



انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران

مقالات ارزشمند دریاژدهمین همایش چهارمین نمایشگاه حمل و نقل ریلی

لبوهای وارده بر سازه های زیرزمینی

با نگرشی بر

بارگذاری زلزله برای تونل و ایستگاه های مترو

سید قوام الدین مسینی^۱

نام و نام خانوادگی: عباس اکبریور^۲

چکیده

مسائل سازه ای تعیین کننده ترین مشخصات پروژه های زیرزمینی است. این سازه ها نسبت به سازه های روزمینی نکات مهم بیشتری دارند و بدست آوردن نیروهای وارده و پارامترهای مؤثر در آن با تقریب زیاد همراه است. از طرف دیگر به علت پیچیدگی برآورد برخی از بارهای وارده در آنالیز و طراحی سازه های زیرزمینی مسائل خاصی بوجود می آید. در این مقاله سعی شده است بارهای وارده مصرفی و میزان آنها مطابق آئین نامه ها، مقالات و تحقیقات جدید و یا توصیه های تجربی ارائه گردد.

اثر زلزله در سازه های زیرزمینی سالهاست که مورد بحث محققین می باشد زیرا علاوه بر پارامترهای مؤثر در زلزله همچون سازه های روزمینی، نحوه پاسخ و عملکرد یک سازه مدفون در هنگام زلزله بسیار پیچیده است. تعیین شتاب طرغ، نحوه عملکرد سازه، اندرکنش خاک سازه، قابلیت شکل پذیری و ... نکاتی هستند که در بخش طراحی سازه های زیرزمینی مورد بحث می باشد. بررسی های تحقیقاتی و مطالعاتی در این زمینه کمتر به نتایج قطعی رسیده است. طبیعت نامشخص رفتار خاک به نمو قابل توجهی باعث شده است که روش مدون و تثبیت شده یکسانی برای سازه های زیرزمینی وجود نداشته باشد. بررسی کیفی بر روی روش های برآورد نیروهای زلزله به روش انعطاف پذیری و ارائه راه حل ساده که منطبق بر تئوری لازم باشد، از اهداف این مقاله بوده است.

کلمات کلیدی

بارگذاری، طراحی لرزه ای، سازه های زیرزمینی، تونل، مترو، انعطاف پذیری

6) - مدرس مدعو دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب -

1 - فوق لیسانس سازه دانشگاه امیرکبیر - شرکت مترو (خط

mahdavi_hoseini@yahoo.com

2 - فوق دکترای زلزله - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب - عضو هیأت مدیره سازمان نظام مهندسی - abbasakb@azad.ac.ir

بهترین نرم افزار
بهترین حمل و نقل



1- مقدمه

اصولاً در مورد کلیه بارهای وارده بر سازه‌های زیرزمینی هنوز یک آئین نامه مدون، قطعی و مورد توافق وجود ندارد. ممققین بسیاری نظراتی بعضاً متفاوت و متناقض با یکدیگر ارائه نموده‌اند. انتخاب صمیم این بارها از طرفی به اقتصادی شدن طرح کمک بسیاری خواهد نمود و از طرف دیگر ماشیه ایمنی لازم را جهت بهره برداری تأمین می‌کند.

با وجود اینکه اثر نیروهای زلزله روی سازه‌های زیرزمینی همانند تونل و ایستگاه‌های مترو کم اهمیت تر از سازه‌های روزمینی است، کنترل طراحی این سازه‌ها در مقابل حرکت زمین مین وقوع زلزله امری اجتناب ناپذیر است. توسعه روزافزون سازه‌های زیرزمینی و هزینه‌های فراوانی که برای ساخت هر یک از این سازه‌ها صرف می‌گردد، و نیز اهمیت آنها در شبکه ممل و نقل شهری و فطری که در صورت آسیب دیدگی آنها متوجه مردم می‌شود، ضمناً عمر مفید مورد انتظار مدود یکصد ساله، طراحان را ملزم می‌کند که پایداری آنها در برابر فطرات ناشی از زلزله را مورد مطالعه قرار دهند. در برآورد نیروی زلزله دو هدف مدنظر است یکی هنگامی است که سازه طراحی می‌گردد تا سافته شود و مربوط به بمت حاضر می‌باشد. هدف دیگر این است که برای تونل و یا هر سازه زیرزمینی موجود می‌فواهم بررسی آسیب پذیری در برابر زلزله انجام دهیم و پیچیدگی‌های خاص خود را دارد، زیرا موضوعات ارزیابی و تحلیل ریسک و همچنین سطوح عملکرد، اهداف بهسازی و معیارهای پذیرش پیش می‌آید که از موضوع این بمت خارج است و نیاز به مطالعات تکمیلی دارد.

2- معرفی بارها

در ابتدا مبانی و منشأ بارها باید روشن باشد تا در مراحل بعد مدل سازی، آنالیز و طراحی با جزئیات هر بخش انجام گیرد. بارگذاری براساس آئین نامه انجام شده، که به دو دسته اصلی بار مرده و زنده تقسیم بندی می‌شود. در بخش بار مرده تقسیمات زیرسازی، وزن پرکننده‌ها، تأسیسات ریلی، دیوارهای تقسیم کننده و پارکیشن‌ها، دستگاه‌های ثابت تأسیسات و وزن مرده فاک و در بخش بار زنده تقسیمات سربارهای سکوها و راهروها تجاری، تأسیسات، ترافیک سطح فیابان، تردد قطار، فشار فاک، بار مستمدتات سطح زمین، بارهای ناشی از حرارت، خزش، کرنش و نهایتاً بار زلزله وجود دارد. برای آئین نامه‌های مورد استفاده در صورت وجود آئین نامه‌های ایران مبمت ششم 519، آب، 139، 463، 360، 2800 و ... و همچنین آئین نامه‌های EURO CODE, BS, DIN, AISC, ACI و آئین نامه ژاپن و همچنین توصیه‌های مهندسی مشاور سوپرتو (سیسترا)، تمقیقات انجام شده در شرکت متروی تهران (دفتر فنی) و آخرین نشریات و مقالات فنی استفاده می‌گردد.

2-1- بار مرده

مبنای بارگذاری بار مرده مبمت ششم مقررات ملی ساختمان و آئین نامه 519 می‌باشد. برای محاسبه

بهترین نرم افزار
بهترین حمل و نقل



این بارها کافی است وزن هریک از قسمت‌ها را با توجه به جزئیات سازه و معماری و همچنین وزن مخصوص موجود در آئین نامه بدست آورد.

2-1-1- زیرسازی

جزئیات زیرسازی ریل قطار در محل ایستگاه‌ها در سال‌های اخیر چندین بار تغییر نموده و در حال حاضر زیرسازی ریل قطار توسط بتن پرکننده (زیرسازی بدون بالاست) انجام می‌پذیرد. بار مرده این بخش با توجه به ارتفاع بتن و وزن مخصوص آن تعیین می‌شود.

2-1-2- تیغه‌ها و پارتیشن‌ها

برای اعمال بار تیغه‌ها به دو صورت عمل می‌شود. یکی در نظر گرفتن میانگین وزن بر واحد سطح و به عنوان بار مرده که به بار مرده اضافه می‌شود و دیگری مناسبه دقیق وزن هریک از تیغه‌ها و اعمال بار فطری حاصله در قسمت مربوطه است که این روش دقیق‌تر است و برای پلان‌هایی که تغییرات در آن‌ها کمتر است و محل تیغه‌ها از قبل قطعی و مشخص است، عمل می‌گردد.

2-1-3- وزن وسایل نصبی ثابت

میزان بار فاضی توصیه نمی‌گردد و شامل وسایل بهداشتی، لوله‌ها، شبکه‌های آب و فاضلاب و برق می‌باشند. در ارتباط با فضاهای ویژه تأسیساتی که وزن دستگاه‌ها قابل توجه می‌باشد، به عنوان بار زنده در نظر گرفته می‌شود و با توجه به ضریب بار زنده نسبت به ضریب بار مرده، ضریب اطمینان کافی را تأمین می‌نماید.

2-1-4- وزن فاک

بار ثقلی ناشی از وزن فاک با توجه به روش سافت زیرزمینی، ترانشه باز و ... همچنین میزان تراکم پذیری فاک پیرامونی، عمق فاک موجود و داشتن وزن مخصوص آن (با توجه به گزارش مکانیک فاک) قابل محاسبه است. در ارتباط با بار جانبی ناشی از وزن فاک بایستی به معیارهای تشفیص نوع فشار فاک توجه نمود و با توجه به تئوری‌های موجود میزان بار قائم و بار جانبی ناشی از فشار فاک را بدست آورد. در مورد پدیده قوسی شدن فاک در ادامه بحث فواید شد.

برای اعمال بارهای جانبی ناشی از فشار فاک نیز لازم است نوع فشار فاک ACTIVE ، PASSIVE و یا ATREST مشخص گردد. باید اذعان داشت در طراحی سازه‌ها برای تحمل فشار جانبی فاک یکی از مهمترین فرضیات در همین مرحله انتخاب می‌گردد. معیارهای تشفیص نوع فشار فاک در بخش بار زنده فاک بحث فواید شد.

2-2- بار زنده

بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



بر اساس آئین نامه های معتبر مذاکرات میزان باری که ممکن است در مین سافت و بهره برداری به سازه تکمیل گردد مشخص خواهد شد. در پروژه های خاص همچون مترو ضوابط مدون و قطعی برای این بارها وجود ندارد. کشورهای مختلف با توجه به تکنولوژی موجود، ظرفیت محور قطارها، ملامطات معماری، مشخصات سافتگاه، ژئوتکنیک و سایر پارامترها، بارهایی را پیشنهاد کرده اند.

در کشور ما مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بعضی از این بارها را ارائه کرده که مطمئناً در بسیاری موارد با بارگذاری واقعی تونل های مترو مغایرت خواهد داشت. در آئین نامه های 139 و 463 نیز بمتی از مترو به صورت فاص به میان نیامده است.

مهندسین مشاور فرانسوی سوفرتو (سیسترا) که مطالعات چندین خط مترو و همچنین مطالعات جامع ممل و نقل ریلی تهران را انجام داده اند نیز بارهایی را پیشنهاد نموده که در بعضی از خطوط مبنای بارگذاری و طراحی بوده است. در قالب پروژه های تحقیقاتی و علمی نیز برنی از صاحب نظران اظهار نظر نموده اند و نهایتاً مهندسین مشاور طراح نیز طبق تجربیات بدست آمده که منتج از مدلسازی و بارگذاریهای مختلف می باشد، هرکدام فرضیات و بارگذاری های جداگانه ای را مدنظر قرار می دهند.

2-2-1- سکوها و سالن فروش بلیط

این فضاها چون ممل اجتماعات و تراکم جمعیت است بار 660 کیلوگرم بر مترمربع برای آن پیشنهاد شده است. در مشخصات فنی سوفرتو نیز همین بار زنده درج شده است. اخیراً به دلیل مشاهده تراکم جمعیت فوق العاده در بخش هایی از ایستگاه (مانند سکوها، سالن بلیط و ...) سربار 750 کیلوگرم بر مترمربع توسط مشاورین طراح پیشنهاد گردیده است.

2-2-2- فضاهای تجاری

اگرچه در آئین نامه ایران بار 500 کیلوگرم بر مترمربع برای فضاهای تجاری در نظر گرفته شده لیکن با توجه به عدم قطعیت این فضا جهت کاربری پیش بینی شده و هماهنگی با سایر فضاها همان میزان 750 کیلوگرم بر مترمربع جهت سربار بخشهای تجاری پیشنهاد می گردد.

طبیعی است سایر بخشها از جمله پله های دسترسی نیز شامل چنین بار زنده ای خواهند بود. در نتیجه استفاده از بار 750 کیلوگرم بر مترمربع برای کلیه فضاهای تجاری، سکوها، سالن فروش بلیط و پله ها معقول و منطقی است و ضمناً از افتلاف در بارگذاریها می کاهد.

2-2-3- فضاهای تأسیساتی

سربار این بخش بستگی کامل به تأسیسات خاص دارد. دستگاه های تأسیساتی با وزن ها و بارهای متفاوتی در این فضاها وجود دارد و چون ممل قرارگیری آنها از ابتدا مشخص و ثابت نیست، سربار 1500 کیلوگرم بر مترمربع پیشنهاد می گردد. ضمناً مهندسین مشاور سوفرتو نیز همین بار پیشنهاد کرده است.

بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



2-2-4- تأثیر عبور ترافیک

رویه متداول در بارگذاری تونل‌ها و ایستگاه‌های مترو اثر محور و سائت نقلیه بر روی بستر الاستیک (فاک) می‌باشد و مطابق با مشخصات فنی مهندسیین مشاور سوپرتو برابر با 2 تن بر مترمربع پیشنهاد شده است. اما به لحاظ تأثیر هرگونه ضربه ناشی از عبور و مرور ضریب $1/2$ نیز به عنوان ضریب ضربه و تبدیل بار دینامیکی به بار استاتیکی پیشنهاد می‌گردد. این اثر وقتی تعیین کننده است که عمق فاک روی تونل کم باشد زیرا اثر ضربه بیشتر فواید شد. در هر حال جهت امتراز از هرگونه لرزش و یا تغییر شکل‌های اضافی این ضریب بهتر است اعمال گردد و بار $2/4$ تن بر مترمربع را به عنوان سربار ناشی از عبور ترافیک در نظر گرفت.

2-2-5- بارگذاری قطار

بارهای وارده کاملاً تابع نوع قطارهای شهری (LRT) فریداری شده می‌باشد. لذا بار نهایی باید توسط کارفرما به مهندسیین مشاور اعلام گردد که شامل بارهای بهره برداری با اثر ضربه، بارگذاری خروج از خط و بارهای گریز از مرکز و تأثیر نوسانات جانبی می‌باشد. مساسیت بار عبور قطار وقتی است که ایستگاه تقاطعی باشد و در ایستگاه‌های یک طبقه تأثیر کمتری دارد. بار قائم با در نظر گرفتن ضریب ضربه می‌باشد و بار جانبی ناشی از خارج شدن از خط برای 40 درصد وزن یک واگن توصیه می‌گردد و نهایتاً بار گریز از مرکز مطابق آئین نامه بارگذاری پل‌ها با در نظر گرفتن سرعت و شعاع قوس مناسبه می‌گردد.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



2-2-6- بارهای جانبی ناشی از فشار خاک

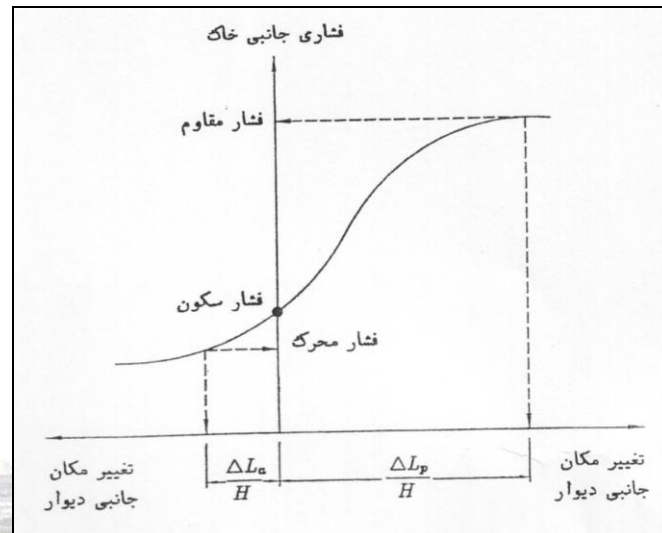
امروزه در پروژه‌های بزرگ با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری دقیق و مدلسازی در محل کارگاه فشار واقعی خاک تعیین گردیده و با استفاده از نتایج آزمایشگاه، ضرایب و روابط مورد استفاده اصلاح و تعدیل می‌گردد.

میزان تغییر شکل‌ها، نوع فشار خاک را تعیین می‌کند. بخشی از این تغییر شکل می‌تواند در خاک و یا سازه پدید آید. مقادیر تغییر مکان جانبی حداکثر لازم برای رسیدن به حالت متمرک Active و یا مقاوم Passive در جدول زیر داده شده است.

نوع خاک	$La/H\Delta$	$LP/H\Delta$
ماسه شل	0.001 - 0.002	0.01
ماسه متراکم	0.001 - 0.005	0.005
رس نرم	0.02	0.04
رس سفت	0.01	0.02

جدول شماره 1) تغییر مکان جانبی لازم جهت فعال شدن فشار خاک در حالت ACTIVE و یا PASSIVE

در جدول فوق H ارتفاع دیوار و $La\Delta$ تغییر مکان بالای دیوار در حالت ACTIVE و $Lp\Delta$ تغییر مکان بالای دیوار در حالت PASSIVE می‌باشد.



بهترین نرم افزار
بهترین حمل و نقل



به دلیل میزان حرکت کمی که می‌تواند فشار وارد به سازه‌ها را از حالت درجا (ATREST) به حالت رانش (ACTIVE) تبدیل نماید، اغلب محققین معتقد هستند که فشار وارده که در ابتدا ممکن است تا مد فشار درجا باشد، می‌تواند تعدیل یافته و به فشار فعال تبدیل شود. البته اگر سازه مورد نظر دارای صلبیت زیاد بوده یا بصورت قابی پیوسته با صلبیت نسبتاً بالا باشد که معمولاً سازه‌های ایستگاهی و تونل‌های مترو اینچنین هستند. نیروی وارده از فاک به سازه در محدوده فشار درجا (ATREST) باقی می‌ماند و چون این نیرو بیشتر از نیروی حالت رانش فعال (ACTIVE) می‌باشد بهتر است ملاک طراحی قرار گیرد.

از طرفی ترتیب اجرای کار نیز می‌تواند تعیین کننده باشد. مثلاً اگر فاکریز پشت دیوارهای سازه‌های ایستگاهی و مشابه قبل از اجرای سقف انجام پذیرد می‌توان فشار ممرک را برای طراحی در نظر گرفت. نهایتاً پارامترهای نوع فاک، مشخصات مکانیکی استاتیکی و دینامیکی فاک، نوع وسیله و روش تراکم، درجه حرارت محیط در هنگام فاکریزی و بارگذاری‌های سنگین در مدت زمان بهره‌برداری نیز در تشریح نوع فشار فاک مؤثر می‌باشند. مطابق توصیه آئین نامه‌ها در سازه‌های قابی شکل برای اینکه در محاسبه لنگر مثبت وسط دهانه اثر مثبت بارگذاری قرینه فاک ملاحظه نگردد، باید یکبار با ضریب فشار جانبی فاک در جا و یا فعال (هرکدام که حاکم باشد) و یکبار هم با یک دوم آن سازه تحلیل شود.

لازم است بدانیم به مرور زمان و در اثر اعمال فشارهای ناشی از لایه‌های فوقانی و تمکیم‌های آتی احتمال رسیدن فشار جانبی به مد فشار جانبی درجا (ATREST) وجود دارد. در نتیجه برای اینکه سازه در فطر نباشد استفاده از فشار جانبی درجا ماشیه ایمنی مناسبی را ایجاد می‌کند.

$$P_0 = \gamma H K_0 \quad K_0 = 1 - \sin \phi$$

P_0 تنش جانبی فاک در عمق مورد نظر، K_0 ضریب فشار جانبی فاک در حالت درجا، γ وزن مخصوص فاک، H عمق مورد نظر، ϕ زاویه برش داخلی فاک

2-2-7- بار ناشی از مستمدتات

اثرات متقابل سازه‌های ایستگاهی و یا تونل با سازه‌های موجود ایجاب می‌کند که مسائل فاص از جمله بارگذاری این اثر و کنترل حداکثر نشست در نظر گرفته شود. از نقطه نظر سازه‌ای اساساً تأثیر مستمدتات را باید بصورت افزایش فشار قائم و جانبی ناشی از بار فونداسیون سافتمان‌های مجاور در نظر گرفت. میزان بار وارده

بهترین نرم افزار
بهترین حمل و نقل



بستگی به وزن و ارتفاع سافتمانها دارد. این بارگذاری توسط بازدید و بررسی محلی و مطالعه نقشه های موجود آن ها با توجه به تعداد طبقات و کاربری و نهایتاً پیش بینی سافت و ساز در سالهای آتی تعیین می گردد. این بار به عنوان بار مرده و یا درصدی از آن به صورت بار زنده ممکن است در نظر گرفته شود.

بطور متوسط سافتمان های موجود غالباً از 5 و یا 6 طبقه تجاوز نمی کند و در مورد سافتمان های آبی نیز سافتمان سازی در مجاورت ایستگاه و تونل های مترو دارای محدودیت است و توسط شهرداریها اجازه سافت بناهای مرتفع داده نمی شود. در صورتی که این سافتمانها زیرزمین داشته باشند به ازاء هر طبقه زیرزمین که فاکتورگیری شده است، حداقل وزن دو طبقه از وزن فاکتورگیری شده می شود. لذا اگر فرض بر وجود پنج طبقه باشد باری معادل پنج تن بر مترمربع بصورت قائم در نظر گرفته خواهد شد. ضمناً علاوه بر وجود این بار به عنوان سربار قائم، بصورت افقی نیز با تأثیر K_0 بر دیوارها بصورت یکنواخت اثر خواهد کرد. سازه های فاص مانند سافتمانهای مرتفع و برج ها، پل ها و تقاطع های غیر همسطح، کانال ها و ... اثرات و بارهای موضعی دارند که باید در نظر گرفته شود و از همه مهمتر اثر عبور تونل و یا امداد ایستگاه در زیر و مجاورت این سازه ها باید بصورت دقیق بررسی و میزان نشست در زیر این سازه ها کنترل گردد.

2-2-8- بار ناشی از تغییر درجه حرارت

سازه های زیرزمینی چون در معرض تابش خورشید نیستند، تغییرات درجه حرارت زیادی ندارند و معمولاً بارهای قابل توجهی از این بابت بر آنها وارد نمی گردد. برای تغییر دمای یکنواخت نسبت به زمان سافت آئین نامه های طراحی حداقل 10 درجه سانتیگراد را لازم دانسته اند که توصیه می گردد یکبار با علامت مثبت و یکبار با علامت منفی به سازه اعمال گردد. گرادیان حرارتی نیز که اختلاف درجه حرارت مقطعاتی است که بخشی از آنها دفن شده است به میزان حداقل 7 درجه سانتیگراد توصیه می گردد.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



2-3- بارگذاری زلزله

محدود شدن سازه توسط توده مترجم فاک و در نتیجه محدود شدن تخریب مکانها و نوسانات مین زلزله و از طرف دیگر بالا بودن ضریب استهلاک (Damping Factor) در فاک که قسمت عمده ای از انرژی ارتعاشات سازه را از بین می برد باعث کاهش اثرات زلزله بر روی این سازه ها در مقایسه با اثر زلزله در شرایط مشابه بر سازه های سطحی می شود. با توجه به عمر مفید بالاتر سازه های زیرزمینی نسبت ساختمان های دیگر، زلزله طرح آن نیز بایستی با دوره بازگشت طولانی تری انتخاب گردد در نتیجه احتمال آن که در معرض زلزله های شدیدتری باشیم بالاتر می رود و از طرفی می دانیم جبران فسارت و تعمیرات این سازه ها گران تر خواهد بود.

در اثر رها شدن تنشها در نقطه ای از لایه سنگی زمین، انرژی ناشی از آن به صورت یک سری امواج عرضی و طولی به اطراف منتشر می شود. این امواج در برافورد با سازه های امداد شده باعث ایجاد شتاب های رانشی در جهات افقی و قائم خواهند شد. تنشها و کرنش هایی که در اثر برافورد با این امواج در سازه ایجاد می شود بستگی به فاصله از کانون زلزله، زاویه برافورد این امواج با سازه، و لایه های مختلفی که در مسیر آنها قرار دارد، خواهد داشت. مهمترین این امواج، موج برشی است که ارتعاشات آن عمود بر جهت انتشار بوده و روش های آنالیز در طراحی موجود نیز عمدتاً تأثیرات این موج را در نظر دارند.

به علت وجود درز انبساط در فواصل کم (که سازه را از حالت طولی خارج می سازد) و نیز به لحاظ وجود سفتی بالای دیوارهای طرفین، ملاحظات خاصی را در جهت طول ایجاد نمی کند و لذا قسمت عمده بررسی های انجام شده اثرات عرضی زلزله را بر سازه اصلی دربر می گیرد. در بخش بعد تحلیل لرزه ای سازه های زیرزمینی بطور کامل بحث خواهد شد.

3- سایر بارها

بارگذاری آب (در صورت بالات بودن تراز آبهای زیرزمینی) و یا تأثیر اشباع شدن توده فاک در فصل بارندگی و ترکیدن لوله های آب شهری، بارگذاری انفجار و سایر بارگذاری ها طبق آیین نامه های معتبر در نظر گرفته شود.

4- نقش وضعیت فاک بر بارهای مؤثر

مهمترین بار وارد بر سیستم نگهداری تونل، بار ناشی از فاک موجود در بالای آن است. این بار برابر است با وزن ارتفاعی از فاک که پس از امداد تونل تمایل به ریزش دارد. در عمل به علت تشکیل پدیده طاق (Arc Action) بخش عمده ای از وزن فاک روبراه به دیواره های فاک دو طرف تونل منتقل می شود که به سیستم

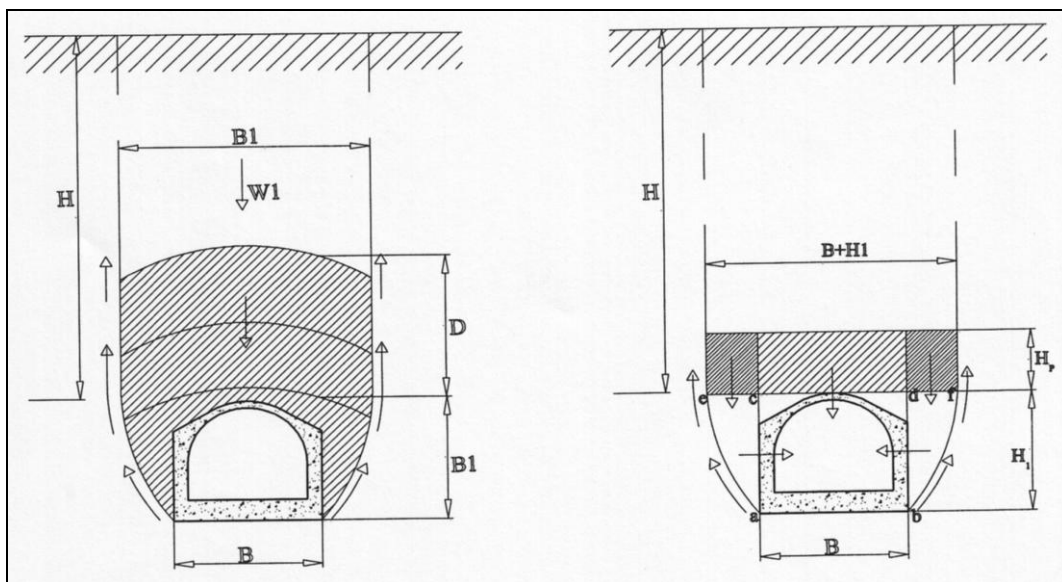
بهترین نرم افزار
بهترین حمل و نقل



نگهداری، مشفصات ژئوتکنیکی و تکتونیک فاک وابسته است. فشار فاک از همه سو، تخریب شکل های پلاستیک را به مقطع تونل تممیل می کند. در این حالت اگر سیستم نگهداری در تونل نصب نشود، این فشار موجب همگرایی تونل می شود و این عمل آنقدر ادامه می یابد که تونل به کلی مسدود می گردد.

4-1- پدیده تشکیل طاق در فاک ها

تجربه نشان می دهد بار وارد بر سقف سیستم نگهداری موقت و یا متی لاینینگ نهایی تونل تنها درصد اندکی از وزن فاک های بالای تونل را تشکیل می دهد. در این مورد اگر ضفامت روباره تونل بیش از 1/5 برابر مجموع عرض و ارتفاع تونل باشد، در این صورت بار وارد بر سیستم نگهداری مستقل از عمق تونل فواهد بود. این امر به علت تشکیل پدیده طاق در بخش بالای تونل است.



شکل 2- فرایند تشکیل طاق در تونل و بارهای موجود در آن

4-2- روش مدلسازی

تئوری های زیادی در مطالعات و مدلسازی سیستم سازه و فاک ارائه گردیده که هرکدام مبتنی بر پایداری سازه زیرزمینی و توده فاک بر اساس تجربه و اندازه گیری رفتارهای فاک بوده و دارای نقاط ضعف و قوتی می باشند. با پیشرفت رایانه و روش های عددی بسیاری از این روش ها کاربردی نخواهند داشت.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



تئوری‌های ترزاقی (Terzaghi)، بیربومر (Bierbaumer)، میلارت (Millart)، ازتو (Eszto)، بالا (Balla)، ساکت (Suquet) و ... به صورت دو بعدی و یا سه بعدی با بارگذاریهای دینامیکی و یا استاتیکی روابطی را ارائه کرده اند.

در روش استاتیکی سازه تحت اثر نیروهای معادل با شتاب افقی (و بعضاً قائم) زلزله که به صورت استاتیک به سیستم اعمال می‌شود، تحلیل می‌گردد که البته واضح است که همراه با تقریب فواید بود و چنین تقریبی در بسیاری از روشهای محاسبات پذیرفته شده و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در روش دینامیکی که در سال‌های اخیر در سطح تحقیقاتی و در مواردی نیز به شکل کاربردی مطرح شده است، مدل سازه و خاک تحت اثر تاریخی زمانی شتاب زلزله طرح که در بستر سنگی اعمال می‌شود مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. روش دینامیکی دارای مجموعه کار بیشتری از کار نسبت به روش استاتیکی می‌باشد. در آنالیز دینامیکی، نتایج بدست آمده و خصوصاً تغییر شکل‌های مربوط به آن، مساسیت بیشتری (در مقایسه با آنالیز استاتیکی) به مراحل اجرای کار و خواص مکانیکی اجزاء بکار رفته، دارند.

5- بررسی تأثیر زلزله بر روی تونل‌ها

می‌توان گفت نیروهای زلزله تعیین کننده ابعاد اصلی یک سازه مدفون در خاک نیست، زیرا خاک در مقایسه با سازه مدفون، بقدری سفت است که به خاطر تغییر شکل آن فسارت عمده ای به سازه وارد نمی‌شود ولی مساسیت این سازه به عنوان سازه فاص و جمعیت قابل توجه استفاده کننده آن و نیز طول عمر بالای این سازه باعث می‌شود که توجه بیشتری به نیروهای دینامیکی در طول عمر مفید آن مبذول گردد.

اثرات حرکت زمین هنگام زلزله روی سازه‌های زیرزمینی به سه دسته کلی فممش طولی (Longitudinal bending)، تغییر شکل‌های طولی (Compression Extension) و اعوجاج (Ovaling) که تغییر شکل داخل صفحه ای مقطع سازه است، طبقه بندی می‌گردد. کرنش‌های بوجود آمده در سازه بر اثر فممش طولی و تغییر شکل‌های طولی معمولاً بر مبنای مدل تیر در بستر ارتجاعی و در نظر گرفتن محیط به صورت فنرهای معادل فطی و یا غیر فطی قابل تحلیل می‌باشد. تحلیل آن پیچیده و نتیجه آن در طراحی اهمیت زیادی ندارد زیرا اجتناب از کرنش‌های طولی به وسیله تعبیه درزهای ساختمانی در فواصل مناسب در طول تونل به سهولت امکان پذیر است.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل

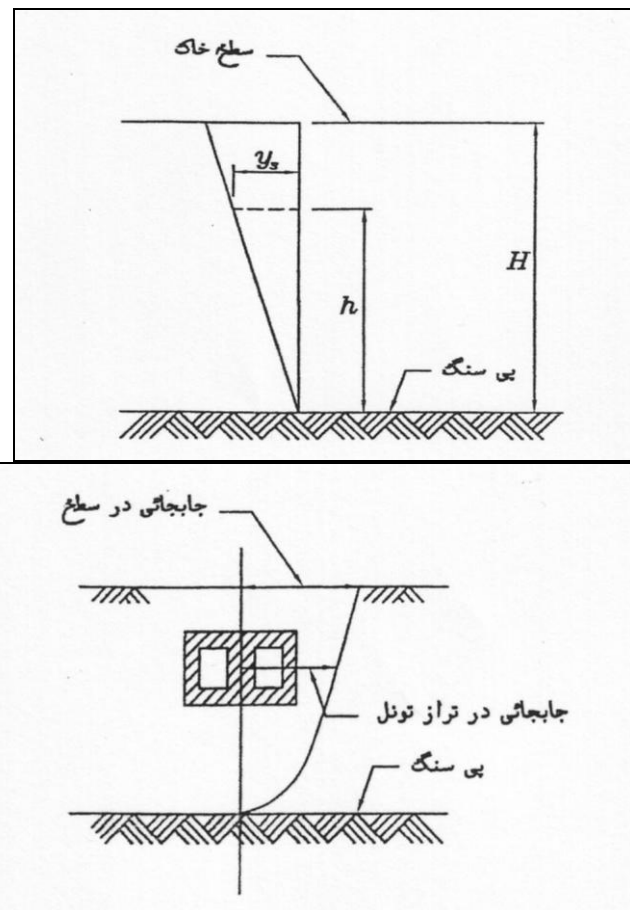


مقالات ارزشمند در یادداشت‌های چهارمین نمایشگاه حمل و نقل ریلی

اصولاً مبنای نیرویی در تحلیل و طراحی سازه‌ها جای خود را به طراحی براساس عملکرد (Performance based design) و یا مبنای کرنشی و قابلیت تغییر شکل و متی روش‌های مختلف (Complex design) داده است از این رو تأکید بر "مقاومت سازه" به تأکید بر "مقاومت و شکل پذیری" سازه‌ها تغییر یافته است.

5-1- روش انعطاف پذیری Ductility و یا اعوجاج

روش‌های مبتنی بر انعطاف پذیری که به چند حالت دسته بندی شده اند به جای مناسبه مستقیم فشارهای وارده از سوی خاک و یا شتاب اعمال شده در زلزله، تغییر شکل‌های ناشی از زلزله را که با در نظر گرفتن مشخصات ژئوتکنیک و مکانیک خاک ممل و با توجه به زلزله مبنای طرح مشخص می‌شوند، را در نظر می‌گیرند. این تغییر شکل‌ها عمدتاً در اثر انتشار امواج برشی از بستر سنگی به سمت بالا ایجاد می‌شود. هر اندازه قطر لایه فاکس کم باشد، ماکزیمم شتاب بیشتر خواهد بود (شکل 3).



شکل 3- تغییر شکل‌های سازه زیرزمینی نسبت به فاصله از سنگ بستر

بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



ملاحظه می‌گردد مقاطع تونل و ایستگاه‌ها در قسمت فوقانی و تحتانی تمت اثر دو مقدار متفاوت شتاب قرار خواهد داشت. در نتیجه تغییر مکان این نقاط نیز متفاوت خواهد بود. در حالت کلی یک دوران در سیستم فاک - سازه و در نهایت باعث دوران گره‌های آن خواهد شد. این فرضیه اساس ایجاد روش تأمین انعطاف پذیری در گره‌های سازه است که پروفسور KERISEL در رابطه با متروی تهران انجام داده است و پیشنهاد دوران قاب برابر 3×10^{-3} رادیان را با فرض عمق 100 متر برای سنگ بستر و تغییرات قطی شتاب نسبت به عمق ارائه نموده است.

5-2- روش سید و ویتمان Sead-Vitman

سید و ویتمان ضریب اضافه فشار دینامیکی فاک در هنگام زلزله با روابطی ارائه کرده اند که باتوجه به پارامترهای فاک بدست می‌آید و قابل استفاده برای دیوارهای سازه‌های زیرزمینی و یا موارد مشابه است.

5-3- روش مونونو به و اکابه Mononobe-Okabe

این روش براساس تئوری کولمب برای شرایط شبه استاتیکی پایه گذاری شده است و شرایط رانش فعال فاک را در نظر می‌گیرد آنگاه شرایط پایداری استاتیکی گوه تمت لغزش را بررسی می‌کند. قابل استفاده برای محاسبه اضافه فشار بر روی دیوارهای سازه‌های زیرزمینی و یا مشابه است.

5-4- مطالعات تکمیلی

مهندسیین مشاور سوپرتو (سیسترا) در مشخصات فنی ارائه شده براساس شکل پذیری گره‌ها میزان اعوجاج قابل تحمل ناشی از انتشار امواج را ارائه کرده است. دو نوع تغییر شکل عمده در جهات طولی و عرضی بایستی بدون وارد آمدن خسارت جدی تحمل شود. حداقل فاصله درزهای سافتمانی برای کنترل کرنش‌های طولی 30 متر می‌باشد. و در جهت عرضی اثرات زلزله مایل است مقاطع مستطیلی را به متوازی الاضلاع و دایره به بیضی تبدیل نماید که در مطالعات اولیه سوپرتو مداکثر تغییر شکل جانبی میزان $1/5 \times 10^{-4}$ مبنای محاسبات قرار گرفته است که کمتر از میزان ارائه شده توسط KERISEL می‌باشد. بعدها در طی طراحی فک یک و دو، این میزان به طور تخمینی و تجربی برابر $4/5 \times 10^{-4}$ رادیان در نظر گرفته شده است که باز هم تقریبی و فاقد مدارک و منابع قابل استناد می‌باشد.

5-5- محاسبه اعوجاج براساس جدیدترین روش‌ها

بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



طبق تحقیقات Hashash, Y.M.A که مورد تأیید Center For Advanced Infrastructure&Transportation آمریکا می باشد، برآورد نیروی زلزله براساس قابلیت شکل پذیری، دوران و اعمال کرنش های لازم به سازه و حرکت آن تا تخییر مکان هدف و بدست آوردن لنگر ناشی از این دوران و طراحی آن از اهداف این روش می باشد. بررسی احوال ناشی از زلزله به چهار روش ممکن است انجام گیرد.

5-5-1- روش اعمال فشار دینامیکی

با در اختیار داشتن حداکثر شتاب زمین، نیروی وارده بر سازه با استفاده از روشهای شبه استاتیکی همچون مونتونو به اکتان تعیین می گردد. از حداقل تعداد پارامترها برخوردار است و فضای کمی دارد نتایج آن بدلیل عدم برخوردار بودن از تئوری قوی برای سازه های زیرزمینی و قدیمی بودن تنها معیاری جهت کنترل طراحی مورد استفاده قرار می گیرد.

5-5-2- روش میدان آزاد تخییر مکان

با صرفنظر از اندرکنش سازه زیرزمینی با زمین اطراف، تخییر شکل پدید آمده در توده زمین در حالت آزاد بر اثر زلزله به سازه اعمال می شود. روابط ساده ای دارد برای سازه های که سفتی بیش از زمین دارند نتایج محافظه کارانه و برای سازه های که سفتی خیلی کمی دارند نتایج غیرمحافظه کارانه می دهد. پس فقط برای سازه های که سفتی مشابه زمین دارند توصیه می گردد.

5-5-3- روش اندرکنش تخییر مکان

احوال اعمال شده به سازه زیرزمینی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک - سازه می باشد. از روش تملیلی و یا نیمه تملیلی استفاده می کند و با در نظر گرفتن نسبت سفتی سازه جایگزین با توده زمین مذف شده از ممیط، نتایج قابل قبولی بدست می آید.

5-5-4- روش اندرکنش خاک - سازه

به روش تاریخچه زمانی و با استفاده از روش های عددی مدلسازی می گردد. با استفاده از این روش مسئله اندرکنش خاک - سازه را در شرایط پیچیده مرزی و ساختاری زمین در نظر گرفته می شود. بدیهی است مدلسازی و حل عددی در حالت دینامیکی نیازمند محاسبات رایانه ای پیچیده و پرهزینه است. ضمناً انتخاب مناسب پارامترهای ورودی برای انجام چنین تملیل پیچیده ای از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



5-6- تشریح روش اندرکنش تغییر مکان

این روش برای مقاطع دایره و مستطیل مناسب بوده و قابل تعمیم به مقاطع دیگر نیز می‌باشد. نکته مهم اینست که نیاز به پارامتر مداخلت شتاب حرکت زمین را در عمق محل امداد سازه دارد. ولی در بسیاری از آئین نامه‌ها مثل آئین نامه 2800 این مداخلت شتاب برای سنگ بستر داده شده است (PGA). روابطی وجود دارد که با در اختیار داشتن شتاب در سنگ بستر و داشتن اطلاعات سافتار لایه‌های خاک (مطالعات لرزه - زمین - سافت)، شتاب را می‌توان برای عمق سازه بدست آورد (در آئین نامه ژاپن بحث مفصلی در این زمینه وجود دارد).

در صورت انجام مطالعات لرزه - زمین - سافت شتاب مداخلت در دو سطح "الف" (مداکتر زلزله طرح) و "ب" (زلزله بهره برداری) تعیین گشته و محاسبات زلزله برای این دو سطح انجام می‌شود. طراحی سازه در مقابل این دو سطح از نیروی لرزه ای باید بگونه ای باشد که در حالت "الف" با امتساب رفتار غیر فطی سازه، ایمنی عمومی مین وقوع زلزله و پس از آن مفظ گردد (Life Safety). در این حالت ظرفیت سازه در مقابل بدترین ترکیب بارهای مرده، زنده و لرزه ای با ضرایب مربوطه کنترل می‌گردد. در حالت "ب" سازه باید قادر باشد تا با پذیرش کمترین تغییر شکل های غیر الاستیک و بدون آسیب جدی سازه ای به فدمت (سانی بی وقفه ادامه دهد Immediate Occupancy). یادآور می‌گردد مباحث یاد شده که سطح عملکرد و سطح فطر را تعریف می‌کند مانند هدف بهسازی ویژه در آئین نامه 360 (دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود) می‌باشد. در صورت عدم انجام مطالعات لرزه - زمین - سافت بعضی از طراحان شتاب مداخلت سطح زمین را با استفاده از آئین نامه هایی مثل 2800 که ساختمان ایست تعیین می‌نمایند که ضریب رفتار (R) مناسب با سازه وجود ندارد و صمیع نمی‌باشد.

در روش اندرکنش تغییر مکان با در نظر گرفتن نسبت سفتی جایگزین به توده زمین مذف شده احوچاج اعمال شده به سازه و در نتیجه نیروهای داخلی پدید آمده در سازه تعیین می‌گردد و برای تونل های دایره ای و مستطیلی قابل استفاده است.

5-6-1- احوچاج تونل های دایره ای در روش اندرکنش تغییر مکان

پاسخ پوشش تونل تابعی از قابلیت فشردگی (Compressibility) و انعطاف پذیری (Flexibility) سازه، فشار سربار درجا γ (h) و ضریب فشار افقی توده خاک در حالت درجا (K_0) می‌باشد. برای تطبیق این حالت به بارگذاری لرزه ای، تنش برشی میدان آزاد (Free Field) جایگزین تنش درجا شده و به ضریب فشار سکون مقدار (1-) نسبت داده می‌شود تا حالت برش ساده میدانی را شبیه سازی کند. آنگاه می‌توان تنش برشی را برمسب تابعی از کرنش برشی بیان کرد. سفتی تونل نسبت به زمین اطراف بر مسب نسبت های فشردگی (Compressibility) و

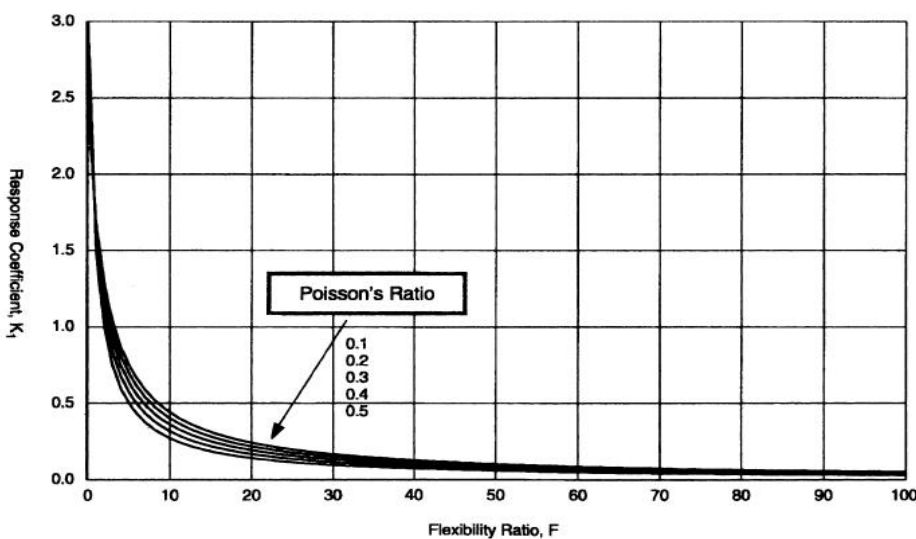
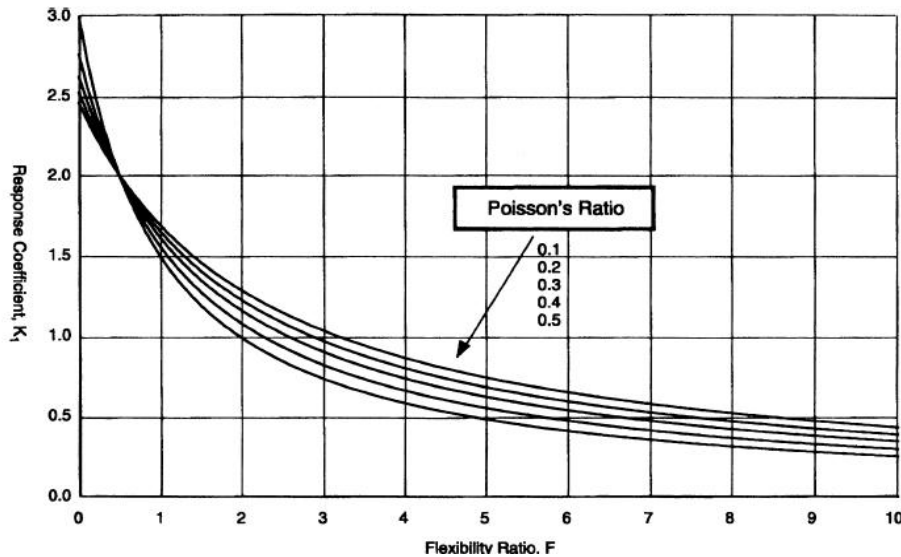
بهترین نرم افزار
بهترین حمل و نقل



انعطاف پذیری (Flexibility) قابل بیان است که معیاری از سختی محوری و سختی فمشی (مقاوم در برابر اعوجاج) محیط نسبت به پوشش ارائه می دهد.

با فرض لغزش کامل بدون جدا شدگی و بدون نیروی برشی مماسی و کرنش قطری، حداکثر نیروی محوری و لنگر فمشی را می توان بیان کرد.

$$K_1 = \frac{12(1-\nu_m)}{2F + 5 - 6\nu_m} \quad M_{\max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1+\nu_m)} r^2 \gamma_{\max} \quad T_{\max} = \pm \frac{1}{6} K_1 \frac{E_m}{(1+\nu_m)} r \gamma_{\max}$$



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



شکل 4 : ضریب پاسخ پوشش در مقابل نسبت انعطاف پذیری در شرایط لغزش کامل (تونل دایره ای)

البته می دانیم برای بیشتر تونل ها شرایط سطح تماس (Interface) بین لغزش کامل (Full Slip) و عدم لغزش (No Slip) قرار دارد. پس برای تعیین نیروهای بحرانی پوشش و تغییر شکل های بحرانی هر دو حالت بایستی بررسی شود. در لغزش کامل حداکثر نیروی مموری بسیار کم برآورد می شود.

با کاهش ضرایب فشردگی و تغییر شکل پذیری نیروی مموری ناشی از زلزله افزایش می یابد $v < 0/5$ و وقتی ضریب پواسون به $0/5$ میل می کند (فاک رس اشباع زهکشی نشده)، پاسخ نیروی مموری مستقل از فشردگی می باشد. چون فاک تراکم ناپذیر در نظر گرفته می شود.

شکل نرمال شده پوشش معیاری از اهمیت نسبت انعطاف پذیری در پاسخ پوشش را ارائه می کند:

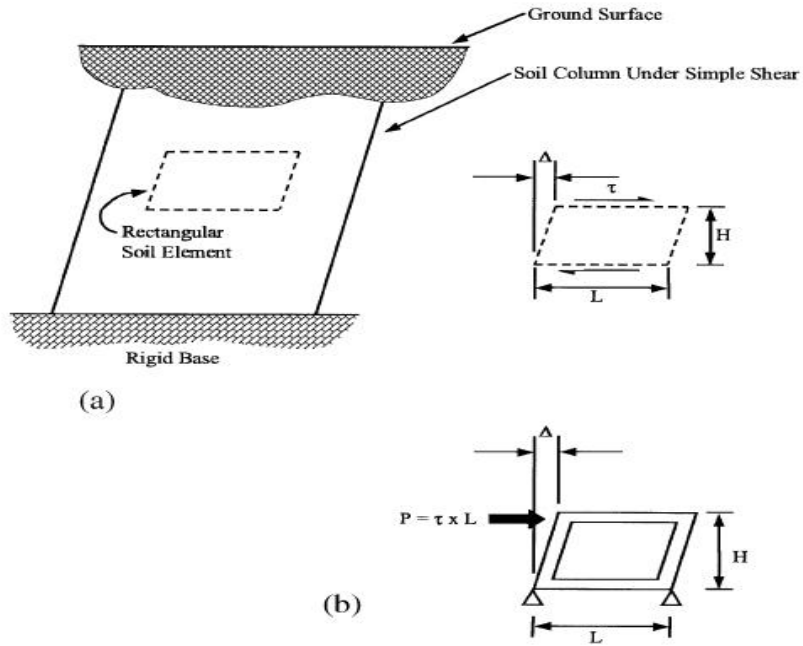
$$\frac{\Delta d_{\text{lining}}}{\Delta d_{\text{free-field}}} = \frac{2}{3} K_1 F$$

وقتی که نسبت انعطاف پذیری (F) کمتر از یک باشد (پوشش سفت در زمین نرم) پوشش تونل کمتر از میدان آزاد تغییر شکل می دهد و وقتی (F) افزایش می یابد، پوشش بیشتر تغییر شکل می دهد.

5-6-2- اعوجاج تونل های مستطیلی در روش اندرکنش تغییر مکان

تونل های کم عمق معمولاً بصورت جعبه ای (box-shaped) و به روش کندوپوش اجرا می شود. این تونل ها رفتار لرزه ای کاملاً متفاوتی با تونل دایره ای دارند. یک قاب جعبه ای بارهای استاتیکی را بخوبی یک پوشش دایره ای منتقل نمی کند و دیوارها و کف نیاز به ضخامت بیشتری دارد و در نتیجه سفت تر می باشند و به دلیل پتانسیل تغییر شکل های بزرگ زمین به علت عمق کم، اندرکنش فاک - سازه به دقت باید در نظر گرفته شود. تغییر شکل های لرزه ای زمین در اعماق کم به دلایل سفتی کاهش یافته فاک اطراف چون فشار روبراه کم است. همچنین اثر بزرگ نمایی ممل (Site amplification effect) تمایل به افزایش دارند. ضمناً اگر فاکریز (Back fill) نسبت به فاک ممل دارای خصوصیات متفاوتی باشد پاسخ لرزه ای نیز متفاوت می گردد. سفتی زیاد سازه های جعبه ای شکل به شدت کرنش های محاسباتی را کاهش می دهد و طراحی براساس تغییر شکل های میدان آزاد کاری محافظه کارانه است. با توجه به خصوصیات هندسی متغیر در مقاطع جعبه ای روش های ساده و عملی برای محاسبه اثرات اندرکنش دینامیکی فاک - سازه وجود دارد.

بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



شکل شماره 5: سفتی نسبی خاک و یک قاب مستطیلی

$$\gamma_s = \frac{\Delta}{H} = \frac{\tau}{G_m}$$

و نسبت شکل پذیری سازه (Flexibility ratio) را به صورت زیر می توان نوشت:

$$F = \frac{G_m W}{S_1 H} = \frac{G_m}{S_1 H / W}$$



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



مقالات ارزشمند دریاژدهمین همایش چهارمین نمایشگاه حمل و نقل ریلی

S_1 نیروی لازم جهت ایجاد تخریب شکل واحد سازه $S_1 = \frac{1}{\Delta_1} Gm$ ، سفتی برشی W عرض سازه، H ارتفاع سازه می باشد.

برای سازه های مستطیل شکل نسبت اعوجاج $racking\ ratio$ به صورت نسبت اعوجاج سازه به اعوجاج میدان آزاد به این صورت بیان می شود.

$$R = \frac{\Delta_{structure}}{\Delta_{free-field}} = \frac{\left(\frac{\Delta_{structure}}{H}\right)}{\left(\frac{\Delta_{free-field}}{H}\right)} = \frac{\gamma_{structure}}{\gamma_{free-field}}$$

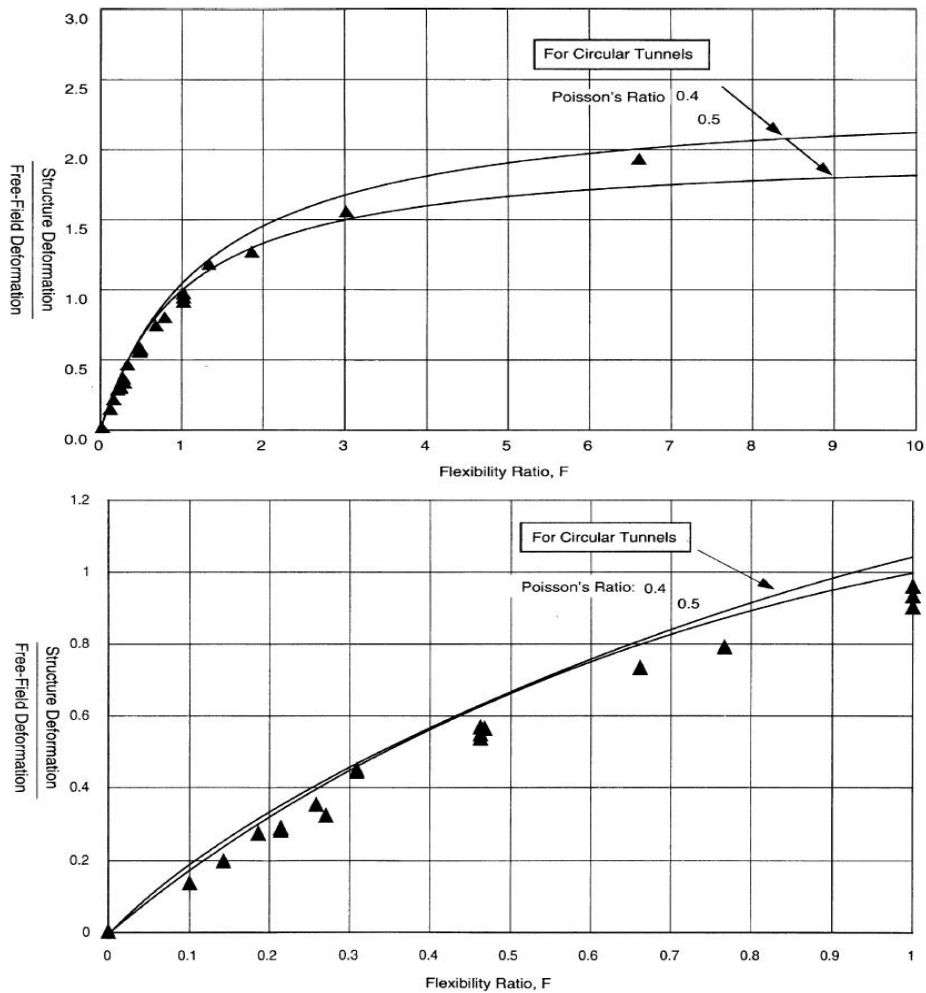
که در آن γ اعوجاج (Angular distortion) و Δ تغییر مکان جانبی اعوجاجی (Lateral racking deformation) می باشد. نتایج تحلیل های المان محدود نشان می دهد که سفتی نسبی بین فاک و سازه ای که جایگزین آن می شود، مهمترین تأثیر را روی تغییر شکل اعوجاجی دارد.

اگر $F \rightarrow 0/0$ سازه صلب است. بدون وابستگی به تغییر شکل زمین، سازه دچار اعوجاج $racking$ نمی شود (یعنی سازه باید تمام بار را بگیرد). اگر $F < 1/0$ سازه سفت تر از زمین است. پس کمتر دچار تغییر شکل می شود. اگر $F = 1/0$ سفتی سازه و زمین برابر است پس تغییر شکل سازه به اندازه میدان آزاد می باشد. اگر $F > 1/0$ اعوجاج سازه نسبت به میدان آزاد بیشتر است. به دلیل اینکه مفره ای ایجاد می شود که سفتی برشی کمتری با زمین طبیعی در شرایط میدان آزاد دارد (نه بخاطر بزرگنمایی دینامیکی). و اگر $F \rightarrow \infty$ سازه سفتی ندارد. پس دچار تغییر شکل هایی نظیر زمین مفره دار می گردد.

آنالیزها نشان داده اند که برای یک نسبت انعطاف پذیری معلوم، اعوجاج نرمال شده یک تونل مستطیلی تقریباً ده درصد کمتر از تونل دایره ای است.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل

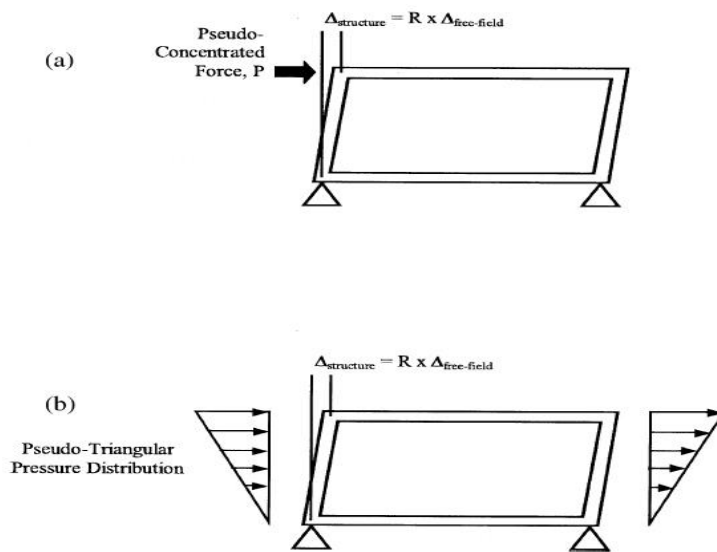


بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



شکل 6. مقایسه تزییر شکل سازه ای بی بعد شده در مقابل نسبت انعطاف پذیری برای تونلهای مستطیلی و دایره ای

نتیجتاً پاسخ تونل دایره ای یک مرز بالا برای سازه مستطیلی با مشخصات یکسان (نسبت انعطاف پذیری مشابه) است پس طراحی مقاطع مستطیلی براساس تطبیق حرکت سازه با میدان آزاد وقتی سازه سخت و زمینی نرم باشد $F < 1$ بسیار محافظه کارانه است و عکس آن نیز صادق است یعنی وقتی $F > 1$ است منجر به کمتر برآورد کردن پاسخ تونل می گردد. تزییر شکل اعوجاجی را با روش بار استاتیکی نیز می توان به سازه زیرزمینی اعمال کرد. وقتی عمق سازه زیاد است، اعوجاج بر اثر نیروی برشی که تراز سقف است بومود می آید لذا بارگذاری را توسط یک بار متمرکز در تراز سقف می توان وارد کرد. و هنگامی که سازه در عمق کمی قرار دارد نیروی برشی پدید آمده در سطح تماس سقف و خاک با کاهش روباره کاهش می یابد و نیرو در دیوارها ایجاد می شوند لذا یک توزیع فشار مثلثی به مدل اعمال می گردد. واضح است مدل توزیع فشار مثلثی مقادیر بحرانی تری از ظرفیت خمشی سازه مستطیلی در اتصالات پائین ایجاد می کند در حالی که وقتی نیرو متمرکز است نیروها در محل اتصال سقف به دیوار بحرانی تر است.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل



شکل شماره 7: مدل‌های ساده شده قابی (a) شبه بار متمرکز برای تونل‌های عمیق (b) شبه فشار مثلثی برای تونل‌های کم عمق

6- نتیجه گیری

منشأ بارهای مرده و زنده و میزان آنها مطابق با آئین نامه ها و قضاوت فنی صورت می‌گیرد. مقادیر بارهای زنده و مرده مخصوصاً خاک براساس مدل‌های واقعی تعیین و با توجه به نوع رفتار خاک مدلسازی و تحلیل می‌گردد. نیروی زلزله و بارگذاری آن به عنوان اثر ثانویه در نظر گرفته نمی‌شود بلکه به علت مساسیت و عمر طولانی و عدم امکان تعمیرات، این سازه‌ها بایستی از ضریب ایمنی لازم برخوردار باشند. برای تعیین اثر زلزله، میزان اعوجاج را از روش شکل پذیری و قابلیت انعطاف برای دو سطح زلزله (زلزله طرح و زلزله بهره برداری) بدست آورده. سازه در محیط نرم افزار مدل می‌شود، اضافه فشار دینامیک خاک مناسبه و به تونل اعمال می‌شود و از فنرها برای مدلسازی استفاده شده که با تنظیم سختی آنها تا اندازه اعوجاج بدست آمده میزان لنگر طرामी و سایر پارامترها بدست می‌آید.

جهت یکسان سازی مبانی طرामी و پیشگیری از اشتباهات رایج طراحان، لزوم تهیه و تدوین دستورالعمل و راهنمای تحلیل و طرामी سازه‌های تونل و ایستگاه در شرکت متروی تهران تأکید می‌گردد.

7- مراجع و مؤلف

1- تونلسازی - دکتر مسن مدنی - دانشگاه امیرکبیر

2- آئین نامه بتن ایران (آباء) مبمٹ ششم، نشریه شماره 120، 123، 139، 463، 519، 360 و 2800

3- بارگذاری قطارهای شهری، LRT

4- گزارش‌های مهندسی مشاور سوپرتو (سیسترا)

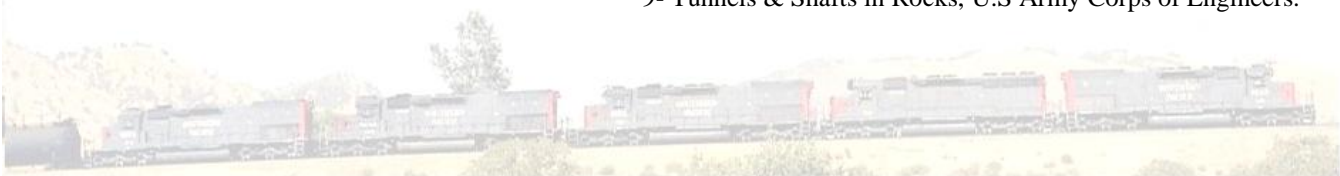
5- دفترچه‌های مهندسی مشاور

6- ACI, AISC, DIN, BS, EURO CODE

7- Hashash, Y.M.A., 2001 Seismic design & analysis of underground structure.

8- K.Szechy, The Art of Tunneling.

9- Tunnels & Shafts in Rocks, U.S Army Corps of Engineers.



بهترین نرم افزار بهترین حمل و نقل

www.gmsco.ir طرामी و تولید: شرکت گسترش خدمات میثاق صبا (سهامی خاص) مامی انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران Miss@gh Company

تفصیلی ترین تولید کننده نرم افزارهای صنعت حمل و نقل