تاثیر پارامترهای موثر در فاصله بهینه تونلهای موازی

سعید اصلان پور
عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد مراغه
S_aslanpoor@yahoo.com

چکیده

یکی از مسائل جالب توجه و پیچیده تونلسازی، ساخت یک تونل جدید در مجاورت یک تونل از پیش موجود است. در موارد متعددی از قبیل توسعه شبکه راه استفاده از سیستم تونل های دوقلو ضروری می باشد. احداث تونلی که جدیداً می خواهد احداث شود، باعث می شود که بار اضافی قابل توجهی به تونل از پیش موجود انتقال یابد. هر چه فاصله دو تونل بیشتر باشد بار انتقال یافته به تونل قبلی کمتر خواهد بود. فاصله دو تونل که در آن بار اضافی وارد بر تونل در اثر احداث تونل جدید قابل صرف نظر باشد، به فاصله بهینه دو تونل موسوم است که تابع پارامترهای پوشش و محیط اطراف تونل است. در این تحقیق با استفاده از تحلیل پارامتری، اثر پارامترهای حاکم بر مساله، روی فاصله بهینه دو تونل ارزیابی شده اند تا مشخص شود در تعیین فاصله بهینه دو تونل کدام یک از عوامل نقش عمده ای دارد. جهت تحلیل از روش عددی تفاضلات محدود استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که فاصله بهینه دو تونل بیشتر از هر چیز تابع ضریب فشار جانبی در حال سکون می باشد و هرچه این ضریب بیشتر شود، فاصله بهینه نیز بیشتر می شود. قطر تونل، سختی پوشش، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی محیط اطراف تونل بادرجه اهمیت کمتری نسبت به ضریب فشار جانبی در حال سکون در تعیین فاصله بهینه دو تونل موثرند.

کلمات کلیدی:
تونل موازی، فاصله بهینه تونل، فشار جانبی

مقدمه

در موارد متعددی استفاده از سیستم تونلهای دوقلوی موازی هم ضروری می باشد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد

موقعی که جاده دارای دو باند باشد، تونلهای احداث شده در مسیر به صورت تونلهای دوقلو خواهد بود.

- موقع توسعه یک طرح خاص (مانند جاده یا خط انتقال آب)، مجبور به احداث یک تونل جدید در مجاورت تونل موجود خواهد بود.
- به عنوان یک قاعده، در زمینهای نامساعد از نظر پایداری، احداث دو تونل با سطح مقطعهای کوچکتر، معقولتر و اقتصادی تر از احداث یک تونل با سطح مقطع بزرگ خواهد بود.[۱]

یکی از پارامترهای اصلی طراحی دو تونل موازی هم، فاصله دو تونل میباشد. اگر تونلی که جدیداً می خواهد احداث شود خیلی نزدیک به تونل از پیش موجود باشد، باعث می شود که

- بار اضافی قابل توجهی به تونل از پیش موجود انتقال یابد که چه بسا پوشش تونل قادر به تحمل آن نباشد. [۲]
- بارهای وارد بر تونل جدید، بیشتر از مقدار بار وارده با فرض یک تونل تنها باشد

احداث تونل جدید باعث می شود که هم نیروی محوری و هم لنگر خمشی اولیه افزایش یابد. همچنین نکته قابل توجه اینکه احداث تونل جدید نه تنها باعث افزایش نیروی محوری و لنگر خمشی دیواره روبه رو به تونل جدید می شود، بلکه باعث افزایش لنگر خمشی و نیروی محوری دیواره پشت به تونل جدید می شود.[۳]

ارزیابی اضافه فشار وارد بر پوشش تونل یکی از پیچیده ترین مسائل مهندسی می باشد. این پیچیدگی از آنجا ناشی می شود که اضافه فشار وارد بر پوشش در اثر احداث حفر تونل جدید، به عوامل متعددی از قبیل اندازه تونل، سختی خمشی پوشش تونل، سختی محیط اطراف تونل و ... بستگی دارد.

در اثر حفر تونل جدید، آشفتگی در سقف و تمام اطراف و کناره ها به وجود میآید. در اثر حفاری وزن توده بالای حفره باعث تغییر شکل سقف می شود و توده خاکی که در این تغییر شکل پایین می آید دچار سست شدگی میشود و در اثر پدیده قوس زدگی، وزن قسمتهای فوقانی به کناره ها انتقال می یابد که بالطبع قسمتی از آن به پوشش تونل قبلی منتقل خواهد شد و باعث افزایش لنگر خمشی و نیروی محوری پوشش خواهد شد. مقدار افزایش نیروهای داخلی پوشش تونل قبلی به عوامل متعددی بستگی دارد که در این مقاله میزان تاثیر هر کدام از عوامل ارزیابی می شوند. به علت آن که تاثیر لنگر خمشی در رفتار پوشش تونل از سایر نیروهای داخلی بیشتر است، تاثیر عوامل مختلف روی لنگر خمشی ارزیابی شده است.[۴]

روش حل مساله

جهت حل مساله از روش عددی استفاده شده است. روشهای عددی امروزه به دلایل زیر از اهمیت ویژه ای برخوردارند

- یکی اینکه روشهای عددی یک سری روشهای حل قدرتمند برای اکثر حالات پیچیده موجود در طبیعت هستند
- استفاده از این روشها در مهندسی تونل و مهندسی ژئوتکنیک روز به روز پیشرفت می کند.

روش حل مورد استفاده در این تحقیق، روش تفاضلات محدود صریح میباشد. در این روش هر مشتق در معادلات حاکم مستقیماً توسط یک عبارت جبری که تابع متغیرهای میدان می باشد، جایگزین میشود و معادله حاکم در هر مرحله فقط تابع پارامترهای مراحل قبلی هستند که مقادیر معلومی میباشند. لذا قابلیت نسبی برای باز تولید معادلات تفاضلات محدود در هر گام وجود دارد. مجهولات در هر مرحله، در همان مرحله پیدا میشوند و سپس مرحله بعدی شروع می شود و لذا هیچ ماتریس سختی سراسری تشکیل نمیشود.

در استفاده از روشهای عددی، انتخاب نرم افزار مناسب به عنوان یک عامل اساسی دارای اهمیت می باشد. با توجه به ویژگیهای نرم افزار FLAC ، این نرم افزار یکی از مناسبترین نرم افزارها جهت بررسی پایداری تونلها می باشد. برخی از مهمترین قابلیتهای این نرم افزار که آن را نرم افزاری مناسب در بررسی پایداری تونل و طراحی پوشش کرده است عبارتند از

- قابلیتهای بررسی رفتار محیطهایی با چند نوع مصالح که هر کدام از آنها میتوانند مدل رفتاری خاص خود را داشته باشند
- قابلیت اعمال مراحل مختلف اجرایی نظیر حفاری چند مرحله ای
- قابلیت مدلسازی پوشش تونل همراه با محیط اطراف با استفاده از المانهای خمشی
- کنترل مستمر بر مقادیر کلیه پارامترها اعم از پارامترهای ورودی و خروجی[۵]

فرضیات تحلیل

- شرایط سه بعدی به صورت دو بعدی مدل شده است.

حالت سه بعدی در موارد زیر مشاهده می شود

۱- غیر ایزوتروپی توده خاک

۲- انتقال باری که هم در جهت طولی و هم در جهت عرضی رخ می دهد، باعث باز توزیع سه بعدی تنش می شود.

۳- جابجایی هایی که در سینه کار و زمینهای جلوتر از سینه کار رخ می دهد، طبیعت سه بعدی دارند.

علیرغم اینکه اکثراً با عوامل ایجاد کننده حالت سه بعدی در طبیعت مواجه می شویم، تحلیل سه بعدی معمولاً به دلایل زیر لازم نمی شود

الف- اندازه مدل و پیچیدگی های مدل سه بعدی، وقتی با نقایص لاینفک برنامه های کامپیوتری مواجه می شود، ممکن است باعث کاهش دقت نتایج شوند. همچنین چون تحلیلهای سه بعدی

نـتایج خروجی زیادی دارند، لذا تفسیر نتایج خروجی مشکل بوده و نیاز به برنامه های پیش پردازنده و پس پردازنده دارند. [۶]

ب- هزیـنه محاسـبات سه بعدی به مراتب بیشتر است. همچنین ثابـت شـده است که تحلیل دو بعدی با در نظر گرفتن اثرات انتقال بار در مجـاورت سـینه کـار نسـبت به تحلیل سه بعدی نتایج معقول تری می دهد. [۷]

- مـدل رفـتاری خـاک مـدل الاسـتیک-پلاسـتیک موهـر کولومب در نظر گرفته شده است
- در این تحقیق فقط تونلهای دایروی بررسی شده اند.
- در کلـیه تحلـیلها فـرض بـر آن اسـت که یک تونل اولیه موجود است و تونل ثانویه در مجاورت آن احداث می شود.

تحلیلهای پارامترهای موثر در فاصله بهینه تونلهای موازی

اثر زاویه اصطکاک داخلی محیط اطراف تونل:

- هـر چـه زاویه اصطکاک داخلی خاک کوچکتر باشد اضافه لـنگر خمشـی ایجـاد شـده در پوشـش بـه علت احداث تونل جدید در مجـاورت آن بیشتر است(شکل ۱). این امر بدان علت است که هر چه زاویـه اصطکاک داخلی خاک کوچکتر می شود، تحت اثر احداث تونل جدیـد در مجاورت تونل اولیه، نواحی بیشتری به گسیختگی می رسند و در نتـیجه بار بیشتری به پوشش تونل اعمال می شود. ولی اگر زاویه اصـطکاک داخلـی به حدی باشد که گسیختگی در اطراف تونل ایجاد نشـود، زاویـه اصـطکاک داخلـی هیچ نقشی در اضافه لنگر ایجاد شده نخواهد داشت(نمودارهای مربوط به زاویه اصطکاک ۳۵ و ۴۰ درجه بر هم منطبق می باشند).
- بـا افـزایش فاصله دو تونل، اضافه لنگر خمشی ایجاد شده در پوشـش تونـل کـاهش مـی یـابد و نـرخ ایـن کـاهش در زوایـای اصـطکاک داخلـی کمـتر، بیشتر است. لذا اثر زاویه اصطکاک داخلی با افزایش فاصله دو تونل کمتر می شود

اثر چسبندگی خاک

چسـبندگی خـاک اثـری مشـابه زاویـه اصـطکاک دارد و هر چه چسبندگی خاک کمتر باشد، اضافه لنگر خمشی ایجاد شده بیشتر است و نـرخ کـاهش اضـافه لـنگر خمشی پوشش تونل با افزایش فاصله دو تونل در چسبندگی های کمتر، بیشتر است (شکل ۲).

لذا اگر فاصله دو تونل از یک حدی بیشتر باشد، دیگر چسبندگی خاک تاثـیری در لـنگر خمشـی ایجـاد شـده نـدارد و نمودارهـای مربوط به چسبندگی های مختلف بر هم منطبق هستند.

اثر مدول الاستیک خاک

همانگونـه کـه از شکل(۳) پیداست، هر چه مدول الاستیک خاک کمـتر باشـد، اضـافه لنگر خمشی ایجاد شده به علت ایجاد تونل جدید بیشـتر اسـت ولی با افزایش فاصله دو تونل، اثر مدول الاستیک خاک کمـتر میشـود و فاصـله نمودارهای مربوطه با افزایش فاصله دو تونل، کمـتر میشود. لذا می توان نتیجه گرفت که اگر فاصله دو تونل از یک حـد بیشـتر شـود، مـدول الاسـتیک خـاک تاثیر چندانی روی دو تونل نخواهـد داشـت و اگر بخواهیم فاصله دو تونل را چنان پیداکنیم که دو تونـل تاثـیری روی هـم نداشته باشند، این فاصله مستقل از مدول الاستیسیته خاک خواهد بود. ولی اگر فاصله دو تونل کمتر باشد، مدول الاستیسیته خاک یکی از پارامترهای مهم و تعیین کننده خواهد بود.

اثر مدول الاستیسیته پوشش تونل

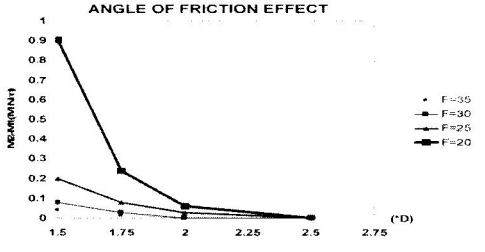
همانگونـه کـه در شـکل(۴) مشـاهده مـی شـود هـر چـه مدول الاستیسـیته پوشـش تونـل بیشـتر می شود، اضافه لنگر خمشی ایجاد شـده در پوشش تونل بیشتر می شود چرا که هر چه این ضریب بیشتر مـی شـود، صـلبیت پوشـش بیشتر شده و لنگر خمشی بیشتری جذب می کند. جهت رسیدن به این منظور که دو تونل موازی هم هیچ اثری روی هـم نداشـته باشـند، باید فاصله دو تونل با مدول الاستیسیته بالا بیشتر باشد.

اثر ضریب فشار جانبی در حالت سکون

هر چه ضریب فشار جانبی در حالت سکون خاک بیشتر می شود، لـنگر خمشی ایجاد شده تحت اثر احداث تونل جدید بیشتر می شود و ایـن پارامـتر، بیشـترین تاثـیر را در مقدار لنگر خمشی ایجاد شده دارد (شکل ۵).

اثر عمق تونل

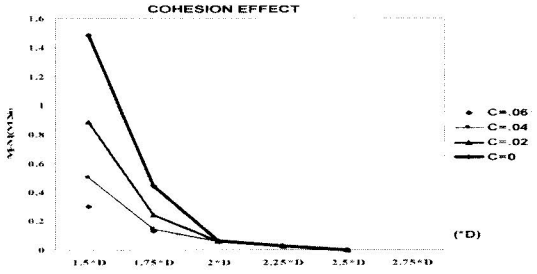
شـکل (۶) نتایج تحلیل پارامتر عمق تونل را نشان میدهد. هر چه عمـق تونـل بیشـتر میشـود، اضافه لنگر خمشی ایجاد شده در پوشش تونـل بیشـتر میشـود ولی میزان کاهش اضافه لنگر خمشی با افزایش فاصـله دو تونل، با افزایش عمق کمتر میشود و فاصله ای که دو تونل هـیچ اثری روی هم نداشته باشند، در تمام اعماق یکسان است (شکل ۶).



$E=۶۰Mpa \quad C=/۰۲Mpa \quad EL=۳۰۰۰Mpa$

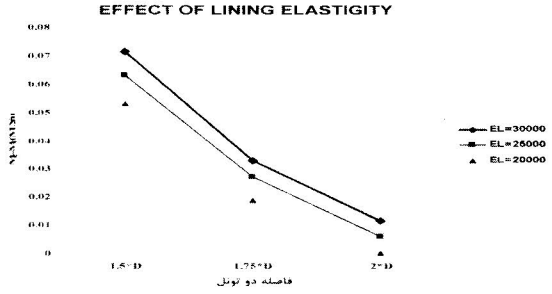
$D=۱۰m \quad H=۴۵m \quad K_{.}=۰/۵ \quad t=۳۰cm$

شکل (۱)- تغییرات اضافه لنگر خمشی پوشش تونل با زاویه اصطکاک داخلی



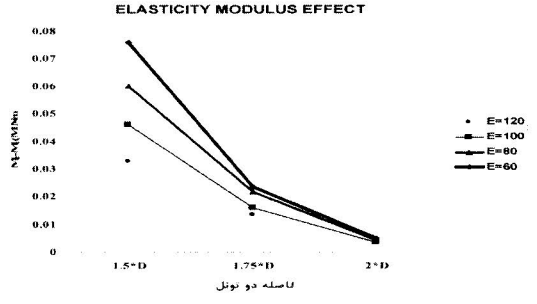
$\Phi = ۲۰ \quad t = ۳۰cm \quad EL = ۳۰۰۰۰ \quad K_{\circ} = / ۵ \quad D = ۱۰m$
$H = ۴۵m$

شکل (۲)- تغییرات اضافه لنگر خمشی پوشش تونل با چسبندگی خاک



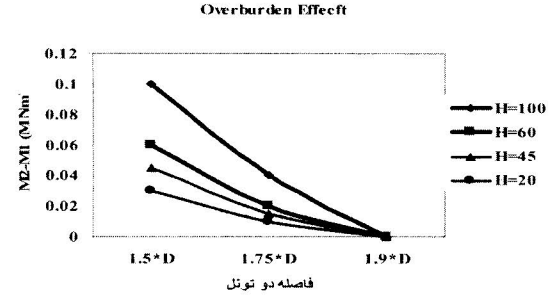
$\Phi = ۳۰ \quad t = ۳۰cm \quad K_{\circ} = / ۵$
$E = ۶۰Mpa \quad D = ۱۰m \quad C = / ۰۲Mpa \quad H = ۴۵m$

شکل (۵)- تغییرات اضافه لنگر خمشی پوشش تونل با مدول الاستیک پوشش تونل



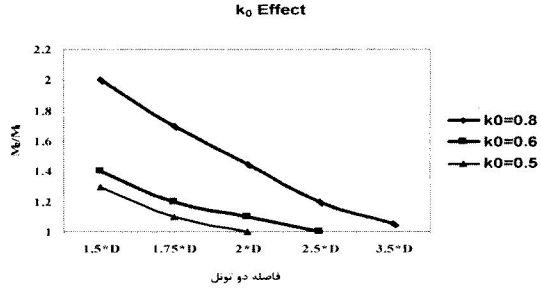
$\Phi = ۳۰ \quad K_{\circ} = / ۵ \quad t = ۳۰cm \quad EL = ۳۰۰۰۰$
$C = / ۰۲Mpa \quad D = ۱۰m \quad H = ۴۵m$

شکل (۳)- تغییرات اضافه لنگر خمشی پوشش تونل با مدول الاستیک خاک



$\Phi = ۳۰ \quad t = ۳۰cm \quad EL = ۳۰۰۰۰Mpa$
$E = ۶۰Mpa \quad D = ۱۰m \quad C = / ۰۲Mpa \quad K_{\circ} = ۰ / ۵$

شکل (۶)- تغییرات اضافه لنگر خمشی پوشش تونل با عمق تونل



$\Phi = ۳۰ \quad t = ۳۰cm \quad EL = ۳۰۰۰۰Mpa$
$E = ۶۰Mpa \quad D = ۱۰m \quad C = / ۰۲Mpa \quad H = ۴۵m$

شکل (۴)- تغییرات اضافه لنگر خمشی پوشش تونل با ضریب فشار جانبی خاک

علائم بکار رفته

C : چسبندگی خاک به واحد مگا پاسکال

H: عمق تونل به واحد متر

t : ضخامت پوشش تونل به واحد سانتیمتر

E: مدول الاستیک محیط اطراف تونل

EL: مدول الاستیک پوشش تونل

D: قطر تونل

K_0: ضریب فشار جانبی در حالت سکون

M_2:لنگر خمشی ماگزیمم تونل پس از احداث تونل دوم

M_1:لنگر خمشی ماگزیمم تونل پیش از احداث تونل دوم

نتیجه گیری

- فاصله بهینه دو تونل بیشتر از هر پارامتر، تابع ضریب فشار جانبی بوده و با این پارامتر رابطه مستقیم دارد.
- هر چه مدول الاستیک خاک کمتر باشد، اثر ایجاد تونل جدید روی تونل از موجود بیشتر است ولی اگر فاصله دو تونل بیشتر شود، اثر مدول الاستیک خاک کمتر می شود به نحوی که فاصله بهینه دو تونل تابع مدول الاستیک خاک نمی باشد.
- هر چه قطر تونل بیشتر شود، اضافه لنگر خمشی در تونل از پیش موجود بیشتر می شود و فاصله بهینه دو تونل افزایش می یابد.
- هر چه مدول الاستیک پوشش بیشتر شود، اضافه لنگر خمشی ایجاد شده در پوشش تونل بیشتر شده و فاصله بهینه افزایش می یابد.

مراجع

1- Bickel, J.,et al (1996) " Tunnel Engineering Handbook"

2- Sinha , R.S (1992) " Underground Structures: Design and Instrumentation",Elsiever

3- ASCE Technical Committee on Tunnel Lining Design (1984) "Design and Construction of Tunnel lining"

4- Szechy K. (1973) "The Art of Tunneling",2nd edition,Budapest academia Kiado

5- Itasca Consulting Group (1991) "Fast Lagrangian Analysis of Continua" volume 6- Bulychev, N.S (1995) " Interaction of Round Section Lining with Soft Ground" Underground Construction in Soft Ground

۷- اصلانپور ، سعید (۱۳۷۹) "مقایسه روشهای تحلیلی و عددی در بارگذاری پوشش تونلها" پنجمین کنفرانس تونل ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، آبان ۱۳۸۰، ص۱۹۱

Influence of effective parameters in optimum distance of two parallel tunnels

Saeed Aslanpoor
Engineering Faculty, Maragheh Azad University

Abstract:

Construction a new tunnel parallel to pre existing tunnel is one of the most complex problems in tunneling. In most engineering projects such as highway and water supply networks, it is essential to construct a new tunnel parallel to existing tunnel. New tunnel causes increasing bending moment in tunnel lining. Increasing the distance of two tunnels, decreases the increasing bending moment. Optimum distance of the tunnels is the distance that new tunnel has no effect in old tunnel.

This research studies the influence of parameters that affect optimum distance. Finite difference method is used for analysis of problem.

Results show that at rest earth pressure has maximum effect and tunnel diameter, lining elasticity, cohesion and friction of media and elasticity of media affect the optimum distance.

Keywords:

Tunnel lining, Parallel tunnels, Optimum distance