

بررسی رابطه‌ی ظرفیت باربری و نشست پی تونل نیایش تهران

امین متوکل خسروشاهی*، ابراهیم اصغری کلجاهی، محمد رضا مشرفی فر

1- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه یزد

2- دکترای زمین شناسی مهندسی دانشگاه تبریز

3- دکترای تکنیک دانشگاه یزد

Amin.m.khosroshahi@chmail.ir

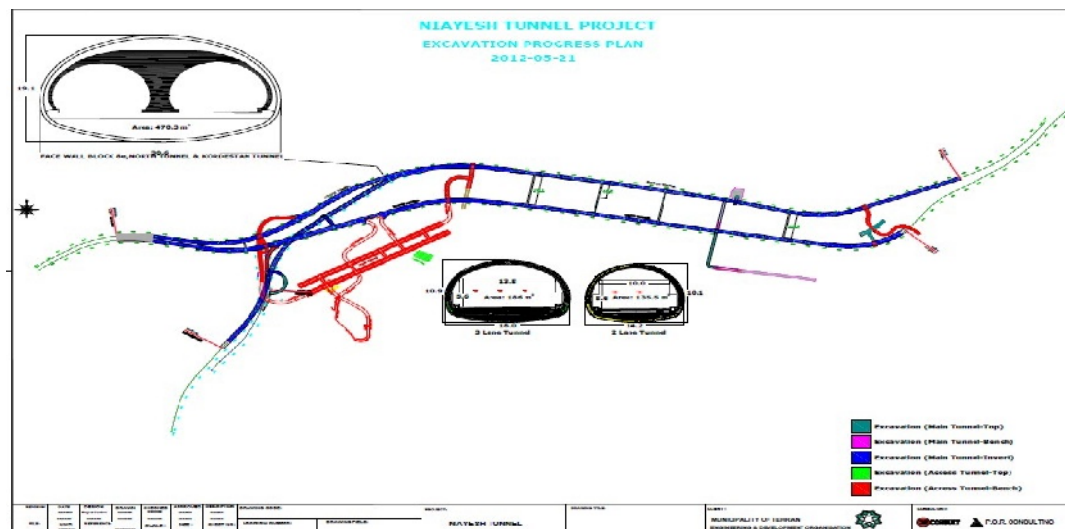
چکیده:

پروژه‌ی عظیم صدر- نیایش یکی از به روزترین و پیچیده‌ترین پروژه‌های حال حاضر کشورمان را به خود اختصاص داده است. پروژه‌ای که از تونل نیایش آغاز و با اتوبان طبقاتی صدر، ادامه می‌یابد. اما در این میان، تونل دو قلوئی نیایش، با طولی حدوداً 10 کیلومتری، که با احداث و راه اندازیش، حجم عظیمی از ترافیک شمال شرق تهران را پوشش خواهد داد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. این تونل، با عمق متوسط 20 متر و بیشینه‌ی بازشدگی 30 متری، از دو تونل مدور شمالی و جنوبی تشکیل شده که در ساخت و تجهیز آن، از دو نوع پی نواری یا منفرد و پی گسترده، برای انتقال بار ناشی از تونل و ترافیک درونیش، به ساختگاه، استفاده شده است (متوکل خسروشاهی ا. و همکاران 1391). چرا که قطر تونل، از حدوداً 14 متر تا 32 متر در تغییر بوده و بنا به شرایط و بار وارده، اقدام به استفاده از انواع مختلف پی‌ها شده است. ما در این مقاله برآنیم تا با محاسبه میزان باربری نهایی پی‌های نواری و گسترده، و نیز میزان نشست پی‌ها در هر دو حالت فوق، اقدام به بررسی و تحلیل رابطه‌ی کلی بین این دو پارامتر اساسی تونل، نمایم.

کلمات کلیدی: روش اثریسی، پی گسترده، پی منفرد، ظرفیت باربری مجاز، نشست مجاز پی

1 - مقدمه:

بطور کلی پی یا شالوده، یکی از اجزای اساسی و مهم هر سازه عمرانی، از جمله تونل‌ها، بوده که سهم بسزایی را در پایداری و دوام و ایمنی آن به خود اختصاص می‌دهد. پی‌ها در حقیقت سازه‌هایی اکثراً بتنی- فلزی می‌باشند که جهت انتقال بار سازه بر روی ساختگاه و ایجاد تعادل در سازه در برابر عکس العمل‌های خواستگاه، احداث می‌گردند.



شکل 1- نمایی از طرح کلی تونل نیایش تهران

پی‌ها از نکته نظر طرح، عمق استقرار و نوع کاربردی که دارند به انواع مختلف تقسیم بندی می‌شوند اما جدای از این تقسیم بندی‌ها، یک پی زمانی دارای عملکرد صحیح خواهد بود که حداقل 2 شرط زیر را در رابطه با محیط اطراف خویش برآورده سازد:

1- گسیختگی برشی در خاک زیر آن رخ ندهد. به عبارت دیگر میزان بار وارد بر خاک توسط پی و سازه کمتر از ظرفیت باربری نهایی خاک باشد.

2- نشست‌های بیش از حد مجاز در زیر شالوده بوقوع نپیوندد. چراکه هرگونه تغییر کوچک در شرایط تعادلی خاک و محیط ساختگاه، می‌تواند نتایج جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد (براجا ام داس، 1370).

در اینجا قبل از بررسی و تحلیل رابطه میان ظرفیت باربری و میزان نشست تونل نیایش، اقدام به مرور مختصری بر پارامترهای ظرفیت باربری و میزان نشست یک پی می‌نماییم:

2 - ظرفیت باربری مجاز پی

ظرفیت باربری مجاز پی، عبارت است از میزان باری که یک پی، قبل از ایجاد گسیختگی در خاک، می‌تواند بر خاک اعمال نماید. ظرفیت باربری مجاز پی، در عمل از تقسیم ظرفیت باربری نهایی یا حداکثری بر ضریب اطمینان بدست می‌آید که در آن، ظرفیت باربری نهایی یا حداکثری، عبارت است از میزان بار وارده از پی به خاک، که باعث بروز گسیختگی‌هایی تا سطح زمین گردد (براجا ام داس، 1370).

در پروژه‌ی نیایش، ظرفیت باربری مجاز پی‌های سطحی با در نظر گرفتن مقاومت برشی خاک محاسبه شده و پس از لحاظ کردن مقدار نشست مجاز، بدست آمده است.

2-1 تعیین ظرفیت باربری مجاز پی بر اساس مقاومت برشی خاک

هنگامی که بر خاک‌ها نیروی برشی اعمال گردد، خاک تغییر شکل داده و با ازدیاد نیروی برشی، تغییر شکل نیز افزوده شده و در نهایت سبب گسیختگی خاک می‌شود.

روابط مختلفی برای برآورد مقاومت نهایی زمین (q_{ult}) ارائه شده که از آن جمله می‌توان به روش تعیین ظرفیت باربری ترزاقی، مایرهوف، و سیک، هسن و غیره اشاره کرد که از این میان در این مقاله از روش معتبر مایرهوف، برای برآورد میزان باربری نهایی و مجاز استفاده شده است. رابطه مایرهوف برای محاسبه ظرفیت باربری حداکثر خاک (q_{ult}) به صورت زیر است (براجا ام داس، 1370):

$$q_{ult} = c.N_c.Sc.dc + q.N_q.Sq.dq + 0.5 B.N.S.d \quad (1)$$

در این رابطه، c چسبندگی خاک، q شدت بار یا تنش در تراز پی و B ، عرض پی است. همچنین N_c ، N_q و N ضرایب بدون بعد ظرفیت باربری هستند که تابعی از زاویه اصطکاک خاک می‌باشند. همچنین Sc ، Sq و S ضرایب شکل هستند که به صورت زیر تعیین می‌شوند:

$$S_c = 1 + 0.2 k_p \frac{B}{L} \quad (2)$$

$$k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

$$S_q = 1 + 0.1 k_p \frac{B}{L} \quad (4)$$

$$S_\gamma = 1 + 0.1 k_p \frac{B}{L} \quad (5)$$

dc، dq و d ضرایب عمق هستند که به شرح زیر تعیین می‌شوند:

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{k_p} \frac{D}{B} \quad (6)$$

$$d_q = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \frac{D}{B} \quad (7)$$

$$d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{k_p} \frac{D}{B} \quad (8)$$

در ضرایب فوق:

D: عمق موثر پی (فاصله کف پی تا تراز خاک پایدار روی آن). B: عرض پی. L: طول پی، می باشد. در صورتی که مقدار تنش موجود در تراز پی (q) از مقدار مقاومت نهایی بدست آمده کم شود، مقدار مقاومت نهایی خالص پی، $q_{ult(net)}$ حاصل می‌شود:

$$Q_{ult(net)} = Q_{ult} \quad (9)$$

در همین راستا، ظرفیت باربری مجاز پی $q_{allow(net)}$ ، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان (Fs) برابر 3، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$q_{allow(net)} = \frac{q_{ult(net)}}{F_s} \quad (10)$$

3 - برآورد میزان نشست پی

نشست کل پی برابر با مجموع نشست های آنی و تحکیمی است. نشست آنی قائم زیر یک پی، که فشار یکنواختی را تحمل می‌کند و بر روی یک لایه همگن و ایزوتروپ نیمه بی‌نهایت و با رفتار خطی قرار دارد، از رابطه زیر بدست می‌آید:

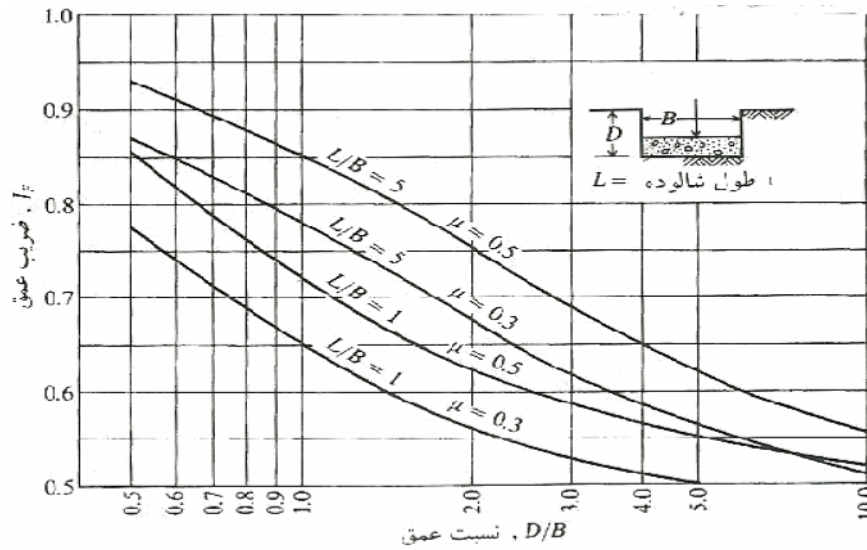
$$\Delta H = q_0 B \frac{1-\mu^2}{E} \left(F_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} F_2 \right) I_F \quad (11)$$

در اینجا q_0 برابر با فشار تماس، E مدول الاستیسیته و μ ضریب پواسون و I_F نیز ضریب تاثیر است که از نمودار (1) بدست می‌آید. سایر ضرایب از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[M \operatorname{Ln} \frac{\left(1 + \sqrt{M^2 + 1} \right) \sqrt{M^2 + N^2}}{M \left(1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1} \right)} + \operatorname{Ln} \frac{\left(M + \sqrt{M^2 + 1} \right) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right] \quad (12)$$

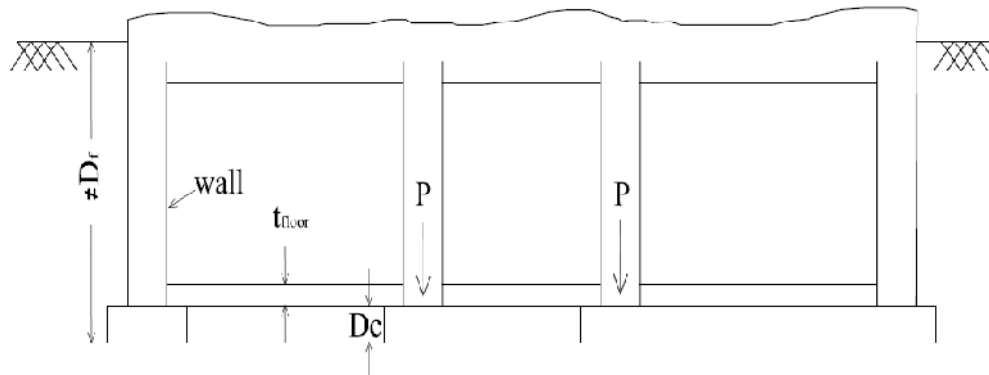
$$F_2 = \frac{M}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{M}{N \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right) \quad \left(\tan^{-1} \text{ in rads } \right)$$

$$M = \frac{L'}{B'}, N = \frac{H}{B'}, B' = \frac{B}{2} \text{ for center } F_i; = B \text{ for corner } F_i \cdot L' = \frac{L}{2} \text{ for center; } = L \text{ for corner } F_i$$



نمودار 1- ضریب تاثیر (I_F) برای شالوده به عمق D و ابعاد $B \times L$ (Bowles, 1999)

انتخاب عمق مدفون فونداسیون در پی‌های منفرد حائز اهمیت می‌باشد و در روابط ظرفیت باربری، مقدار فشار خالص بستگی به عمق خاک بالای پی دارد. در شکل (2) مقدار عمق مدفون برای پی‌های منفرد و نواری نشان داده شده است. در این شکل، مقدار عمق مدفون برابر با D_c به اضافه ضخامت D (t_{floor}) می‌باشد که مقدار ضخامت D ، معمولاً قابل صرف نظر کردن است (پژوهش عمران راهوار، 1389).

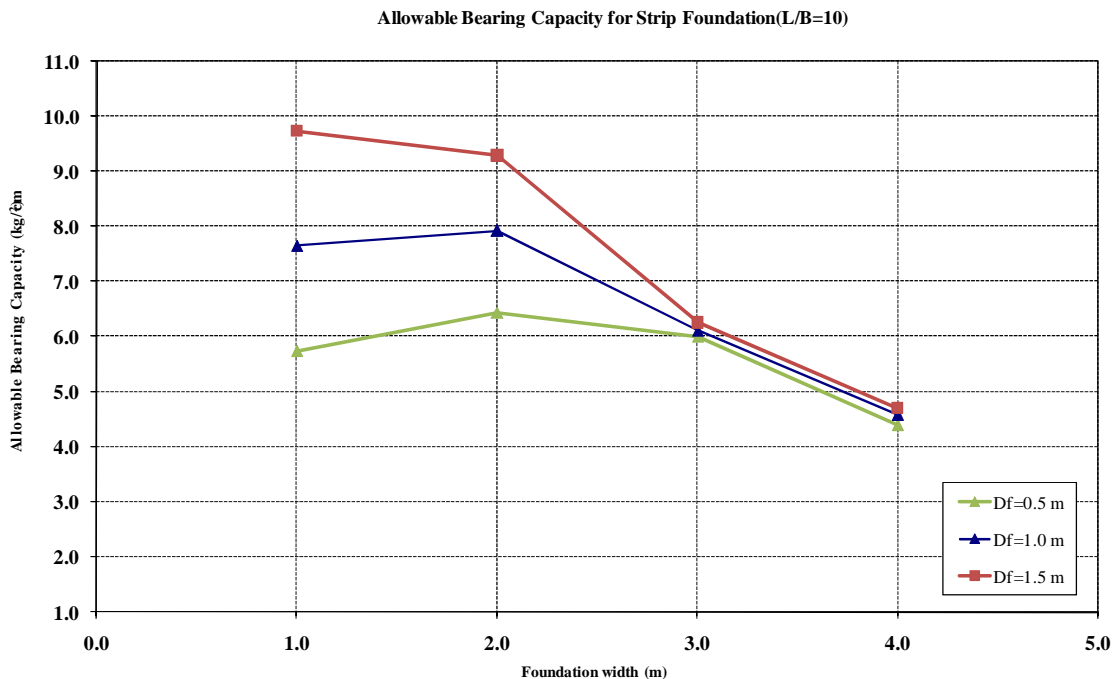


شکل 2- عمق مدفون در محاسبات ظرفیت باربری پی منفرد و نواری برابر است با D_c به اضافه وزن دال (t_{floor})

4 - ظرفیت باربری مجاز پی‌های منفرد سطحی

در این قسمت با توجه به شرایط زیرسطحی لایه‌های خاک، محاسبات ظرفیت باربری انجام و در نهایت نمودارهای ظرفیت باربری برای محل مورد مطالعه ارائه شده‌اند.

با توجه به روابط تعیین ظرفیت باربری و ملاحظات نشست ارائه شده، میزان ظرفیت باربری مجاز پی برای اعماق مدفون مختلف محاسبه شده و برای شالوده نواری، در شکل (3) ارائه شده است. مقادیر نشست مجاز پی 2/54 سانتی متر در نظر گرفته شده است (پژوهش عمران راهوار، 1389).

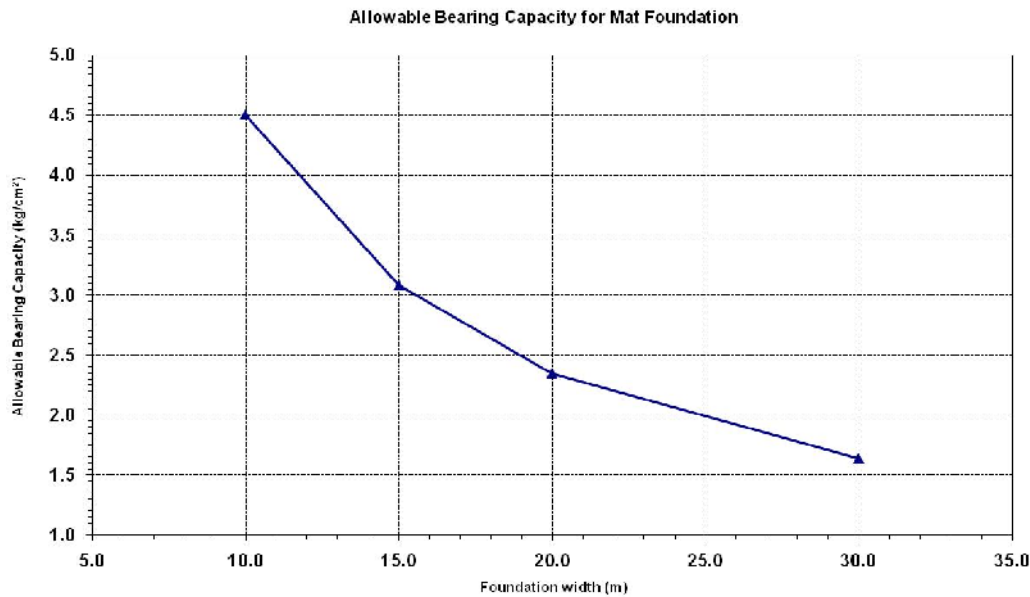


شکل 3 - ظرفیت باربری مجاز پی های نواری به ازای مقادیر مختلف عمق مدفون با نشست مجاز 2/54 سانتیمتر

5- تعیین ظرفیت باربری پی گسترده

پی گسترده (Mat or Raft) نوعی پی کم عمق یا سطحی است که در مواقعی که ظرفیت باربری مجاز پی های منفرد کافی نباشد، استفاده می شود. پی گسترده کل سطح زیر بنا را پوشانده و ستون ها و دیوارها بر روی آن قرار می گیرند. محاسبه ظرفیت باربری پی های گسترده مشابه محاسبه سایر پی های سطحی است. در پی های گسترده معمولاً کنترل نشست تعیین کننده بوده و از نظر گسیختگی خاک زیر پی مشکلی ندارند. توده خاک زیر پی گسترده به طور یکنواخت تری تحت افزایش تنش قرار می گیرد، در نتیجه انتظار نشست های نسبی کمتری وجود دارد. در پی های گسترده، نشست نسبی حدود 40٪ نشست کل در نظر گرفته می شود.

محاسبه ظرفیت باربری خاک برای پی های گسترده، مشابه ظرفیت باربری برای پی های سطحی می باشد با این تفاوت که ضریب کاهش باربری با افزایش ابعاد پی، به آن اضافه می شود. ظرفیت باربری پی گسترده برای بحرانی ترین بخش در حالت های مختلف با محدود سازی نشست به 5/08 سانتی متر محاسبه شده و در شکل (4) ارائه شده است (پژوهش عمران راهوار، 1389).



شکل 4- ظرفیت باربری مجاز برای پی‌های گسترده در حالت نشست مجاز 5/08 سانتیمتر ($D_f = 1$ m)

6 - جمع بندی و نتیجه گیری

- تونل نیایش تهران، که مجموعه‌ای از دو تونل مجزای شمالی و جنوبی است، از قسمت‌های گوناگون دو راهی، سه راهی، با ابعاد و در نتیجه حجم و وزن متغییر تشکیل شده که این امر نشانگر لزوم طراحی پی‌هایی از انواع نواری و گسترده برای این پروژه‌ی عظیم می‌باشد. از طرفی بنا به ساختگاه تونل نیایش که عمدتاً از رسوبات آبرفتی اما مستحکم و مقاوم سازند هزار دره می‌باشد، در طراحی و ساخت آن، از پی‌های مرکب و زنجیره‌ای استفاده نشده است.
- بطور کلی در محدوده‌ی طرح، با افزایش عمق خاک، شاهد افزایش ظرفیت باربری هستیم. مسئله‌ای که نشان دهنده تاثیر شدید تغییرات عمق در مقادیر پایین از ظرفیت باربری می‌باشد. و این در حالیست که مطابق شکل، مقادیر بالای ظرفیت باربری، برای اعماق مختلف، مقدار تقریباً یکسانی است.
- دلیل افزایش ظرفیت باربری مجاز با افزایش عمق مدفون، را می‌توان در حاکم بودن شرایط تنش همه جانبه و لیتواستاتیک در اعماق دانست که باعث افزایش تراکم و پارامترهای مقاومتی خاک شده و در نتیجه باعث افزایش میزان ظرفیت باربری نهایی و مجاز خاک با افزایش عمق مدفون می‌گردد.

- بطور کلی با افزایش ابعاد پی، بایستی شاهد افزایش ظرفیت باربری در پی‌های نواری و منفرد باشیم اما در عمل و در شکل (3)، مشاهده می‌کنیم که با افزایش ابعاد پی، شاهد کاهش محسوس ظرفیت باربری مجاز هستیم. دلیل این امر در محدود کردن میزان نشست پی منفرد، در یک مقدار ثابت و ممانعت از افزایش نشست مجاز از حد معین (2/54 سانتیمتر) است.

- در شکل شماره 4، تغییران میزان باربری مجاز را در عمقی ثابت (1 متر) برای ابعاد مختلف پی گسترده نمایش داده شده است. بنابر نمودار، با افزایش ابعاد پی گسترده، شاهد کاهش ظرفیت باربری مجاز هستیم. به عبارت دیگر افزایش ابعاد پی گسترده تأثیری مستقیم و تقریباً خطی بر مقدار ظرفیت باربری آن، به همراه دارد.
- دلیل کاهش مقادیر ظرفیت باربری مجاز با افزایش ابعاد و اندازه‌ی پی‌های گسترده، به دلیل محدود کردن میزان نشست مجاز پی در مقدار ثابت 5/08 سانتیمتر می‌باشد. لذا ظرفیت باربری مجاز برای جلوگیری از تجاوز مقدار نشست مجاز از مقدار فوق، کاهش داده می‌شود.

قدردانی

از مهندسین مشاور پژوهش عمران راهوار به خاطر در اختیار گذاشتن اطلاعات قدردانی می‌شود.

منابع:

- 1) بر اجا ام داس، ترجمه طاحونی ش.، (1370). "اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد دوم مهندسی پی"، موسسه انتشارات پارس آتین
- 2) پژوهش عمران راهوار (1389)، گزارش مطالعات ژئوتکنیک پروژه تونل نیایش
- 3) متوکل خسروشاهی ا.، اصغری ا. و مشرفی فرم.، (1391). " بررسی زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک تونل نیایش تهران"، شانزدهمین همایش زمین شناسی کشور، دانشگاه شیراز.