتایج و مقایسه بین آنها، خط افقی که از دیواره سمت راست تونل تا مرز سمت راست مدل کشیده شده، استفاده شده است. در ادامه نتایج مربوط به هر کدام از مناطق $Gta4$ و Crz آورده شده است.

۱-۳ نتایج مدل‌سازی در منطقه $Gta4$

همان طور که قبلاً ذکر شد، منطقه $Gta4$ به علت مقاومت بالا به عنوان منطقه با رفتار الاستیک در نظر گرفته شده است. برای بیان اثر ورود آب به داخل تونل روی بار اعمالی به نگهداری، با استفاده از شرایط مرزی اعمال شده در روی مرز تونل میزان حجم آب ورودی به تونل کنترل گردیده است. این کنترل از مقدار جریان آزاد آب یعنی حالت زهکشی کامل تا حالت بدون جریان یعنی حالت عایق کامل در ۱۰ مرحله تغییر داده شده است. به عبارت دیگر سطح آب در مرز تونل از مقدار صفر برای زهکشی کامل تا مقدار ۳۰۰ متر، که فشار آب برجای اولیه بوده و نشان دهنده حالت بدون جریان است، تغییر داده شده است. نتایج این سری از مدل‌سازی‌ها در شکل‌های ۱ تا ۴ آورده شده است. در شکل‌هایی که در ادامه آورده شده است، پارامترهای زیر استفاده شده است:

R : شعاع تونل
 R : فاصله نقطه اندازه‌گیری تا مرکز تونل
 Sxx : تنش کل در راستای افقی
 $Esxx$: تنش موثر در راستای افقی
 Syy : تنش کل در راستای قائم
 $Esyy$: تنش موثر در راستای قائم
 PP : فشار آب منفذی

با مقایسه نتایج حالت‌های مختلف که در شکل‌های ۱ تا ۴ آورده شده است، می‌توان گفت که تغییر شرایط مرزی هیدرولیکی تاثیری روی شرایط زمین نداشته است. این نتیجه مشابه نتایجی است که بوبت و همکاران در مقالات مختلف با استفاده از روابط تحلیلی به آن دست یافته‌اند [۴]. برای مقایسه بهتر در جدول ۲ مقادیر جایجایی و نیروی محوری نگهداری آورده شده است.

۲-۳ نتایج مدل‌سازی در منطقه Crz



در این منطقه به علت مقاومت پایین، در اثر تنش‌های برجا در اطراف تونل زون شکست ایجاد می‌گردد، به همین دلیل از این منطقه به عنوان منطقه با رفتار الاستوپلاستیک در مدل‌سازی استفاده شده است. در این سری از مدل‌سازی‌ها مانند سری قبل شرایط مرزی هیدرولیکی در اطراف تونل از حالت زهکشی کامل تا حالت عایق کامل تغییر داده شده است. پارامترهای استفاده شده در شکل‌ها نیز همان معانی قبل را دارند.

همانطور که در شکل‌های ۵ تا ۸ مشاهده می‌شود، در زمین که رفتار الاستوپلاستیک است، تغییر در شرایط مرزی هیدرولیکی موجب تغییر در پاسخ زمین به صورت تغییر در تنش‌های کل، موثر، فشار آب و در نهایت نیروی محوری روی نگهداری می‌گردد. برای بهتر نشان دادن نتایج این سری از مدل‌سازی، در جدول ۳ مقادیر جابجایی و نیروی محوری وارد بر نگهداری آورده شده است.

۴ نتیجه‌گیری

در این فصل به مدل‌سازی زمین در دو حالت الاستیک و الاستوپلاستیک پرداخته شد. برای این مدل‌سازی‌ها از دو منطقه $Gta4$ به عنوان زمین با رفتار الاستیک و منطقه Crz به عنوان زمین با رفتار الاستوپلاستیک استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی‌های منطقه $Gta4$ نشان می‌دهد که، در زمین با رفتار الاستیک شرایط مرزی هیدرولیکی تأثیری روی بار روی نگهداری ندارد. همچنین نتایج مدل‌سازی‌های منطقه Crz بیان می‌کند که، در زمین با رفتار الاستوپلاستیک شرایط مرزی هیدرولیکی تأثیر بسزایی روی بار روی نگهداری و جابجایی‌های زمین از خود نشان می‌دهد و با افزایش میزان نفوذ جریان آب به داخل تونل از میزان بار روی نگهداری کاسته خواهد شد.

۵ منابع

- [۱] Billfinger, werner. "Desing procedures for groundwater loads on tunnel linings." Felsbau ۲۳, ۲۰۰۵: ۵۵-۶۱.
- [۲] Schleiss, anton j. "Design of concrete lining of pressure tunnels of and shafts for external pressure." Tunneling asia. New Delhi, ۱۹۹۷. ۲۹۱-۳۰۰.
- [۳] Schliess, Anton J. "Design of pervious pressure tunnel." Water Power & Dam Construction. ۱۹۸۶. ۲۱-۲۶.
- [۴] Bobet, A. "Effect of pore water pressure on tunnel support during static and seismic loading." Tunnelling and Underground Space Technology ۱۸, ۲۰۰۳: ۳۷۷-۳۹۳.
- [۵] Carranza-Torres, C, and j Zhao. "Analytical and numerical study of the effect of water pressure on the mechanical response of cylindrical lined tunnels in elastic and elasto-plastic porous media."



International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences ۴۶ (International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences), ۲۰۰۹: ۵۳۱-۵۴۷.

[۶] Arjoni, Ponlawich, Jae Jeong, Chang Yong Kim, and Kyung Ho Park. "Effect of drainage conditions on pore water pressure distributions and lining stresses in drained tunnels." Tunneling and underground space technology ۲۳, ۲۰۰۸.

[۷] Kolymbas, Dimitrios, and Peter Wagner. "Groundwater ingress to tunnels – The exact analytical solution." Tunnelling and Underground Space Technology ۲۲, ۲۰۰۷: ۲۳-۲۷.

[۸] Lee, In Mo, and Seek Woo Nam. "The study of seepage forces acting on the tunnel lining and tunnel face in shallow tunnels." Tunnelling and Underground Space Technology ۱۶, ۲۰۰۱: ۳۱-۴۰.

[۹] Fernandez, Gabriel, and Tirso A Alvarez. "Seepage-Induced Effective Stresses And Water Pressures Around Pressure Tunnels." Journal of Geotechnical Engineering ۱۲۰(۱), ۱۹۹۴: ۱۰۸-۱۲۷.

[۱۰] Itasca, consulting Group. "Flac (Fast Lagrangian Analysis of Continua) Version ۴.۰.۳۱۴." www.itascacg.com, ۲۰۰۰.

[۱۱] Nam, Seek Woo, and Antonio Bobet. "Radial Deformations Induced by Groundwater Flow on Deep Circular Tunnels." Rock Mech. Rock Engng ۴۰ (۱), ۲۰۰۷: ۲۳-۳۹.

[۱۲] Xiuying, Wang, Tan zhongsheng, Wang Mengshu, Zhang Mi, and Huangfu Ming. "Theoretical and experimental study of external water pressure on tunnel lining in controlled drainage under high water level." Tunnelling and Underground Space Technology ۲۳, ۲۰۰۸: p ۵۵۲-۵۶۰.

ضمیمه الف - جدول ها

جدول ۱: خواص ژئومکانیکی استفاده شده در مدل سازی [۱۱]

ارتفاع ستون آب	نسبت تنش های برجا	هدایت هیدرولیکی (m/sec)	میانگین ریزش (متر)	پارامتر های برشی متوسط		σ_c (Mpa)	γ (kg/m ³)	ν	E (Gpa)	منطقه
				C (Mpa)						
۳۰۰	۱.۵	1×10^{-8}	۵۰۰	۵۴/۴	۶/۵۱۸	۱۵۰	۲۷۰۰	۰/۲	۱۲	Gta ۴
۲۰۰	۱	1×10^{-7}	۳۰۰	۲۴/۷	۰/۴۸۴	۱۵	۲۶۰۰	۰/۳	۲	Crz

جدول ۲: مقادیر جابجایی دیواره و بار روی نگهداری در شرایط مرزی مختلف برای Gta۴

نیروی محوری نگهداری		جابجایی روی دیواره راست		فشار آب روی مرز تونل
(%) درصد حالت پایه	مقدار (MPa)	(%) درصد حالت پایه	مقدار (mm)	
۱۰۱	۱.۱۹	۶۸.۱۷	۵.۱۲	۰ متر
۹۶	۱.۱۳	۶۸.۰۷	۵.۱۱	۲۵ متر



اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته

اسفند ۱۳۸۸

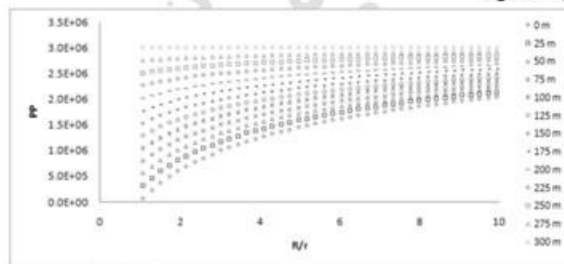
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد طبس

۱۰۱	۱.۱۹	۷۰.۹۶	۵.۳۳	۵۰ متر
۹۵	۱.۱۳	۶۹.۷۴	۵.۲۴	۷۵ متر
۹۸	۱.۱۶	۷۰.۸۲	۵.۳۲	۱۰۰ متر
۹۸	۱.۱۶	۷۱.۵۷	۵.۳۷	۱۲۵ متر
۱۰۳	۱.۲۲	۷۳.۸۱	۵.۵۴	۱۵۰ متر
۹۹	۱.۱۶	۷۷.۱۰	۵.۷۹	۲۰۰ متر
۱۰۳	۱.۲۱	۸۶.۸۱	۶.۵۳	۲۵۰ متر
۱۰۰	۱.۱۸	۱۰۰	۷.۵۱	۳۰۰ متر

جدول ۳: مقادیر جابجایی دیواره و بار روی نگهداری در شرایط مرزی مختلف برای CTZ

نیروی محوری نگهداری		جابجایی روی دیواره راست		فشار آب روی مرز تونل
مقدار (MPa)	(%) درصد حالت پایه	مقدار (Cm)	(%) درصد حالت پایه	
۱۰۰	۳.۳	۰.۸۶۶	۱۰۰	خشک
۲۵۹	۸.۵۶۹	۲.۵۶	۲۹۵.۶۱	صفر متر
۳۰۸	۱۰.۱۹	۳.۳۷	۳۸۹.۱	۲۵ متر
۳۷۱	۱۲.۲۶	۴.۰۸	۴۷۱.۱	۵۰ متر
۴۲۰	۱۳.۸۶	۴.۷۴	۵۴۷.۳	۷۵ متر
۴۵۴	۱۴.۹۹	۵.۲۷	۶۰۸.۵	۱۰۰ متر
۴۸۰	۱۵.۸۷	۵.۸۲	۶۷۲	۱۲۵ متر
۵۱۳	۱۶.۹۶	۶.۳۸	۷۳۶	۱۵۰ متر
۵۱۷	۱۷.۰۹	۶.۹۸	۸۰۶	۱۷۵ متر
۵۶۵	۱۸.۶۵	۷.۵۳	۸۶۹	۲۰۰ متر

ضمیمه ب- شکل‌ها



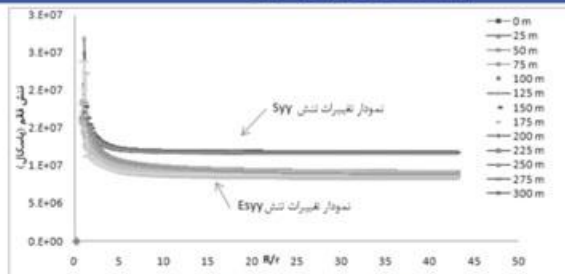
شکل ۱: روند تغییرات فشار آب در محیط با تغییر شرایط مرزی در نزدیکی دیواره تونل

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۰۳۲-۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

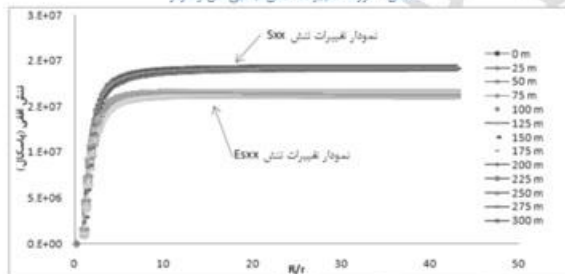


اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته

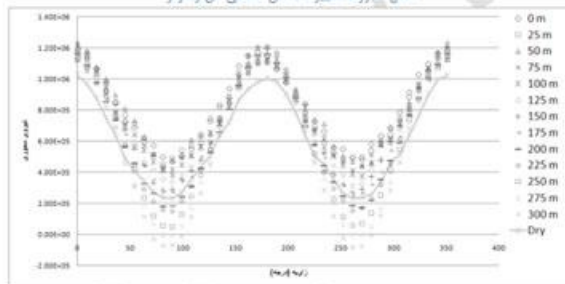
اسفند ۱۳۸۸



شکل ۲: روند تغییرات تنش جانبی کل و موثر



شکل ۳: روند تغییرات تنش شعاعی کل و موثر

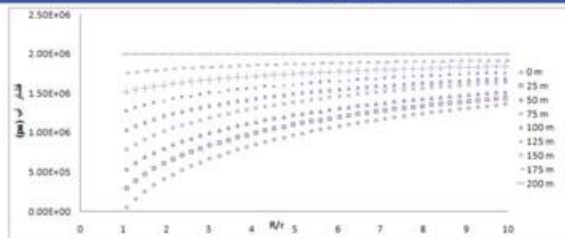


شکل ۴: نیرو محوری وارد بر سیستم نگهداری در شرایط هیدرولیکی متفاوت

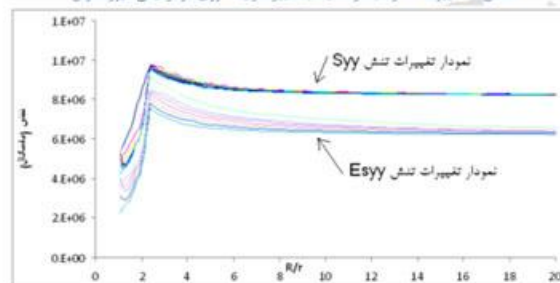


اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته

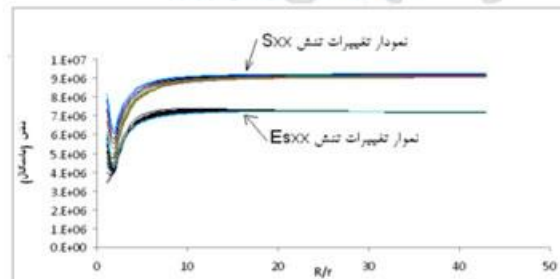
اسفند ۱۳۸۸



شکل ۵ تغییرات فشار آب در محیط با تغییر شرایط مرزی در نزدیکی دیواره تونل



شکل ۶ روند تغییرات تنش جانی کل و موثر



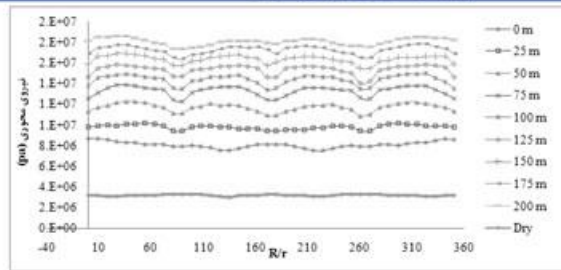
شکل ۷ روند تغییرات تنش شعاعی کل و موثر



اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته

اسفند ۱۳۸۸

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد طبس



شکل ۸- تیرو مجوری وارد بر سیستم نگهداری در شرایط هیدرولیکی متفاوت

دانشگاه آزاد اسلامی
اسفند ۱۳۸۸
واحد طبس
معدن و علوم وابسته

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۰۳۲-۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir