

# معرفی، طرح و اجرای تونل های مترو

جمع آوری و ارائه:  
یاسین طلوعی



## مقدمه:

مترو یا قطار شهری می تواند در زیر زمین یا روی سطح آن و بر روی ریل مخصوص خود حرکت کند.

از کشورهای پیشرفته در زمینه راه اندازی خطوط مترو می توان به ایالات متحده آمریکا ، فرانسه، ژاپن و آلمان اشاره کرد.

بزرگترین و طولانی ترین خط متروی شهری در جهان متعلق به متروی نیویورک است که با داشتن ۴۶۲ ایستگاه و طول ۱۳۵۵ کیلومتر و دارا بودن ۲۶ مسیر در جهان بی همتاست.

در تهران هشت خط عادی و چهار خط سریع السیر در نظر گرفته شده است که همکنون تنها ۳ خط عادی فعال به همراه یک خط بین شهری بین تهران و کرج دارد.

## تاریخچه مترو:

در دهه ۱۸۴۰ میلادی شهر لندن یکی از انبوه ترین و آلوده ترین شهرهای جهان بود که باعث تأسیس کمیته ی ویژه ای برای بررسی این مشکل شد که نظر این کمیته برای رفع این مشکل احداث راه آهن زیر زمینی بود.

به این ترتیب، نخستین شرکت متروی جهان در لندن پایه گذاری شد و سرانجام نخستین راه آهن زیر زمینی جهان در سال ۱۸۶۳ بازگشایی شد. نزدیک ۴۰ هزار نفر در روز نخست جابجا شدند و در شش ماه اول روزانه به طور متوسط ۲۶۵۰۰ مسافر از آن بهره می گرفتند.

در آن زمان برای احداث تونل از روش “کندن و پوشاندن” استفاده می شد به این ترتیب که اول کانال بزرگی در مسیر می کردند و با ساختن دیواره و پوشاندن سقف آن تونل را می ساختند.

# تاریخچه مترو در ایران:

سابقه بحث و گفتگو درباره ی احداث قطار شهری در تهران به سال ۱۲۷۸ شمسی (۱۱۰ سال قبل) باز می گردد. تأسیس تراموای شهری از جمله نکات پیش بینی شده در امتیاز نامه ی بارون ژولیوس دروایتر در عهد ناصرالدین شاه بود.

اما امتیاز نامه ی فوق بر اثر مخالفت های شدید پس از ۱ سال لغو و به بلژیکی ها سپرده شد. در همان سال یک خط راه آهن بین حرم عبدالعظیم و میدان باغ شاه احداث شد که به واگن اسبی معروف بود چرا که این قطار به وسیله چند اسب کشیده می شد. این اولین و آخرین تراموای دایر شده در تهران تا سال ۱۳۲۰ هـ. ش (حدوداً ۶۲ سال) بود.

# تاریخچه مترو در ایران:

- |          |   |
|----------|---|
| سال ۱۳۳۴ | تصویب پیشنهاد احداث تراموای برقی بین تهران تا شمیران توسط هیئت دولت                           |
| سال ۱۳۳۷ | اعلام آمادگی یک شرکت آلمانی برای احداث مترو   |
| سال ۱۳۴۵ | پیشنهاد شوروی سابق برای احداث مترو تهران  |
| سال ۱۳۴۸ | دعوت شهرداری تهران از طراحان و مهندسان ژاپنی برای بررسی وضعیت حمل و نقل شهری                  |
| سال ۱۳۴۹ | طرح ایجاد ۲۰۰ کیلومتر بزرگ راه و آزاد راه و ۱۱۲ کیلومتر (شبکه راه آهن سریع) از سوی گروه ژاپنی |
| سال ۱۳۴۹ | آغاز مطالعات مقدماتی شرکت فرانسوی درباره ی احداث متروی تهران                                  |

# تاریخچه مترو در ایران:

سال ۱۳۵۴	امضای طرح متروی تهران با شرکت فرانسوی
سال ۱۳۵۴	تصویب قانون تأسیس شرکت راه آهن شهری تهران و حومه
سال ۱۳۵۶	آغاز عملیات اجرایی
سال ۱۳۵۷	احداث مترو با وقوع انقلاب متوقف شد و با شروع جنگ تحمیلی این پروژه تا سال ۱۳۶۵ متوقف ماند.
سال ۱۳۶۵	آغاز مجدد احداث مترو
سال ۱۳۷۴	عقد قرار داد برای خرید تجهیزات ثابت و متحرک خطوط ۱ و ۲ و ۵

# تاریخچه مترو در ایران:

سال ۱۳۷۷ افتتاح و بهره برداری از قطار سریع السیر تهران - کرج  
سال ۱۳۷۸ افتتاح و بهره برداری از بخش غربی خط ۲ (صادقیه - امام خمینی)

از سال ۱۳۷۸ تاکنون خطوط ۱ و ۲ به طور تدریجی افتتاح و بهره برداری شده است.

سال ۱۳۸۷ بهره برداری از خط ۴ متروی تهران به طول ۲/۵ کیلومتر (دروازه شمیران - فردوسی)

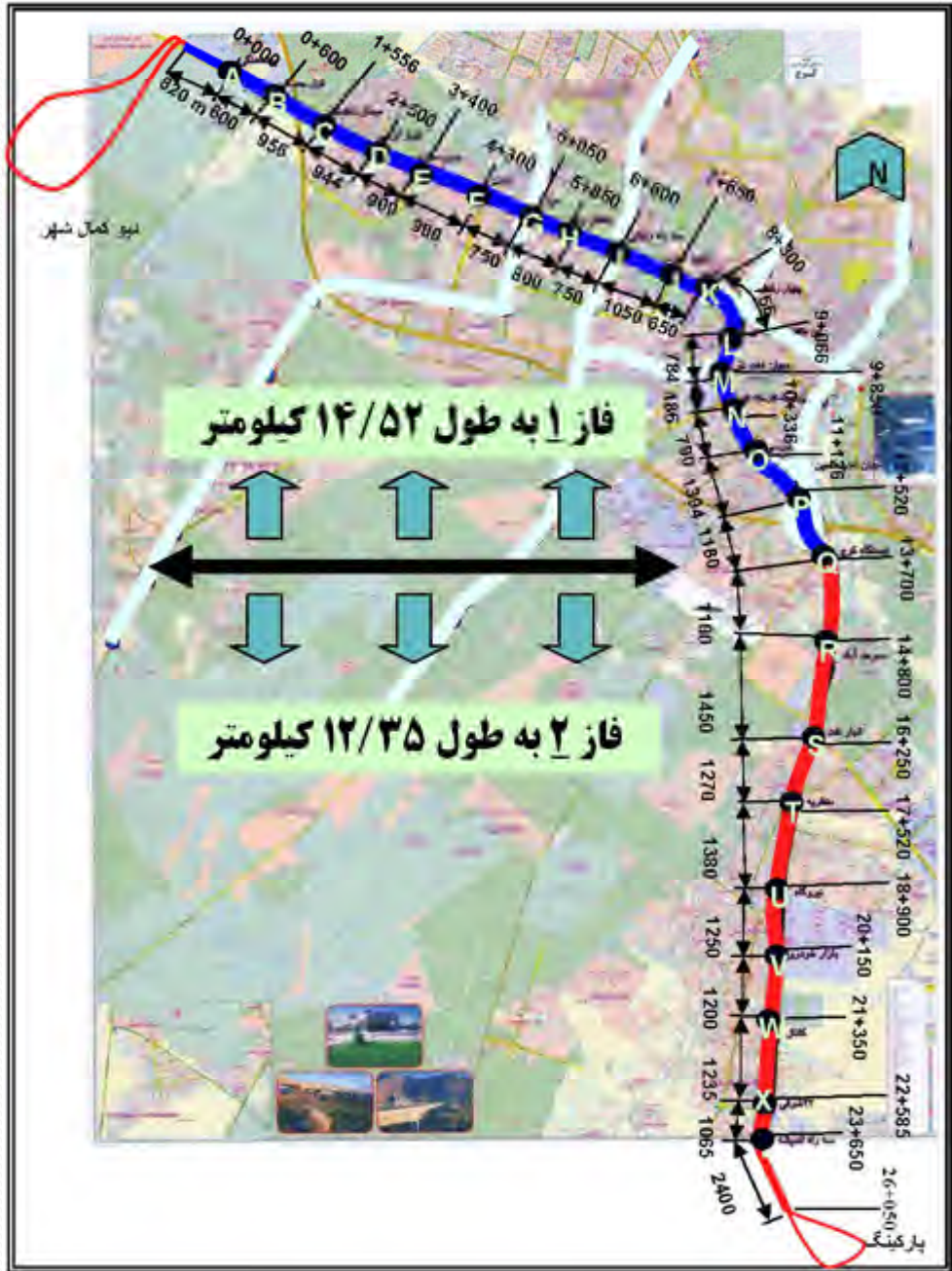
با نگاهی اجمالی به تاریخچه احداث مترو در تهران ملاحظه می شود که روند پیشرفت مترو در ایران بسیار کند می باشد.

## متروی کرج :

شبکه خطوط ریلی مصوب قطار شهری کرج و حومه شامل ۶ خط مجموعاً به طول ۹۷/۳ کیلومتر می باشد که در حال حاضر خط ۱ به طول ۱۷ کیلومتر در حال بهره برداری می باشد و خط ۲ به طول ۲۷ کیلومتر نیز در دست احداث است.

خط منحصر به فرد این شبکه، خط سه به طول ۱۴/۳ کیلومتر و شامل ۱۱ ایستگاه می باشد که قرار است به صورت هوایی اجرا شود. که مسلماً یکی از جاذبه های گردشگری این کلان شهر خواهد شد.





## مراحل عملیات اجرایی:

- تجهیز کارگاه
- اجرای رمپ ترانشه باز
- حفاری تونل دسترسی
- حفاری تونل اصلی
- لاینینگ
- اجرای فونداسیون کف

## ● تجهيز كارگاه



• اجرای رمپ

• برم



- اجرای رمپ
- سازه نگهدارنده



# ● حفاری تونل دسترسی

ساخت ورودی تونل دسترسی:



## مراحل حفاری تونل دسترسی :

۱- ابتدا به وسیله ی ماشین آلات حفاری یک گام حفاری انجام می شود.



## مراحل حفاری تونل دسترسی :

۲- بعد از حفاری خاکهای حفاری شده توسط لودر به خارج تونل منتقل می شود.





# مراحل حفاری تونل دسترسی :

۳- هموار کردن سطوح حفاری شده

۴- مش بندی زیر کار



# مراحل حفاری تونل دسترسی :

۵- قرار دادن لیس ها



# مراحل حفاری تونل دسترسی :

۶- کنترل موقعیت لیس ها توسط نقشه بردار



# مراحل حفاری تونل دسترسی :

۷- اجرای مش بندی روی کار



# مراحل حفاری تونل دسترسی :

۸- شاتکریت



# شاتکریت:

- اولین بار شاتکریت در سال ۱۹۰۹ میلادی بکار رفته و سپس در سال ۱۹۱۴ میلادی برای اولین بار در یک معدن به صورت آزمایشی در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفت.
- شاتکریت نوعی از بتن مرکب از سیمان و ماسه و خرده سنگ است که به کمک هوای فشرده انجام می شود.
- شاتکریت به دو گونه انجام می شود:
  - شاتکریت خشک : ماسه و سیمان و خرده سنگ مخلوط می شود آب از طریق فشانه ی انتهای شیلنگ اضافه می شود . از این روش برای حفاری زیرزمینی استفاده می شود.
  - شاتکریت تر : در این روش مواد را با آب مخلوط می کنند و هوای فشرده در انتهای شیلنگ از طریق لوله ویژه ای اعمال می شود.

## مقایسه شاتکریت تر و خشک :

روش تر	روش خشک
<ul style="list-style-type: none"> <li>* ریزش و در نتیجه هدر رفتن شاتکریت کمتر است.</li> <li>* گرد و غبار کمتری تولید می شود.</li> <li>* کیفیت اجرای شاتکریت بسته به مهارت کارگر ندارد چرا که آب آن قبلاً تنظیم شده است.</li> <li>* کارگر بتن پاش مستقیماً در برخورد مستقیم ذرات با سطح کار نظارت دارد و می تواند آن را با تغییر دادن جریان هوا تنظیم کند.</li> <li>* سهولت بیشتر در تمیز کردن محیط و دستگاه</li> <li>* هزینه نگهداری کمتر</li> <li>* سرعت بیشتر در تولید بتن</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* امکان تنظیم و کنترل بهتر آب</li> <li>هنگام مواجهه با تغییرات شرایط زمین به ویژه در شرایط وجود آب در محیط</li> <li>* وسایل و دستگاه های مورد نیاز معمولاً ارزان و مجموعه بیشتری از وسایل در اختیار است.</li> <li>* ماشین آلات لازم کوچک ترند بنابراین در فضاهای کوچک قابلیت مانور بیشتری دارند.</li> <li>* قابل استفاده با شیلنگ بلند.</li> </ul>

## اجزای شاتکریت:

- سیمان
- آب
- ماسه
- خرده سنگ
- شتاب دهنده ها



# ● حفاری تونل اصلی

ساخت و نصب سازه سه راهی:



## مراحل حفاری تونل اصلی:

- حفاری تونل فوقانی
- تحکیم اولیه تونل فوقانی
- حفاری تونل تحتانی
- تحکیم اولیه تونل تحتانی
- بستن رادیه ی کف
- لاینینگ
- اجرای فونداسیون کف تونل

● بستن رادیه ی کف :



# نگهداری تونل:

- به طور کلی نگهداری تونل با استفاده از بتن با دو روش مختلف انجام می شود:
- استفاده از قطعات پیش ساخته
  - قالب بندی مقطع تونل و بتن ریزی درجا (لاینینگ)

● لایننگ :



ارتفاع کلی تونل حفاری شده ۹/۱۳ متر است که پس از اجرای تحکیم های اولیه قسمت فوقانی و تحتانی و لاینینگ و همچنین رادیه و اجرای فونداسیون کف ۶/۳۸ متر از فضای حفاری شده باقی می ماند. حدوداً ۲/۱ متر در کف تونل و ۰/۶۵ متر نیز در قسمت فوقانی بتن ریزی داریم.

در هنگام اجرای لاینینگ به دلیل اهمیت فوق العاده ی این قسمت آزمایش اسلامپ بر روی بتن تمامی میکسر ها انجام می شود که اسلامپ اولیه ۷-۱۰ می باشد که قبل از تزریق بتن به دیواره ها با افزودن ۲ لیتر روانساز به ازای هر متر مکعب بتن این مقدار به ۱۵ می رسد.

گام های لاینینگ ۶ متری است. که هر ۴۸ ساعت یک گام لاینینگ انجام می شود.

# تعدادی از روابطی که برای محاسبه ی آستر تونل بکار می رود.

$$t = \frac{p.r}{\left(\frac{\sigma_b}{F}\right) - P} + \frac{150}{F}$$

فرمول (۱) پروتو یا کونوف

که در آن :

**t** = ضخامت آستری بتنی بر حسب سانتی متر

**P** = فشار موثر بر آستری بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

$\sigma_b$  = مقاومت بتن ۲۸ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

**F** = ضریب ایمنی که معمولاً ۲ در نظر گرفته می شود.

**t** = ضخامت آستری بتنی بر حسب سانتی متر

**r** = شعاع تونل بر حسب سانتی متر

**H** = عمق تونل نسبت به سطح زمین

تعدادی از روابطی که برای محاسبه ی آستر تونل  
بکار می رود.

$$t = \left( \sqrt{\frac{\frac{\sigma_j}{F}}{\frac{\sigma_b}{F} - 2P}} - 1 \right) r$$

فرمول هبر:

**t** = ضخامت آستری بتنی بر حسب سانتی متر

**R** = شعاع تونل بر حسب سانتی متر



مثال:

ضخامت آستری بتنی در مورد تونلی با مشخصات زیر را محاسبه کنید:

عمق تونل = **30** متر

نوع سنگ ها = ماسه سنگ

ظرفیت تحمل مجاز سنگ ها =  $\sigma = 15 \text{ kg/cm}^2$

عدد پواسون سنگ ها = **m=5**

وزن مخصوص سنگ ها =  $\gamma = 2.5 \text{ t/m}^3$

مقاومت ۲۸ روزه بتن =  $\sigma_b = 225 \text{ kg/cm}^2$

وزن مخصوص بتن =  $\gamma_b = 2.4 \text{ t/m}^3$

شعاع تونل =  $\gamma = 8 \text{ m}$

ضریب ایمنی = **F=2**

حل

ابتدا تنش‌های افقی در محل تونل را محاسبه می‌کنیم.

$$\sigma_n = \frac{0.15k}{m-1}$$

$$\sigma_n = \frac{0.1 * 2.5 * 20}{5-1} = 1.25 \text{ t/m}^2 = 12.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = \frac{p.r}{\left(\frac{\sigma_b}{F}\right) - P} + \frac{150}{\left(\frac{\sigma_b}{F}\right) - 12.5} = \frac{12.5 * 400}{\left(\frac{225}{2}\right) - 12.5} + \frac{150}{\left(\frac{225}{2}\right)} = 51.33 \text{ cm} = 52 \text{ cm}$$

$$t = \left( \frac{\sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{F}\right)} - 1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{F}\right)} - 2P} \right) \quad r = \left( \frac{\sqrt{\frac{225}{2}} - 1}{\sqrt{\frac{225}{2}} - 2 * 12.5} \right) 400 = 53.5 \text{ cm} = 54 \text{ cm}$$



با تشکر از  
حسن توجه و عنایت  
استاد گرامی  
و  
دوستان عزیز

۸۸/۳/۴