



نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل

"فضاهای زیرزمینی برای توسعه پایدار"

۱۰ تا ۱۲ آبان ماه ۱۳۹۰

ATS11-03316

ضرورت‌های تونل جاده‌ای دو طبقه در مناطق شهری تهران با نگرشی بر تونل بلند دو طبقه ادامه بزرگراه صیاد شیرازی

حمید رضا علیزاده^۱، مهدی حسینی نژاد^۲، علی فاخر^۳، بیژن یزدانی^۴

^۱ کارشناس ارشد معدن، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس؛ (HR_Alizadeh@yahoo.com)

^۲ کارشناس ارشد ژئوتکنیک، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس؛ (Hnejad54@yahoo.com)

^۳ دکتری خاک، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس؛ (HR_Alizadeh@yahoo.com)

^۴ کارشناس عمران، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس

چکیده

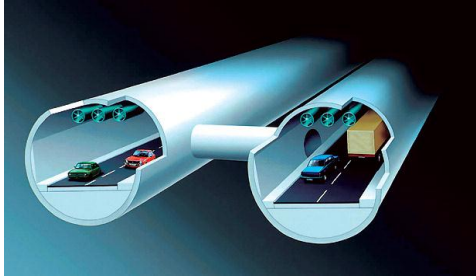
با توجه به فشردگی سازه‌های سطحی مسکونی و تجاری در مناطق مرکزی شهرها، امکان ایجاد بزرگراه سطحی در مناطق شهری با معضلات اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی بسیاری مواجه می‌باشند. بر اساس قوانین جاری کشور برای اجرای تونل‌های ترافیکی نیز نیاز به تملیک مناطق سطحی دارد. با توجه به اینکه هزینه تملیک در مناطق شهری بیشتر از هزینه اجرای پروژه است لذا کاهش محدوده تملیک می‌تواند نقش مهمی در اقتصادی کردن طرح داشته باشد. بدین منظور اجرای تونل‌های بزرگ مقطع دو طبقه با تردد یک طرفه در هر طبقه می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های تملیک داشته باشد. بر اساس مطالعات انجام گرفته، جهت اتصال ادامه بزرگراه صیاد شیرازی به شبکه بزرگراهی تهران، نیاز به اجرای تونل می‌باشد. در این مقاله نتایج بررسی دو گزینه اجرای دو تونل موازی و یک تونل دو طبقه از نظر فنی، اجتماعی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی‌ها حداقل فضای مورد نیاز هر یک از گزینه‌ها، مشکلات اجرایی، تاسیسات و تجهیزات ایمنی مورد نیاز دو گزینه در دوره بهره‌برداری و هزینه‌های مربوطه، جنبه‌های ایمنی و محیط زیست، هزینه‌های تملیک، هزینه ساخت و زمان اجرا و... برآورد شده و در انتها نیز نتیجه‌گیری شده است که انتخاب گزینه تونل دو طبقه می‌تواند یک گزینه مناسب جهت تردد ترافیکی در مناطق شهری بکارگرفته شود.

کلمات کلیدی

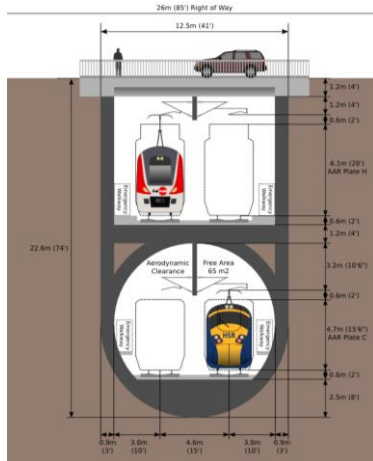
مقایسه، تونل جاده‌ای دو طبقه، تونل دو قلو، مناطق شهری، تونل صیاد شیرازی، ایمنی، محیط زیست.

^۱ حمید رضا علیزاده - تهران - گیشا - کوی نصر - کوچه ملکی - پلاک ۶۱ - شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس تلفن ۸۴۲۶۴۶۸۶ نمابر ۸۸۲۷۲۶۲۹

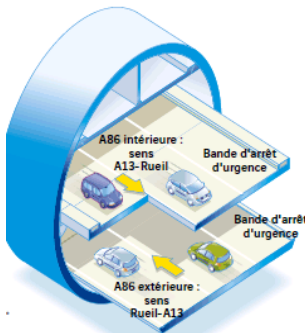
۱- مقدمه



شکل ۲- دو تونل موازی در پلان یک طبقه با ترافیک یک طرفه



شکل ۳- دو تونل موازی یک طبقه با ترافیک یک طرفه (دو تونل موازی در امتداد محور طولی بر روی هم با فاصله مناسب)



شکل ۴- یک تونل دو طبقه با ترافیک یک طرفه در هر طبقه

۲- عوامل موثر در مقایسه گزینه ها

در مقایسه گزینه‌های تونلی با تردد ترافیکی، متغیرهایی مانند مشخصات هندسی، ایمنی دوره بهره‌برداری، زمان و هزینه اجرا مورد توجه قرار می‌گیرند. در این مقاله مقایسه گزینه‌های "ب" و "د" در بخش‌های ذیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

الف- ملاحظات عمومی

ب- ملاحظات اجرایی

ج- جنبه‌های ایمنی و محیط زیست

د- هزینه ساخت و زمان اجرا

ر- پروژه‌های مشابه دنیا

به منظور انجام مطالعات فاز ۱ تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی، بررسی گزینه‌های مختلف تونلی به منظور ادامه این بزرگراه الزامی می‌باشد. چهار گزینه اصلی از نظر تعداد طبقات و تعداد تونل جهت اجرای تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی بر اساس مشخصات هندسی و ترافیکی تونل، قابل طرح بود:

الف- یک تونل یک طبقه با ترافیک دو طرفه (شکل ۱)

ب- دو تونل موازی یک طبقه با ترافیک یک طرفه (دو تونل موازی در پلان) (شکل ۲)

ج- دو تونل موازی یک طبقه با ترافیک یک طرفه (دو تونل موازی در امتداد محور طولی یا دو تونل مستقل بر روی هم با فاصله مناسب) (شکل ۳)

د- یک تونل دو طبقه با ترافیک یک طرفه در هر طبقه (شکل ۴)

در گزینه (الف)، یک تونل با ترافیک دو طرفه، به دلیل حجم بالای ترافیک، نیاز به تونلی با قطر بزرگ بوده که در نتیجه افزایش مشکلات پایداری، مشکلات تامین ایمنی مسافران در زمان تصادف و آتش‌سوزی و خروج آنها از تونل را به همراه داشته از طرفی با توجه به توصیه‌های ذکر شده در منابع و استانداردهای مختلف، این گزینه گزینه ایمن و قابل توجه‌ای برای این تونل نمی‌باشد.

گزینه (ب) که شامل دو تونل موازی با فاصله کم از یکدیگر و در یک تراز می‌باشند، به دلیل ایمنی بالای آن در زمان آتش‌سوزی و همچنین امدادسانی سریع و آسان به حادثه دیده‌گان و تهویه آسان، از الویت بالایی برخوردار بوده و مطالعه این گزینه ضروری می‌باشد.

گزینه (ج) که شامل دو تونل موازی در دو تراز ارتفاعی متفاوت است، به دلیل نیاز به رمپ طولانی در دهانه‌های ورود و خروج و عمق زیاد تونل‌ها و مشکلات تهویه و تامین ایمنی در زمان آتش‌سوزی و خروج مسافران از تونل، نمی‌تواند گزینه مناسبی برای تونل صیاد باشد.

گزینه (د)، به این دلیل که بیش از ۹۵ درصد ترافیک مسیر تونل صیاد شامل خودروهای سواری بوده و نیازی به اجرای تونل با مقطع بزرگ که بخش زیادی از فضای بالایی تونل پرت می‌گردد، نیست و در نتیجه امکان کاهش ارتفاع تونل وجود دارد، گزینه قابل توجه‌ای می‌باشد. مشکلات کم این گزینه مطالعه آن را ضروری می‌نماید.



شکل ۱- یک تونل یک طبقه با ترافیک دو طرفه

۳- مقایسه عمومی تونل یک طبقه و دو طبقه

شعاع بزرگ در نصب قطعات سگمنت در رینگ‌های متوالی مشکل بوده و بر آب‌بندی تونل تاثیر منفی می‌گذارد. پس تونل دو طبقه بعلت قطر بزرگتر دارای محدودیت شعاع قوس بیشتری می‌باشد.

۳-۱- توصیه‌ها و استانداردها

در استانداردها و آئین‌نامه‌های مختلف توصیه شده است که استفاده از دو تونل موازی به دلیل اینکه در شرایط بحرانی مانند وقوع آتش‌سوزی و دیگر حوادث در یکی از تونل‌ها، امکان استفاده از تونل دیگر فراهم است، از ایمنی بالایی برخوردار می‌باشد. از دیگر مزایای این گزینه، در صورت بسته شدن یکی از تونل‌ها امکان استفاده از تونل دیگر جهت تردد ترافیکی میسر می‌باشد را می‌توان ذکر کرد. در مورد تونل دو طبقه، با توجه به اینکه ساخت این گونه تونل‌ها محدود به چند پروژه جدید در دنیا می‌باشد لذا در استانداردهای مختلف در این مورد توصیه خاصی نشده اما در برخی موارد این گزینه نیز همانند دو تونل مجزا به شمار می‌آید. لازم به ذکر است که در این گزینه، دسترسی به تونل طبقه مجاور از طریق پله امکان‌پذیر می‌باشد.

۳-۴- نفوذ آب و مشکلات آب‌بندی

با افزایش قطر تونل (تونل دو طبقه) و در نتیجه افزایش عمق و سطح تماس تونل با محیط اطراف میزان آب ورودی به تونل و فشار آب افزایش می‌یابد و این امر باعث افزایش مشکلات آب‌بندی گردد. لازم به ذکر است که در گزینه دو تونل موازی نسبت به یک تونل دو طبقه، سطح تماس دو تونل و در نتیجه میزان آب ورودی به تونل بیشتر از گزینه یک تونل دو طبقه بوده و تجهیزات آبکشی، آب‌بندی و ... نیز افزایش خواهد یافت.

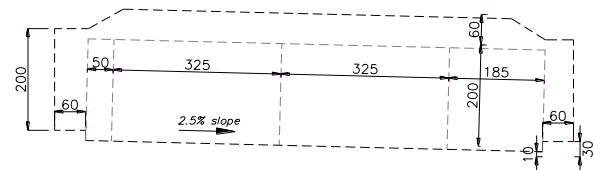
۳-۵- نشست سطح زمین

عمق تونل دو طبقه به علت قطر بزرگتر نسبت به تونل یک طبقه بیشتر می‌شود. با افزایش عمق تونل، میزان نشست کاهش یافته اما محدوده تاثیر نشست افزایش می‌یابد. با اجرای دو تونل موازی میزان نشست سطح زمین هر یک از تونل‌ها کمتر از یک تونل دو طبقه است اما مقدار و محدوده نشست دو تونل موازی بیشتر از یک تونل دو طبقه بوده و با کاهش فاصله دو تونل این تاثیر افزایش می‌یابد. با توجه به محدودیت و مشکلات نشست در مناطق شهری، گزینه یک تونل دو طبقه بعلت مقدار و محدوده نشست کمتر و همچنین با توجه به اینکه محور تونل صیاد موازی محور خیابان می‌باشد و عمده نشی ایجاد شده در محدوده خیابان اتفاق می‌افتد گزینه مناسب‌تری می‌باشد. در شکل‌های ۶ و ۷ مقدار نشست ناشی از اجرای دو تونل موازی به تفکیک نشست هر یک از تونل‌ها و نشست تجمعی ناشی از دو تونل (با تغییر فاصله بین دو تونل) نشان داده شده است.

۳-۲- قطر حفاری مورد نیاز تونل بر اساس فرضیات

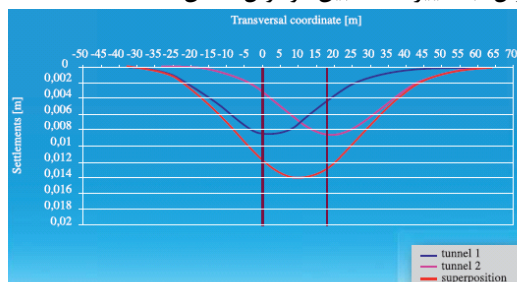
ترافیکی در گزینه‌های یک طبقه و دو طبقه

بر اساس مطالعات ترافیکی و طرح هندسی مقطع تونل گاباری مورد نیاز برای دو تونل موازی یا یک تونل دو طبقه با دو خط ترافیکی و یک خط اضطراری و مسیر پیاده رو و ... مطابق شکل ۵ می‌باشد.



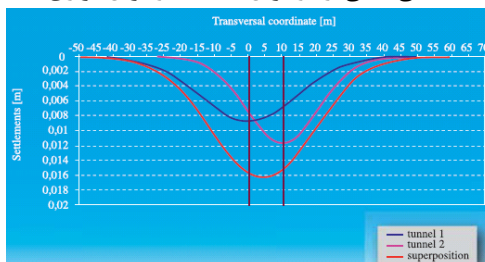
شکل ۵- گاباری مورد نیاز برای دو خط ترافیکی، یک خط اضطراری و پیاده رو

بر اساس نیاز ترافیکی و در نظر داشتن شرایط ایمن برای خودروها و مسافران و تامین گاباری مورد نیاز، قطر حفاری هر تونل در حفاری به روش مکانیزه برای گزینه دو تونل موازی تقریباً برابر ۱۰ متر و برای تونل دو طبقه قطر حفاری برابر ۱۳ متر می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که در گزینه تونل دو طبقه قطر حفاری بیشتر از گزینه تونل موازی بوده اما در گزینه دو تونل موازی حجم حفاری حدود ۳۰ درصد بیش از گزینه یک تونل دو طبقه می‌باشد.



شکل ۶- نشست سطح زمین در اثر اجرای دو تونل موازی و

نشست تجمعی ناشی از دو تونل (فاصله دو تونل موازی ۱۷ متر)



شکل ۷- نشست سطح زمین در اثر اجرای دو تونل موازی و میزان

۳-۳- شعاع قوس‌ها در مسیر

با افزایش قطر تونل، محدودیت در شعاع قوس در زمان حفاری بیشتر می‌شود. یعنی شعاع قوس مسیر تونل در دستگاه حفاری با قطر بزرگ نسبت به قطر کوچک بیشتر می‌باشد. با توجه به مسیر تونل ادامه بزرگراه صیاد شیرازی که افزایش شعاع قوس باعث می‌شود که مسیر اجرای تونل از مرکز خیابان به بیرون انحراف یافته و این امر مشکلات تملیک را افزایش می‌دهد. همچنین وجود قوس با

نشست تجمعی ناشی از دو تونل (فاصله دو تونل موازی ۱۰ متر)

۵-۱- جمع بندی مقایسه عمومی

جمع بندی مقایسه عمومی دو گزینه در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱- خلاصه جمع بندی مقایسه عمومی تونل دو طبقه و یک

طبقه در این پروژه

آیتم	گزینه دو تونل موازی	گزینه یک تونل دو طبقه
توصیه ها و استانداردها	در استانداردها این تونل ها ایمن تر هستند	توصیه ای نشده اما در برخی منابع به این تونل ها را مانند دو تونل موازی می دانند.
قطر حفاری مورد نیاز تونل	تونل با قطر کمتر (دو تونل هر یک به قطر تقریبی ۱۰ متر)	تونل با قطر بیشتر (یک تونل به قطر تقریبی ۱۳ متر)
شعاع قوس در مسیر	نیاز به شعاع قوس کمتر	نیاز به شعاع قوس بیشتر
نفوذ آب و شکلات آب بندی	نفوذ آب به یک تونل کمتر - مشکلات کمتر (اما نفوذ آب به دو تونل موازی بیشتر از یک تونل دو طبقه)	نفوذ آب به یک تونل بیشتر - مشکلات بیشتر
نشست سطح زمین	مقدار و محدوده نشست دو تونل بیشتر	مقدار و محدوده نشست کمتر

۴- عملیات اجرایی تونل دو طبقه و یک طبقه

۴-۱- نوع ماشین حفاری تمام مقطع (TBM)

به منظور حفاری تونل صیاد نیاز به بکارگیری ماشین حفاری مکانیزه تمام مقطع می باشد. قطر حفاری تونل دو طبقه حدود ۱۴ متر و قطر حفاری تونل یک طبقه حدود ۱۱ متر است. قطر متداول اغلب ماشین های حفاری بزرگ ساخته شده حدود ۱۲ متر بوده اما ماشین با قطر ۱۵ الی ۱۶ متر نیز ساخته شده است. هدایت و کنترل دستگاه حفاری با قطر بالا مشکل است. برای اجرای تونل یک طبقه با قطر حفاری ۱۱ متر بر اساس شرایط ژئوتکنیکی تونل صیاد، نیاز به دستگاه مکانیزه TBM-EPB می باشد اما با افزایش قطر آن به ۱۴ متر برای تونل دو طبقه نیاز به دستگاه مکانیزه Mix shield یا Slurry است که تجربه بکارگیری Mix shield یا Slurry در ایران نبوده و در دنیا نیز تجربه بکارگیری آنها کم است. توان مورد نیاز دستگاه حفاری مکانیزه به قطر ۱۴ متر حدود ۵ برابر دستگاه حفاری مکانیزه به قطر ۱۱ متر می باشد. لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت زمان بندی پروژه، برای گزینه دو تونل یک طبقه موازی نیاز به دو دستگاه TBM می باشد. بنابراین تعداد دستگاه در تونل یک طبقه بیشتر از تونل دو طبقه است.

۴-۲- پایداری تونل در زمان ساخت

در گزینه دو تونل موازی یک طبقه، هر تونل دارای سطح مقطع کوچکتری بوده پس در شرایط مشابه، پایداری دو تونل موازی آسانتر از یک تونل بزرگ مقطع دو طبقه می باشد. در ضمن با توجه به اجرای پوشش بتنی بلافاصله پس از حفاری، تاثیر عملیات حفاری

یک تونل بر تونل دیگر در گزینه دو تونل موازی کم است.

۴-۳- پایداری سینه کار تونل در صورت توقف TBM

با افزایش قطر تونل و در نتیجه عمق حفاری، در صورت توقف دستگاه در زمین ناپایدار، جهت تعمیر و نگهداری مشکلات پایداری سینه کار تونل می یابد. در چنین شرایطی از هوای فشرده برای پایداری سینه کار استفاده می شود که با افزایش عمق، فشار هوای فشرده نیز افزایش یافته و برای فعالیت کارگران در هوای فشرده با فشار بالا، نیاز به تجهیزات خاص غواصی می باشد.

۴-۴- احتمال مواجهه با عوارض زیر سطحی

با افزایش عمق، احتمال برخورد با عوارض زیرسطحی مانند تونل (مترو، انتقال آب)، ایستگاه های زیرزمینی مترو، پایه و شمع پل های مسیر و... کاهش می یابد. در گزینه دو تونل موازی، به علت کاهش عمق مشکلات برخورد با عوارض زیر سطحی افزایش می یابد.

۴-۵- شفت های ورود و خروج دستگاه حفاری

در زمان شروع به حفاری تونل توسط دستگاه حفاری مکانیزه به منظور پایداری محیط اطراف تونل نیاز به سرباری جهت پایداری تونل می باشد. ارتفاع روباره بالای تونل بستگی به مشخصات ژئوتکنیکی زمین، قطر تونل و ابعاد حفاری ترانشه دارد بطوریکه حداقل ارتفاع روباره به حدود ۲ برابر قطر تونل توصیه شده است. بر این اساس با افزایش قطر و در نتیجه عمق اجرای تونل، نیاز به ترانشه (شفت) ورودی با ابعاد و عمق زیاد می باشد که پایداری این شفت مشکل و پرهزینه خواهد بود. برای گزینه یک تونل دو طبقه، برای یک تونل نیاز به شفتی با عرض کمتر می باشد اما برای دو تونل موازی نیاز به شفت با عرض زیاد می باشد اما عمق شفت ها در این گزینه کمتر از گزینه یک تونل دو طبقه می باشد.

۴-۶- سگمنت و کارخانه سگمنت

با افزایش قطر و در نتیجه عمق اجرای تونل، میزان بار وارده ناشی از محیط اطراف و فشار آب روی تونل بیشتر شده و در نتیجه ضخامت سگمنت افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش قطر تونل تعداد قطعات سگمنت در هر رینگ افزایش می یابد. با افزایش ضخامت سگمنت و در نتیجه افزایش تعداد قطعات آنها در یک رینگ، عملیات نصب قطعات سگمنت می تواند سرعت پیشروی تونل را تحت تاثیر قرار دهد. برای گزینه دو تونل موازی که بطور همزمان می بایست حفاری شوند، نیاز به کارخانه ای وسیع با ظرفیت بالا و تعداد متعدد قالب تولید سگمنت می باشد.

۴-۷- مشکلات نصب قطعات بتنی کف جاده در تونل دو طبقه

نصب و اجرای دال بتنی کف مسیرهای ترافیکی در تونل های

دپوی باطله (مصالح حفاری شده)	باطله بیشتر و مشکلات بیشتر برای دپوی دائم	باطله کمتر و مشکلات کمتر دپوی دائم
------------------------------	---	------------------------------------

دوطبقه از جمله مشکلات قابل توجه در این گزینه می باشد که با تداخل در فعالیت های اجرایی تونل مشکلاتی را ایجاد می نماید.

۴-۸- تجهیز کارگاه

در دهانه تونل در زمان اجرا نیاز به فضایی جهت تخلیه مصالح حفاری، دپوی قطعات سگمنت، تعمیرگاه ها و ... می باشد. جهت تجهیز دو تونل موازی نیاز به فضا و تجهیزات بیشتری نسبت به یک تونل دو طبقه می باشد.

۴-۹- دپوی باطله (مصالح حفاری شده)

حجم مصالح حفاری شده دو تونل موازی حدود ۳۰ درصد بیشتر از مصالح حفاری یک تونل دو طبقه است. در این مورد هزینه انتقال مصالح و تامین محل دپوی دائم از مشکلات قابل توجه در پروژه های شهری می باشد. بر این اساس هزینه و مشکلات حمل و دپوی دائم مصالح حفاری در گزینه دو تونل موازی بیشتر از تونل دو طبقه است.

۴-۱۰- جمع بندی عملیات اجرایی تونل دو طبقه و یک طبقه

بر اساس آنچه ارائه شد نتایج مقایسه عملیات اجرایی تونل دو طبقه و یک طبقه در جدول ۲ جمع بندی شده است.

جدول ۲- مقایسه ملاحظات اجرایی تونل دو طبقه و یک طبقه

آیتم	گزینه دو تونل موازی	گزینه یک تونل دو طبقه
نوع ماشین حفاری تمام مقطع (TBM)	دو دستگاه EPB	یک دستگاه Mix Slurry یا shield
پایداری تونل در زمان ساخت	پایدار بیشتر	پایدار کمتر
تجربه استفاده از دستگاه در کشور	وجود دارد	وجود ندارد
نشست سطح زمین و سازه های مجاور	مقدار و محدوده نشست بیشتر	مقدار و محدوده نشست کمتر
پایداری سازه سینه کار تونل در صورت توقف TBM	مشکلات کمتر	مشکلات بیشتر
مواجهه با عوارض زیر سطحی	مواجهه بیشتر - مشکلات بیشتر	مواجهه کمتر - مشکلات کمتر
تاثیر اجرای این تونل بر تونل مصطفی خمینی	کمتر	بیشتر
شفت های ورود و خروج دستگاه حفاری	نیاز به شفت با عرض بیشتر و عمق کمتر	نیاز به شفت با عرض کمتر و عمق بیشتر
مشکلات پایداری شفت ها	کمتر	بیشتر
فضای مورد نیاز شفت ها	بیشتر	کمتر
سگمنت و کارخانه سگمنت	تعداد بیشتر قطعات سگمنت مورد نیاز - کارخانه سگمنت بزرگتر	تعداد کمتر قطعات سگمنت - کارخانه تولید سگمنت کوچکتر
مشکلات نصب قطعات بتنی کف جاده در تونل	کمتر	بیشتر
تجهیز کارگاه	فضا و تجهیزات بیشتر	فضا و تجهیزات کمتر

۵- ایمنی و محیط زیست برای دو تونل موازی و یک

تونل دو طبقه

۵-۱- سیستم تهویه

تهویه تونل های ترافیکی عمدتاً به روش های طولی، عرضی یا نیمه عرضی انجام می گیرد. در روش تهویه طولی هوا در طول تونل توسط فن های نصب شده در سقف یا فن های اصلی به جریان می افتد. در روش تهویه عرضی هوا توسط کانال های تعبیه شده در کف تونل وارد تونل شده و از کانال های سقف، مکش شده و به بیرون تونل هدایت می گردند. در روش تهویه نیمه عرضی، یک کانال در تونل تعبیه و هوای تازه تنها از کانال وارد شده یا هوای آلوده از کانال تهویه مکش می شود و در صورت بکارگیری کانال تهویه برای یکی از موارد ذکر شده دهش یا مکش، هوای مکشی یا دهشی به روش تهویه طولی از تونل خارج یا وارد می گردد. در هر دو گزینه تونل یک طبقه یا دو طبقه با توجه به مشابهت مشخصات ترافیکی و طول تونل، از یک روش تهویه می توان بهره گرفت، پس روش و سیستم تهویه ورود هوای تازه و خروج هوای آلوده تفاوتی ندارند.

۵-۲- تجهیزات تهویه

تاسیسات و تجهیزات تهویه برای دو گزینه یک تونل دو طبقه و دو تونل موازی در شرایط یکسان ترافیکی، تفاوتی ندارند. برای هر دو گزینه نیاز به یک چاه تهویه و تاسیسات مکانیکی تقسیم کننده جریان هوا بوده و توسط یک مجموعه فن اصلی هوا به شفت دهش شده و با جریان در هر یک از تونل ها، هوای آلوده نیز توسط سیستم مکش از تونل ها خارج می شوند.

۵-۳- آتش سوزی

در زمان تصادف خودروها، احتمال وقوع آتش سوزی در تونل زیاد است. در آتش سوزی انتقال مسافران به محل امن و کمک رسانی به آسیب دیده گان امری حیاتی بوده و سرعت عمل در این عملیات نقش به سزائی در کاهش حوادث دارد. تامین حداقل جریان تهویه که مانع از برگشت دود به محل آتش سوزی گردد نیز بسیار مهم است. کنترل دود و آلاینده ها در شرایط آتش سوزی در یکی از دو تونل در گزینه دو تونل موازی یا گزینه تونل دو طبقه یکسان بوده اما دسترسی به تونل دیگر جهت انتقال مسافران به محل امن، برای گزینه دو تونل موازی اندکی آسان تر از تونل دو طبقه می باشد.

۵-۴- امداد رسانی

امداد رسانی به حادثه دیدگان در گزینه دو تونل موازی، از طریق

شرایط دو گزینه مشابه	زیست محیطی
شرایط دو گزینه مشابه	راه های فرار و نجات

۶- هزینه ساخت و زمان اجرا

۶-۱- هزینه تامین تجهیزات (دستگاه حفاری TBM)

بدون توجه به محدودیت زمان بندی اجرای دو گزینه، برای اجرای گزینه دو تونل موازی نیاز به دو دستگاه حفاری TBM و برای حفاری یک تونل دو طبقه نیاز به یک دستگاه می باشد. با افزایش قطر تونل ممکن است مقطع تونل در دو مرحله و بصورت تلسکوپی توسط یک دستگاه حفاری گردد. با توجه به اینکه بطور متوسط هزینه هر دستگاه حفاری بیش از دو برابر قطر تونل (به میلیون یورو) می باشد لذا هزینه دو دستگاه TBM با قطر ۱۲ متر حدود ۵۰ میلیون یورو و یک دستگاه TBM با قطر ۱۵ متر حدود ۴۰ میلیون یورو می باشد. یعنی هزینه تامین دو دستگاه TBM برای گزینه دو تونل موازی ۲۰ درصد بیشتر از گزینه یک تونل دو طبقه می باشد. هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه حفاری در زمان ساخت تونل برای گزینه دو تونل موازی بیش از یک تونل دو طبقه می باشد.

۶-۲- هزینه ساخت تونل

بطور کلی هزینه ساخت تونل ترافیکی شامل هزینه حفاری تونل و کارخانه تولید سگمنت و اجرای اسلب بتنی (شامل هزینه های بتن مصرفی، کابل های پس کشیده، آرماتوربندی، قالب بندی، اجرای آسفالت جاده و ...)، هزینه رمپ های دسترسی به دهانه های تونلی (شامل هزینه حفاری و پایدارسازی توسط شمع)، هزینه سازه های تهویه و ایمنی، هزینه تجهیزات تهویه و تاسیسات ایمنی، هزینه ماشین آلات و ... می باشد. بر اساس برآوردهای انجام گرفته هزینه ساخت یک تونل دو طبقه با قطر ۱۵ متر حدود ۳۰-۵۰ درصد بیش از یک تونل با قطر ۱۲ متر می باشد. اما هزینه اجرای دو تونل موازی بیش از یک تونل دو طبقه می باشد که مقدار افزایش می تواند تا ۴۰ درصد بیش از هزینه یک تونل دو طبقه باشد.

۶-۳- هزینه و زمان تملیک و مشکلات اجتماعی آن

۶-۳-۱- هزینه تملیک

با اجرای دو تونل موازی نیاز به تملیک سطحی بیشتری نسبت به گزینه یک تونل دو طبقه می باشد. همچنین برای اجرای یک تونل دو طبقه که محور آن موازی محور خیابان اصلی باشد سطح مورد نیاز کاهش می یابد. اما با اجرای دو تونل موازی که اجرای آنها در محدوده کناری خیابان اصلی انجام خواهد گرفت نیاز به فضای بیشتری جهت تملیک است. بر اساس موارد ذکر شده هزینه تملیک گزینه دو تونل مجاور هم بیشتر از یک تونل دو طبقه می باشد. بر

تونل مجاور امکان پذیر است. شرایط ذکر شده برای تونل دو طبقه نیز صادق است و دسترسی به طبقه دیگر وجود دارد. به منظور امداد رسانی دسترسی گروه آتش نشانی با تجهیزات و ماشین آلات مربوطه و گروه امداد و نجات جهت کمک های اولیه و انتقال مصدومین توسط خودروهای امدادی بسیار حیاتی می باشد. در گزینه دو تونل موازی موارد ذکر شده با سرعت بیشتر انجام می گیرد اما در تونل دو طبقه به دلیل مشکلات تردد گروه امدادی از پله ها، کمک رسانی با محدودیت بیشتر و سرعت کمتر انجام می گیرد.

۵-۵- زیست محیطی

از عوامل مهم و تاثیرگذار بر آلودگی محیط زیست، آلودگی خروجی از دهانه تونل و شفت ها می باشد. با توجه به شرایط ترافیکی یکسان و مشابهت سیستم تهویه، میزان آلودگی دو گزینه و تاثیر آن بر محیط زیست تفاوتی ندارند. در حفاری با EPB مصالح حفاری به صورت خاک به بیرون حمل می شود اما در Slurry مصالح به صورت سیال خواهد بود از این رو برای مصالح حاصل از حفاری با Slurry احتیاج به حوضچه های رسوب گذاری می باشد. لذا مسایل زیست محیطی در زمان حفاری با Slurry پیچیده تر خواهد بود.

۵-۶- راه های فرار و نجات

دسترسی به سطح زمین از مسائل بسیار مهم در طراحی سیستم ایمنی تونل ها می باشد تا افراد حادثه دیده یا در معرض خطر را از نزدیکترین مسیر دسترسی از محل خارج کرد. در شرایط وقوع حادثه لازم است ابتدا افراد از محدوده حادثه به محل امن انتقال یافته و سپس از تونل خارج گردند. دسترسی به سطح زمین بسته به عمق تونل می تواند از طریق تونل یا چاه انجام گیرد. در هر صورت، بعلاوه افزایش عمق تونل دو طبقه، دسترسی به سطح زمین در این گزینه نیاز به طی مسیر طولانی تری دارد اما در گزینه دو تونل موازی دسترسی به سطح زمین کوتاه تر می باشد.

۵-۷- جمع بندی ایمنی و محیط زیست برای دو تونل

موازی و یک تونل دو طبقه

بر اساس موارد ذکر شده نتایج بررسی ایمنی و محیط زیست برای دو تونل موازی و یک تونل دو طبقه در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳- نتایج مقایسه ایمنی برای تونل دو طبقه و دو تونل موازی

آیتم	گزینه دو تونل موازی	گزینه یک تونل دو طبقه
سیستم تهویه	شرایط دو گزینه مشابه	شرایط دو گزینه مشابه
تجهیزات تهویه	شرایط دو گزینه مشابه	شرایط دو گزینه مشابه
آتش سوزی	شرایط دو گزینه مشابه	شرایط دو گزینه مشابه
امداد رسانی	امداد رسانی سریعتر و آسانتر (خروج افراد صدمه دیده آسانتر)	امداد رسانی کندتر و مشکل تر (خروج افراد صدمه دیده مشکل تر)

اساس بررسی‌های اولیه سطح مترائز تملیک دو گزینه مطابق جدول ۴ می باشد. با توجه به اینکه در تونل‌های مترو احداث تونل پائین‌تر از عمق ۱۸ متر از زیر ملک شخصی نیاز به خرید ملک ندارد، لذا بر این اساس در جدول ۴ هزینه تملیک برآورد شده است.

جدول ۴- مترائز مورد نیاز تملیک برای دو گزینه تونل

آیتم	زمین مورد نیاز جهت تملیک- با فرض احداث تونل جاده ای زیر ملک دیگران و ژائین تر از عمق ۱۸ متر مجاز باشد (m ²)	زمین مورد نیاز جهت تملیک- با فرض احداث تونل جاده ای دیگران مجاز نیست (m ²)
گزینه دو تونل موازی	۸۰/۰۰۰ - ۶۰/۰۰۰	۲۰/۰۰۰ - ۱۰/۰۰۰
گزینه یک تونل دو طبقه	۱۰/۰۰۰ - ۵/۰۰۰	ناچیز

جدول ۵- نتایج مقایسه ایمنی و محیط زیست برای تونل دو طبقه و دو تونل موازی

آیتم	گزینه دو تونل موازی	گزینه یک تونل دو طبقه
هزینه تامین تجهیزات (دستگاه حفاری TBM)	۲۰ درصد بیشتر گزینه تونل دو طبقه	کمتر از گزینه دو تونل موازی
هزینه ساخت تونل	۴۰ درصد بیشتر گزینه تونل دو طبقه	کمتر از گزینه دو تونل موازی
هزینه و زمان تملیک و مشکلات اجتماعی آن	بیشتر	کمتر
هزینه تملیک	۱۰ برابر گزینه تونل دو طبقه	کمتر از گزینه دو تونل موازی
زمان و مشکلات اجتماعی تملیک	بیشتر	کمتر
هزینه بهره برداری	برای دو گزینه تقریباً برابر	برای دو گزینه تقریباً برابر
مدت ساخت	برای دو گزینه تقریباً برابر	برای دو گزینه تقریباً برابر

۶-۳-۲- زمان و مشکلات اجتماعی تملیک

با توجه به عبور تونل صیاد از مناطق شهری و بازار با کاربری عمدتاً تجاری، نیاز به زمان بسیار طولانی برای تملیک ساختمان‌های سطحی می‌باشد. همچنین مشکلات اجتماعی این امر نیز می‌تواند شرایط نامناسبی را در مدیریت شهری و عملیات اجرایی تونل ایجاد نماید. براین اساس زمان و مشکلات تملیک گزینه دو تونل موازی بیشتر از یک تونل دو طبقه می‌باشد.

۷- پروژه های مشابه دنیا

پروژه‌های مشابه و تجربیات انجام شده در جهان می‌تواند جهت اخذ تصمیم‌ها و انتخاب‌های مهم در این پروژه مورد استفاده قرار گیرد. تونل‌های دو طبقه ساخته شده و یا در دست ساخت در جهان کم بوده اما تعداد تونل‌های یک طبقه دو قلو فراوان می‌باشد.

از تونل‌های دو طبقه می‌توان به A86 فرانسه، Smart مالزی، M30 اسپانیا، Chongming چین، Alaskan Way bored tunnel در آمریکا و Gigantic Tunnel در روسیه اشاره کرد. همچنین از تونلهای دوقلوی یک طبقه می‌توان به تونل‌های Tokyo outer ring road و Metropolitan Expressway، Shingawa Route ژاپن، Wellington Urban Motorway و Bonaventura Strassenerhal Tungs نیوزیلند، و Kaisermuhlen اتریش و... اشاره کرد.

۸- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به موارد ارائه شده، جمع‌بندی کلی مطابق جدول ۶ ارایه می‌گردد. براساس آنچه در جدول ۶ نیز ارایه شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که:

- دو تونل موازی یک طبقه ایمن‌تر از یک تونل دو طبقه است. ولی

۶-۴- هزینه بهره برداری

هزینه بهره‌برداری تونل‌های راه شامل هزینه‌های مرمت جاده، برق سیستم تهویه و روشنایی، هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات ایمنی می‌گردد که بطور متوسط حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد هزینه ساخت تونل می‌باشد که با توجه به اینکه تجهیزات دوره بهره‌برداری دو گزینه تفاوت زیادی ندارند لذا اختلاف هزینه بهره‌برداری دو گزینه نیز قابل توجه نمی‌باشد.

۶-۵- مدت ساخت

در صورتیکه اجرای دو تونل موازی با یکدیگر شروع گردد، زمان ساخت یک متر طول تونل دو طبقه بیشتر از زمان ساخت یک متر طول دو تونل موازی می‌باشد. اما با توجه به محدودیت زمانی پروژه‌ها، گزینه‌ها باید در زمانی مشخص به پایان برسند لذا تاثیر عامل مدت ساخت برای دو گزینه یکسان می‌باشد.

۶-۶- جمع بندی هزینه ساخت و زمان اجرا

بر اساس موارد ذکر شده می‌توان نتایج بررسی‌ها را در جدول ۵ به طور خلاصه ارائه کرد.

- اگر تصمیم‌گیری با فرض قوانین جاری مملکت انجام شود، مشکلات تملیک زمین و اماکن سطحی در این پروژه آنقدر زیاد است که گزینه تونل دو طبقه به نسبت اجباری می‌شود.

جدول ۶- جمع بندی و نتیجه نهایی انتخاب یک تونل دو طبقه یا دو تونل موازی یک طبقه

گزینه یک تونل دو طبقه	گزینه دو تونل موازی	آیتم
مناسب تر	مناسب	مقایسه عمومی تونل یک طبقه و دو طبقه
مشکلات بیشتر	مشکلات کمتر	عملیات اجرایی تونل دو طبقه و یک طبقه
مناسب تر	در مجموع شرایط دو گزینه مشابه اما مناسب	ایمنی و محیط زیست برای دو تونل موازی و یک تونل دو طبقه
کمتر	بیشتر	هزینه ساخت و زمان اجرا
کمتر	بیشتر	پروژه های مشابه ساخته شده و در دست اجرا دنیا
اولویت دوم	اولویت برتر	گزینه مناسب و پیشنهادی

تونل دو طبقه با مشخصات مورد نظر برای تونل صیاد گزینه‌ای امکان‌پذیر است.

- هزینه اجرایی دو تونل دو قلوئی یک طبقه حدود ۲۵ درصد بیش از یک تونل دو طبقه می‌باشد.

- مزیت اصلی تونل دو طبقه (به خصوص در این پروژه) آن است که مشکلات و هزینه‌های تملیک اماکن و مستحقات سطحی در آن کمتر است.

- گزینه استفاده از تونل دو طبقه، گزینه‌ای است که به لحاظ مشکلات تملیک به این پروژه قابل تحمیل است. اگر قانونی مشابه تونل‌های مترو برای تونل‌های جاده‌ای درون شهری وضع شود که نیاز به تملیک مستحقات سطحی را برای تونل‌های عمیق تر از ۱۸ متر رفع نماید استفاده از تونل دو طبقه توصیه نمی‌شود.

- اگر امکان وضع قانون مشابه تونل‌های مترو (عدم نیاز به تملیک مستحقات سطحی برای تونل‌های عمیق تر از ۱۸ متر) نباشد، گزینه تونل دو طبقه با وجود مشکلات فنی پذیرفته می‌شود.

- اگر گزینه تونل دو طبقه پذیرفته شود، می‌توان با محدود کردن تعداد خطوط ترافیکی به دو خط رفت و دو خط برگشت، مشکلات اجرایی را به میزان زیادی کاهش داد. زیرا قطر تونل در این صورت حدود ۱۲ متر می‌شود.

- توصیه می‌گردد که موضوع وضع قانون مشابه تونل‌های مترو برای تونل‌های جاده‌ای در اسرع وقت بین مسئولین محترم شهرداری و شورای شهر و مراکز قانون گذاری مطرح شود.

مراجع

- [۱] علیزده، حمیدرضا و همکاران؛ طرح امکان‌سنجی تونل دو طبقه در مقایسه با تونل یک طبقه ، 1046 EN ES EST 0050 B0 ، شرکت مهندسی مشاور هندسه پارس- سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران ، ۱۳۸۹ .