

ارائه‌ی مدل اندرکنش خاک و نگهدارنده‌ی اصلاح‌شده برای تحلیل لرزه‌ی میل‌مهارهای انبارهای هسته‌ی

محمد رضا عدل‌پور (استادیار)

دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه قم

حمیدرضا وثوقی‌فر (استادیار)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

در این نوشتار، براساس مدل اندرکنش خاک و نگهدارنده‌ی اصلاح‌شده، تحلیل لرزه‌ی میل‌مهارهای انبارهای هسته‌ی ارائه شده است. برای طراحی سیستم‌های میل‌مهار باید پیش‌بینی اندازه، جهت و نوع تنش‌های ناشی از تنش‌های دست‌نخورده و اثر آن‌ها در توده‌ی سنگ اطراف محل حفاری را برآورد کرد. از دیگر عوامل مؤثر بر طرح سیستمی مسلح‌ساز روی توده‌ی سنگ، مدت عمر پیش‌بینی شده برای آن است. برای ارزیابی ارتباط میل‌مهارگذاری، لازم است اندرکنش توده‌ی سنگ - میل‌مهار در نظر گرفته شود. قبل از در نظر گرفتن یک سیستم نگهدارنده‌ی زمین، مشخصات بار-تغییرشکل توده‌ی سنگ باید تعیین شود. در سازه‌های پیچیده از جمله انبارهای هسته‌ی که تحت تنش بالا هستند، سختی و زمان نصب سیستم مسلح‌کننده اهمیت ویژه‌ی دارد. در این حالت نوع و سختی پوشش باید با عکس‌العمل توده‌ی سنگ در هنگام باربرداری (منحنی اندرکنش زمین) سازگار شود. اگر میل‌مهار یا کابل‌های مهاری قبل از تغییرشکل خمیری توده‌ی سنگ نصب شوند، میل‌مهارهای انتخابی نمی‌توانند با تغییرشکل‌های به‌وجودآمده سازگار شوند. هر چند اگر میل‌مهارها پس از وقوع تغییرشکل‌های خمیری نصب شوند و میل‌مهارها نیز به اندازه‌ی کافی سخت نباشند، احتمالاً تغییرشکل‌های خمیری سنگ ادامه می‌یابند و در صورتی که این تنش‌ها خیلی زیاد باشند، در میل‌مهارها تأثیر می‌گذارند. مشکلات اشاره‌شده با اصلاح مدل اندرکنش توده‌ی سنگ و نگهدارنده مرتفع می‌شوند. در این پژوهش، اصلاح ذکرشده در زمان اجرای نگهدارنده اعمال شده است.

adlparvar@iust.ac.ir
HR.vosoughifar@Azad.Ac.ir

واژگان کلیدی: نگهدارنده، انبارهای هسته‌ی، منحنی اندرکنش، جابه‌جایی.

مقدمه

انبارهای پسماندهای هسته‌ی به‌منزله‌ی سازه‌های زیرزمینی مهم تلقی می‌شوند. هرگونه بروز مشکلات در آن‌ها باعث بروز خسارات جبران‌ناپذیر بر محیط‌زیست می‌شود. در طراحی انبارهای پسماندهای هسته‌ی برای پوشش نهایی در مناطق زلزله‌خیز باید تغییرشکل‌ها و تنش‌های اولیه با تنش‌های ایجادشده در اثر بارهای لرزه‌ی مدنظر قرار گیرند. دو روش برخورد در زمینه‌ی محاسبه‌ی بارها و تنش‌های لرزه‌ی پوشش‌ها ارائه شده است. در روش اول با طراحی دینامیکی غیرخطی عکس‌العمل خاک نگهدارنده و امواج زلزله از طریق روش‌های مبتنی بر المان محدود یا مرزهای محدود ارزیابی می‌شوند. این روش به کالیبراسیون نیاز دارد و بدون تفسیر جواب‌ها نمی‌توان به آن اتکا کرد. در دیدگاه دوم که در طراحی تونل‌ها

بیشتر کاربرد دارد، استفاده از روش استاتیکی معادل برای برآورد نیروهای زلزله رایج است. در قسمتی از این روش نیز از برخی روش‌های المان محدود استفاده می‌شود. پژوهش‌هایی نیز درباره‌ی: سایت انبارهای هسته‌ی و تأثیر بارهای لرزه‌ی بر روی آن،^[۱] ملاحظات ژئوتکنیکی در انبارهای پسماندهای هسته‌ی درجه‌ی بالا،^[۲] مسائل ژئوتکنیکی در حفاری‌ها برای انبارهای هسته‌ی،^[۳] تغییرات بر روی ساختار سنگ به علت اجرای انبارهای هسته‌ی نزدیک سطح زمین،^[۴] راهنمایی‌های لازم برای طراحی انبارهای هسته‌ی،^[۵] مسائل زیست‌محیطی و قواعد استقرار یک انباری پس‌مانده هسته‌ی و بررسی عوامل محیط‌زیستی در اثر وقوع زلزله و نشت مواد رادیواکتیو در کوه یا کالایالات متحده،^[۶] بررسی زباله‌های هسته‌ی برای ساخت انباری زباله‌های با تراز بالا در کوه یا کالایالات متحده،^[۷] طراحی انبارهای هسته‌ی در خاک‌های توفت و اثر بارهای لرزه‌ی و نیز ارائه‌ی راهکار برای طراحی سازه‌های زیرزمینی از

تاریخ: دریافت ۱۵/۱۰/۱۳۸۶، دوری ۲/۲۱/۱۳۸۷، پذیرش ۳۰/۷/۱۳۸۷.

جمله انبارهای پس‌مانده هسته‌یی،^[۸] روش تحلیلی برای طراحی سازه‌ی انبارهای هسته‌یی عمیق تحت تنش‌های برشی مرکز دور،^[۹] انجام شده است.

بار نگهدارنده‌ی انبارهای هسته‌یی

در اکثر موارد باری که میل‌مه‌ار تحمل می‌کند در مقایسه با باری که سنگ متحمل می‌شود ناچیز است. میل‌مه‌ارها، توده‌ی سنگ را قادر می‌سازند که خودایستایی داشته باشند. برای ارزیابی ارتباط میل‌مه‌ارگذاری، لازم است اندرکنش توده‌ی سنگ-میل‌مه‌ار در نظر گرفته شود. قبل از در نظر گرفتن یک سیستم نگهدارنده‌ی زمین، مشخصات بار-تغییرشکل توده‌ی سنگ باید تعیین شود. نیروی موجود در پوشش سازه‌های زیرزمینی می‌تواند بر اساس روش‌های بسیاری محاسبه شود. این روش‌ها به ۴ بخش تجربی، نیمه‌تجربی با روش حلقه-صفحه، نیمه‌تجربی با روش حلقه-فتر و روش عددی تقسیم می‌شوند. در سال ۱۹۸۴ پژوهشی در باره‌ی روش‌های طراحی پوش تونل‌ها ارائه شده و در آن نحوه‌ی در نظر گرفتن بارهای لرزه‌یی به‌منزله‌ی طراحی استاتیکی معادل مدنظر قرار گرفته است.^[۱۰] همچنین در پژوهش‌های دیگری طراحی تونل‌های واقع در خاک‌های سست نزدیک زمین به‌همراه نحوه‌ی طراحی پوشش آن‌ها،^[۱۱] روش طراحی و پایداری لرزه‌یی تونل‌ها با توجه به عملکرد پوشش‌ها،^[۱۲] روشی مبتنی بر انجام مطالعه‌های موردی متعدد برای محاسبه‌ی بار موجود در پوشش‌ها بر اساس مطالعه‌های آزمایشگاهی،^[۱۳] ساده‌سازی طراحی پوشش تونل‌ها در غالب طراحی از طریق جداول،^[۱۴] ارائه شده است. همچنین پژوهشگران مختلف نحوه‌ی عملکرد پوشش‌ها را هنگام بروز زلزله حائز اهمیت ارزیابی کرده‌اند. برای کامل شدن روش‌های حل لازم است مبنای این روش‌ها از طریق روش‌های تحلیلی گسترش یابد. و نیز در مورد تأثیر بارهای لرزه‌یی در سازه‌های زیرزمینی از طریق روش‌های تحلیلی،^[۱۵] وجود شیار در پوشش تونل‌ها،^[۱۶] و طراحی لرزه‌یی سازه‌های زیرزمینی دارای پوشش،^[۱۷] تحلیل‌هایی ارائه شده است. در سال ۲۰۰۱ نیز، تفرق سه‌بعدی بر روی یک حفزه‌ی استوانه‌یی و تأثیر آن در نگهدارنده‌های سازه‌های زیرزمینی بررسی شد و این نتیجه به‌دست آمد که اثر تفرق در تونل باعث افزایش منطقه‌ی خمیری می‌شود. لذا برای تلفیق عملی روش‌های تحلیلی با روش‌های عددی، روش حل بسته ارائه شد.^[۱۸]

شاران از این روش برای بررسی نحوه‌ی تمرکز تنش در اطراف تونل دایره‌یی استفاده کرد. در این روش از ناحیه‌ی کشسان خمیری صرف‌نظر و محاسبات با این فرض و برای مدل رفتار دربرگیرنده‌ی ناحیه‌ی کشسانی و خمیری با مدل انتخابی مدل هوک برآون انجام شده است. این روش نیز اخیراً برای تحلیل اثر توده‌ی سنگ و نقش پوشش در اطراف سازه‌ی زیرزمینی مدنظر قرار گرفته است.^[۱۹] همچنین مطالعاتی بر روی ناحیه‌ی خمیری ترک‌خورده در خاک‌برداری‌های دایروی توخالی بر اساس مصالح با خواص تنش نرم‌شونده و تأثیر نگهدارنده‌ها در آن انجام شده است.^[۲۰]

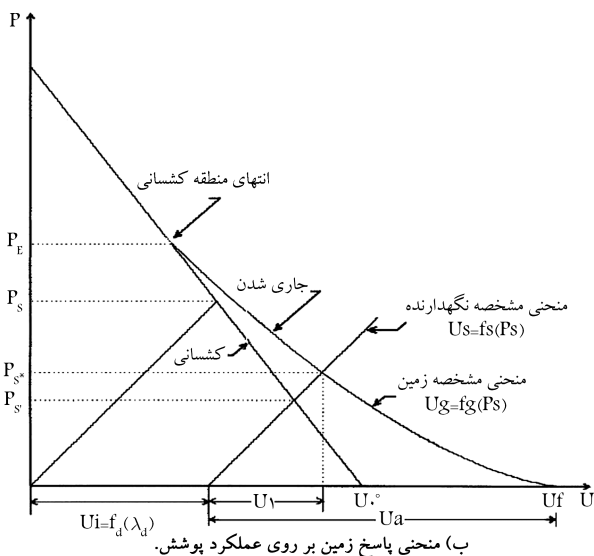
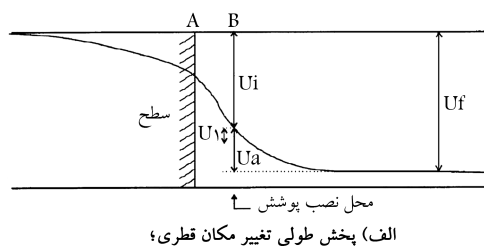
روش تخمین زمان اجرای نگهدارنده

در سازه‌های سنگی پیچیده و تحت تنش بالا، سختی و زمان نصب سیستم مسلح‌کننده اهمیت ویژه‌یی دارد. در این حالت نوع و سختی پوشش باید با عکس‌العمل توده‌ی سنگ در هنگام باربرداری (منحنی اندرکنش زمین) سازگار شود. پژوهشگران در بررسی‌هایی به این نتیجه دست یافتند که اگر میل‌مه‌ار یا کابل‌های مه‌اری قبل از تغییرشکل خمیری توده‌ی سنگ نصب شوند، میل‌مه‌ارهای انتخابی نمی‌توانند

با تغییرشکل‌های به‌وجودآمده سازگار شوند. هرچند اگر میل‌مه‌ارها پس از وقوع تغییرشکل‌های خمیری نصب شوند و میل‌مه‌ارها نیز به اندازه‌ی کافی سخت نباشند، تغییرشکل‌های خمیری سنگ ممکن است ادامه یابند و در صورتی‌که این تنش‌ها خیلی زیاد باشند در میل‌مه‌ارها تأثیر می‌گذارند. از این رو تنش‌ها و تغییرمکان‌ها در سنگ اطراف انبارهای هسته‌یی نه فقط به خواص توده‌ی سنگ و تنش‌های در محل، بلکه به نوع و سختی نگهدارنده و زمان اجرای آن بستگی دارند. آثار متقابل این پارامترهای مختلف با منحنی‌های مشخصه‌ی زمین و عکس‌العمل حائل در منحنی‌های اندرکنش نمایش داده می‌شود. هنگامی‌که سنگ موجود در محل تونل حفاری می‌شود، تغییرمکان‌ها در سنگ اطراف تونل حادث می‌شود و این عمل باعث توزیع تنش می‌شود.^[۲۱] در سال ۱۹۸۰، در مورد تأخیر اجرای پوشش و تأثیر آن در منحنی اندرکنش تحقیقاتی انجام شده و مدل حل بسته مبنای عمل قرار گرفته است. در این تحقیق با معرفی ضریب تأخیر اجرای پوشش λ_d و ضریب جاری شدن λ_y محاسبات انجام شده است. ضریب تأخیر نگهدارنده مطابق رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود.^[۲۲]

$$\frac{P'_S}{P_S} = \frac{U'_o - U_i}{U'_o} = \lambda_d \quad (۱)$$

همان‌طورکه شکل ۱ نشان می‌دهد، P'_S بیانگر میزان کاهش نیروی نگهدارنده به‌واسطه‌ی تأخیر در اجرای نگهدارنده، U_i میزان تغییرمکان زمین قبل از نصب نگهدارنده و U'_o بیشینه‌ی تغییرمکان زمین در صورت نصب نکردن نگهدارنده و U'_o تغییرمکان نهایی کشسانی برای یک انبار هسته‌یی بدون پوشش است. اگر پوشش در نقطه‌ی B از دیدگاه زمانی نصب شود، پوشش فقط به اندازه‌ی U_a مقاومت



شکل ۱. منحنی پاسخ زمین و اندرکنش آن با نگهدارنده.

مناسب برای توده‌ی سنگ، به صورت یک مسئله‌ی مبهم باقی مانده است. هوک و براون روی این مسئله کار کرده‌اند و معیار مقاومت بیشینه برای توده‌ی سنگ را به صورت رابطه‌ی ۴ ارائه کرده‌اند: [۲۴]

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2)^{1/5} \quad (4)$$

که در آن، σ_1 بیشینه‌ی تنش اصلی در گسیختگی؛ σ_3 کمینه‌ی تنش اصلی در گسیختگی؛ σ_c مقاومت فشاری تک محوری سنگ دست نخورده هستند. m و s ثابت‌هایی هستند که به طبقه‌بندی سنگ و شرایط شکستگی قبل از قرارگرفتن در معرض تنش‌های σ_1 و σ_3 بستگی دارند. این پارامترها با توجه به نوع توده‌ی سنگ طبق اندازه‌گیری‌های بارتون، لین اندازه‌گیری می‌شوند و با تغییر فاکتورهای Q یا RMR تغییر می‌کند. رابطه‌ی ۴ برای تعیین مقاومت اولیه‌ی توده‌ی سنگ استفاده می‌شود. در سنگ شکسته یا در محدوده‌ی خمیری پارامترهای m و s به مقادیر s_r و m_r کاهش می‌یابند. در این حالت مقاومت ماندگار توده‌ی سنگ شکسته به صورت رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود که برای حل آن باید از یک روند پله‌ی استفاده شود:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_r\sigma_c\sigma_3 + s_r\sigma_c^2)^{1/5} \quad (5)$$

در هر دو حالت فرض می‌شود که سنگ دارای رفتار کشسانی خطی با مدول کشسانی E و ضریب پواسون ν است تا به مقاومت اولیه‌ی مقدار σ_3 برسد.

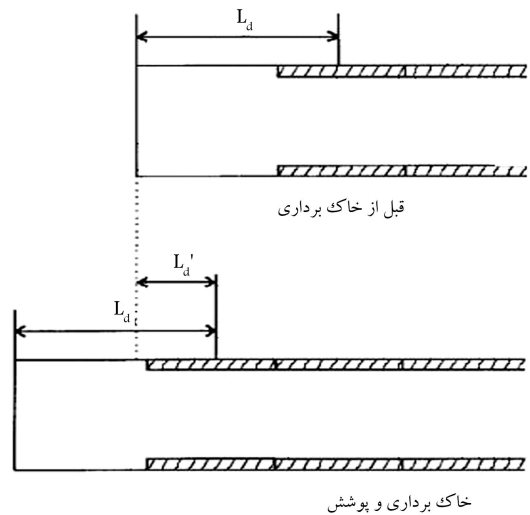
روش حل بسته

در برخی پژوهش‌ها از روش حل بسته برای بررسی و شرایط هندسه‌ی ساده‌ی انبارهای هسته‌یی و فشار هیدرواستاتیکی استفاده شده است. در تمامی روش‌های ارائه‌شده لازم است فرضیات مهمی در مورد رفتار تنش-کرنش و معیار مقاومت و شکست برای توده‌ی سنگ ارائه کرد. اغلب مدل‌های رفتاری استفاده‌شده در گذشته ساده است و جواب‌های درستی را ارائه نمی‌کنند. امروزه با گسترش علم مهندسی در شناخت رفتار توده‌ی سنگ و پیشرفت روش‌های محاسبه در مهندسی ژئوتکنیک، این امکان وجود دارد که در حل پیچیدگی‌های بیشتری در مدل‌های واقعی‌تر از رفتار توده‌ی سنگ در نظر گرفته شود. برای محاسبه‌ی کرنش در جدار این انبارها به علت آنکه مقدار کرنش بسیار کوچک در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین هیچگونه تفاوتی بین مقادیر شعاع اولیه و شعاع محاسباتی در هر مرحله وجود ندارد. شکل ۳ نمودار گردشی حل بسته‌ی اصلاح شده برای ارزیابی نمودار اندرکنش زمین و نگهدارنده را نشان می‌دهد. نحوه‌ی لحاظ تأخیر در اجرای نگهدارنده در این شکل نشان داده شده است. با اصلاح روش حل بسته و واردکردن نحوه‌ی زمان‌بندی اجرای نگهدارنده، این روش به منزله‌ی روشی قدرتمند در بررسی عملکرد توأم انبارهای هسته‌یی و نگهدارنده مطرح می‌شود. [۲۵]

مطالعه‌ی موردی

مطالعه‌ی موردی برای ارزیابی نحوه‌ی عملکرد پوشش‌های انبارهای هسته‌یی به روش حل بسته و نیز تأثیر تأخیر در اجرای پوشش‌ها در نظر گرفته شده است. مشخصات محیط مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به مراحل حل روش بسته و نیز روش ارائه‌شده برای در نظرگرفتن زمان تأخیر اجرای پوشش که مراحل آن در شکل ۳ نشان داده شده است، محاسبات در محیط



شکل ۲. رابطه L_d و L_d' .

می‌کند. طول تأخیر پوشش L_d به صورت فاصله‌ی بین سطح تونل و وسط پوشش است. شکل ۱ اندازه‌ی مذکور، (شکل الف) پخش طولی تغییرمکان قطری که در سطح انبارهای هسته‌یی در نقطه‌ی A مسلح شده است و (شکل ب) نیز منحنی پاسخ زمین بر روی عملکرد پوشش را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر نیز رابطه‌ی مابین λ_d و طول تأخیر نرمال محاسبه‌شده از طریق انجام تحلیل المان محدود مطابق رابطه‌ی ۲ ارائه شده است. [۱۴]

$$\lambda_d = 0.98 - 0.75 \left(\frac{L_d}{R} \right) \quad (2)$$

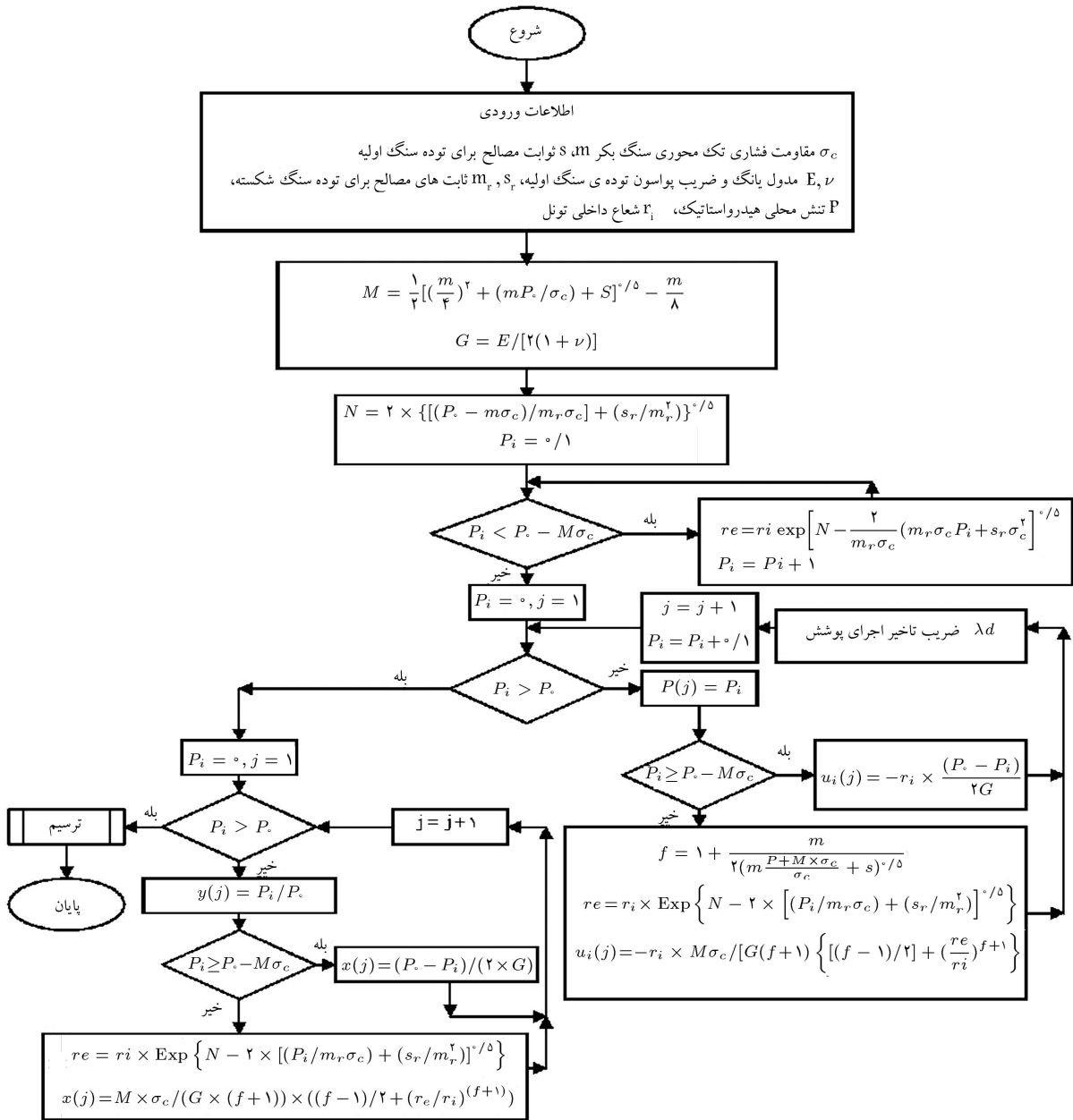
در رابطه‌ی ۲، R شعاع انبار هسته‌یی است. رابطه‌ی ۲ برای حالتی که نسبت L_d/R کوچک‌تر از ۰.۱۵ و بزرگ‌تر از ۱.۷۵ باشد، صادق نیست. در سال ۱۹۸۲ با تعریف ضریب L_d' که بیانگر فاصله‌ی سطح قبلی قبل از خاک برداری و مرکز مخفی قطعات پوشش است با انجام محاسبات متعدد المان محدود، رابطه‌ی ۳ ارائه شد. رابطه‌ی مابین L_d و L_d' در شکل ۲ نشان داده شده است. [۲۲]

$$\lambda_d = 0.70 - 0.56 \left(\frac{L_d'}{R} \right) \quad (3)$$

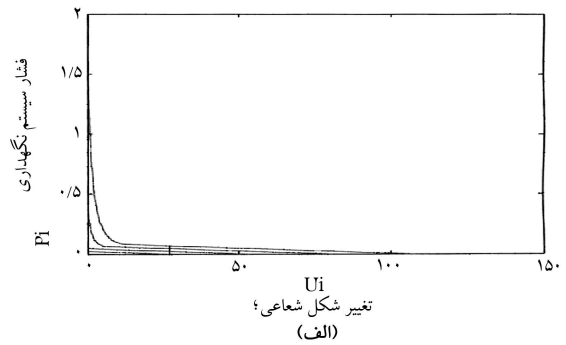
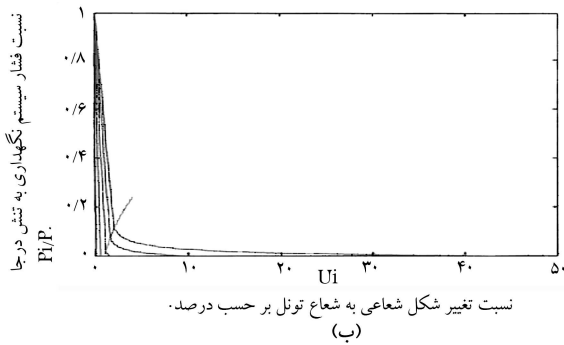
در سال ۲۰۰۶ نیز روشی برای تخمین بار سازه‌های زیرزمینی بر اساس ضرایب اصلاح ارائه شده است. در این پژوهش با بررسی روش‌های ارائه‌شده برای در نظرگرفتن تأخیر ایجادشده در اجرای پوشش، نشان داده شد که روش‌های پیشنهادی برای سازه‌های زیرزمینی با طول تأخیر کم صادق است و L_d'/R کمتر از ۱ است. به‌رحال این روش برای سازه‌های زیرزمینی با طول تأخیر زیاد صادق نیست. برای حالتی که برای احداث این سازه‌ها از دستگاه TBM استفاده شود، به‌علت وجود حفره مابین این دستگاه و توده‌ی خاک محاسبه‌ی U_o و λ_d بسیار مشکل است. [۲۳]

مدل رفتار توده‌ی سنگ

در اغلب روش‌های ارائه‌شده، معیار مقاومت، معیار خطی موهر کلمب است. در صورتی که اطلاعات آزمایشگاهی نشان می‌دهند که معیار مقاومت برای توده‌ی سنگ غیرخطی است. در سال ۲۰۰۴، روش کشسان‌خمیری برای عمومی کردن معیار شکست هوک - براون ارائه شده است. [۲۴] به‌رحال بهره‌گیری از یک معیار مقاومت



شکل ۳. روش حل بسته‌ی اصلاح شده برای ترسیم نمودار اندرکنش خاک - نگهدارنده.



شکل ۴. منحنی پاسخ زمین با در نظر گرفتن اثر تاخیر در اجرای نگهدارنده.

جدول ۱. مشخصات ناحیه‌ی مورد مطالعه.

r_i (m)	E (MPa)	ν	s_r	m_r	s	m	σ_c (MPa)
۴	۴۰۰۰۰	۰٫۲	۰٫۰۰۱	۰٫۳	۰٫۱	۷٫۵	۳۰۰

برنامه‌ی Matlab انجام شده است. شکل ۴ منحنی پاسخ زمین محاسبه شده برای انبار هسته‌یی با مشخصات ذکر شده برای مقادیر ۲۷، ۵۴، ۸۱ و ۱۰۸ مگاپاسکال از P_0 را نشان می‌دهد. شکل ۴ الف تغییر شکل شعاعی این انبار را بر حسب درصد بیان می‌کند. شکل ۴ ب تغییر شکل را بر مبنای فشار سیستم نگهدارنده به فشار درجا نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

- برای انجام تحلیل مناسب نگهدارنده‌های انبارهای هسته‌یی باید به اندرکنش خاک و نگهدارنده و زمان اجرای نگهدارنده دقت لازم مبذول شود؛

- اگر میل‌مهار یا کابل‌های مهاری قبل از تغییر شکل خمیری توده‌ی سنگ نصب شوند، میل‌مهاری انتخابی نمی‌توانند با تغییر شکل‌های به‌وجود آمده سازگار شوند؛
- اگر میل‌مهاری پس از وقوع تغییر شکل‌های خمیری نصب شوند و میل‌مهاری نیز به اندازه‌ی کافی سخت نباشند، تغییر شکل‌های خمیری سنگ ممکن است ادامه یابند و در صورتی‌که این تنش‌ها خیلی زیاد باشند بر میل‌مهاری تأثیر می‌گذارند؛
- در روش حل بسته تأخیر اجرای نگهدارنده منظور نشده است و این امر دقت را کاهش می‌دهد. در این نوشتار در الگوریتم روش حل بسته، تأخیر اجرای نگهدارنده در نظر گرفته شده است؛
- با اجرای زمان‌بندی مناسب نگهدارنده‌ها می‌توان تنش‌ها را تا حدود قابل‌توجهی کاهش داد. با ارائه‌ی الگوی مناسب زمانی، می‌توان رابطه‌ی منطقی مابین تغییر شکل و نیرو در نگهدارنده‌ها ارائه کرد؛
- روش پیشنهادی برای اصلاح روش حل بسته در سازه‌های زیرزمینی هنگامی صادق است که رابطه‌ی $(L_d/R) < 1$ و طول تأخیر کم برقرار باشد. به‌هرحال این روش برای سازه‌های زیرزمینی با طول تأخیر زیاد صادق نیست.

پانویس

1. Yucca

منابع

7. Mon, K.G.; Bullard, B.E.; Mehta, S. and Lee, J.H. "Waste package performance evaluations for the proposed high-level nuclear waste repository at Yucca Mountain", Framatome ANP, *Waste Package Degradation*, Las Vegas, NV 89144, USA (1990).
8. Hardy, M.P.; Brechtel, C.E.; Goodrich, R.R.; Bauer, S.J. and Rock Mechanics "Preliminary drift design analyses for nuclear waste repository in tuff", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*, **28**, Issue 4, P. A261 (1991).
9. Huo, H.; Bobet, A.; Fernandez, G. and Ramirez, J. "Analytical solution for deep rectangular structures subjected to far-field shear stresses", *Tunneling and Underground Space Technology*, **21**, pp. 613-625 (2006).
10. O'Rourke, T.D. "Guidelines for tunnel lining design", *American Society of Civil Engineers*, p. 82 (1984).
11. Negro Jr.A. "Design of shallow tunnels in soft ground", Ph.D. thesis, *Department of Civil Engineering, University of Alberta*, Edmonton, Canada, p. 1480 (1988).
12. Whittaker, B.N. and Frith, R.C. "Tunnelling design, stability and construction", *The Institution of Mining and Metallurgy*, London, p. 460 (1990).
13. Kim, H.J. and Eisenstein, Z. "Prediction of lining loads from case histories", *World Tunnel Congress '98*, Sao Paulo, Brazil, pp. 299-304 (1998).
14. Einstein, H.H. and Schwartz, C. "Discussion on simplified analysis for tunnel supports", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE GT7, pp. 835-838 (1980).
15. Penzien, J. and Wu, C.L. "Stresses in linings of bored tunnels", *Earthquake Engineering and Structure Dynamics*, **27**, pp. 283-300 (1998).
1. Solomon, Barry D. and Cameron, Diane M. "Nuclear waste repository siting: An alternative approach", *Energy Policy*, **13**, Issue 6, pp. 564-580 (December 1985).
2. Kendorski, F.S. "Geologic high level nuclear waste repository considered as an underground facility design problem", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*, **23**, Issue 3, p. 123 (1986).
3. Bohlke, B.M. and Monsees, J. "Geomechanics underground excavation radioactive waste disposal", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*, **25**, Issue 6, p. 318 (December 1988).
4. Andersson, J.; Robinson, P. and Impey, M. "Implications of rock structure on the performance in the near field of a nuclear waste repository", *Engineering Geology*, **49**, Issues 3-4, 2, pp.195-200, Computational methods in engineering geology (1998).
5. Schmidt, B. "Learning from nuclear waste repository-design: the ground control plan", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*, **26**, Issues 3-4, pp. A163-A164 (July 1989).
6. Malone, Charles R. "Environmental review and regulation for siting a nuclear waste repository at Yucca mountain", Nevada, *Environmental Impact Assessment Review*, **9**, Issue 2, pp. 77-95 (1989).

16. Penzien, J. "Seismically induced raking of tunnel linings", *Earthquake Engineering and Structure Dynamics*, **29**, pp. 683–691 (2000).
17. Hashash, Y.M.A.; Hook, J.J.; Schmidt, B. and Yao, J.I., "Seismic design and analysis of underground structures", *Tunneling and Underground Space Technology*, **16**, pp. 247–293 (2001).
18. Antonio, J. and Antonio, T. "3D scattering by multiple cylindrical cavities buried in an elastic formation", *Eur. J. Mech. A/Solids*, **20**, pp. 367–383 (2001).
19. Sharan, S.K. "Elastic-brittle-plastic analysis of circular openings in Hoek-Brown media", *Int J Rock Mech Min Sci*, **40**, pp. 817–824 (2003).
20. Varas, F.; Alonso, E.; Alejano, L.R. and Fdez.-Man'n, G. "Study of bifurcation in the problem of unloading a circular excavation in a strain-softening material", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **20**, pp. 311–322 (2005).
21. Fakhimi, A.; Salehi, D. and Mojtabai, N. "Numerical back analysis for estimation of soil parameters in the re-salat tunnel project", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **19**, pp.57–67 (2004).
22. Hutchinson, D.E. "Effects of construction procedure on shaft and tunnel performance", MSc. thesis, *Department of Civil Engineering, University of Alberta*, Edmonton, Canada, p. 267 (1982).
23. Kim, H.J. and Eisenstein, Z. "Prediction of tunnel lining loads using correction factors", *Engineering Geology*, **85**, PP. 302–312 (2006).
24. Carranza-Torres, C. "Elasto-plastic solution of tunnel problems using the generalized form of the Hoek-Brown failure criterion", In: Hudson JA, Xia-Ting F, editors. *Proceeding of the ISRM SINOROCK 2004 symposium, China, Int. J Rock Mech Min Sci*, **41**(3), pp. 480–481 (2004).
25. Exadaktylos, G.E. and Stavropoulou, M.C. "A closed-form elastic solution for stresses and displacements around tunnels", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, **39**, PP. 905–916 (2002).