

# معرفی و بررسی روش حفاری NATM در صنعت تونل‌سازی و مترو

آرش بخشی‌پور صداپشته، کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه آزاد شبستر، آذربایجان، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [arash.bakshipoor@yahoo.com](mailto:arash.bakshipoor@yahoo.com)

دریافت: 95/02/10 - پذیرش: 95/05/10

## چکیده

حفاری تونل‌های مترو به یکی از دو روش سنتی و مکانیزه تمام مقطع انجام می‌شود. انتخاب روش اجرای تونل به طول تونل، زمانبندی پروژه، وضعیت روباره، موقعیت شهری و ترافیکی، وضعیت زمین شناسی، نشست سطح زمین، راندمان روش و سایر ملاحظات وابسته است. در این مقاله انواع روش‌های حفاری تونل معرفی شده و مزایا و معایب و مراحل انجام عملیات آنها بطور مختصر شرح داده شده است. هدف از ارائه این مقاله آشنایی مهندسان جوان کشور با مفاهیم اولیه در صنعت تونل‌سازی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: NATM، تونل‌سازی، مترو، سیستم نگهداری، لتیس

## 1- مقدمه

مسیر تونل در امتداد خیابان‌هایی است که دارای عرض کافی بوده و عمدتاً دارای وضعیت ترافیکی کم و سبک می‌باشند، قابل اجرا است. در این روش خاکبرداری از سطح زمین تا کف تونل انجام و سپس تونل با مقطع نعل اسبی و یا چهار گوش آرماتوربندی، قالب بندی و بتن ریزی می‌شود. پس از اجرای بتن ریزی و آب بندی، خاکریزی تا سطح اولیه زمین انجام می‌گیرد (شکل 1) به عنوان مثال باتوجه به کم عرض بودن اغلب خیابان‌های شهر قم که مسیر تونل از زیر آنها عبور می‌کند و وضعیت ترافیکی و شرایط محیطی، این روش به جز طول‌های محدود در ابتدا و انتهای مسیر، برای سایر بخش‌های مسیر خط A مترو قم پیشنهاد نمی‌شود.

حفاری تونل‌های مترو به یکی از دو روش سنتی و مکانیزه تمام مقطع انجام می‌شود. انتخاب روش اجرای تونل به طول تونل، زمانبندی پروژه، وضعیت روباره، موقعیت شهری و ترافیکی، وضعیت زمین شناسی، نشست سطح زمین، راندمان روش و سایر ملاحظات وابسته است. در این بخش انواع روش‌های حفاری تونل معرفی شده و مزایا و معایب و مراحل انجام عملیات آنها بطور مختصر شرح داده شده است.

## 2- روش سنتی

حفاری تونل به روش غیر مکانیزه به سه صورت Cut & Cover ، & Cover و NATM قابل اجرا می‌باشد.

### 2-2- روش پوش و کند (Cover & Cut)

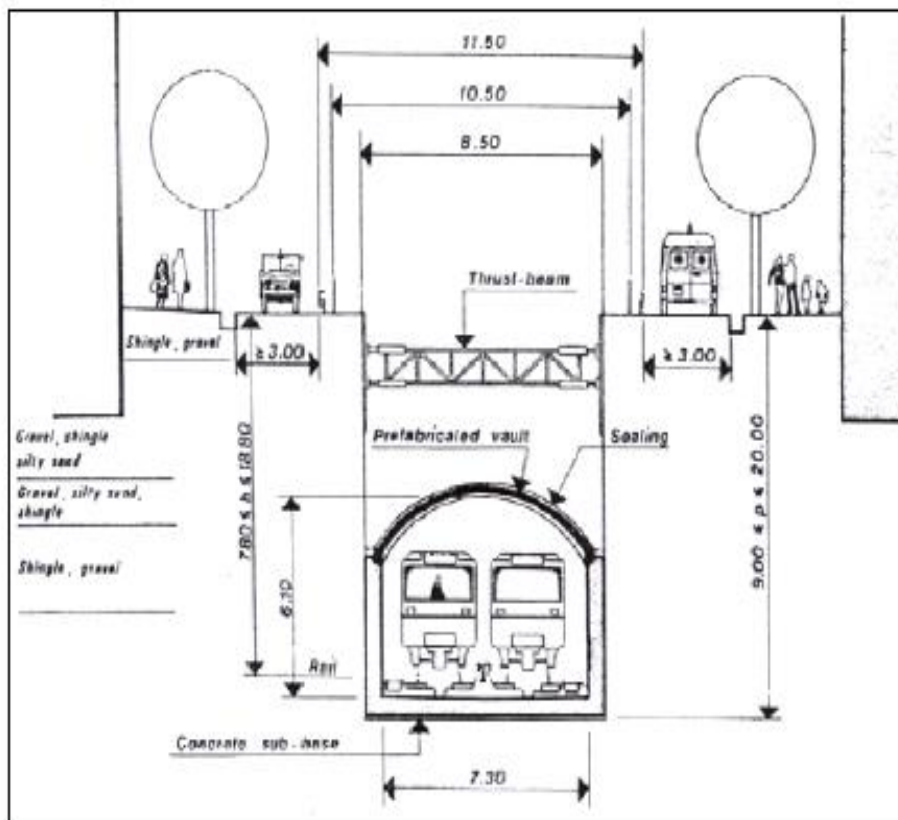
در مواردی که روباره تونل کم بوده و امکان انحراف

### 1-2- روش کند و پوش (Cut & Cover)

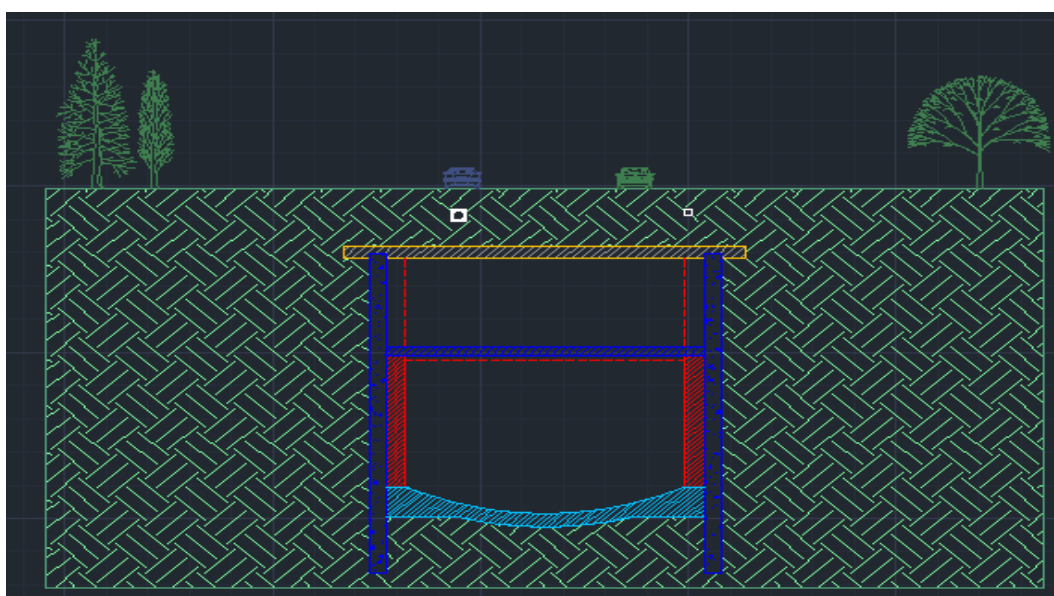
این روش در نقاطی که ارتفاع روباره تونل کم بوده و

از برقراری عبور و مرور، خاکبرداری و حفر تونل در زیر این سقف، انجام می‌شود. (روش دستک و ژوئن). بنابراین در این روش با ایجاد کمترین اختلال در ترافیک، عملیات حفاری و ساخت تونل انجام می‌شود.

ترافیک سطحی نباشد و یا نتوان مسیر را مسدود کرد، از روش **Cover & Cut** استفاده می‌شود. (شکل 2). در این روش ابتدا شمع درجا اجرا شده (فقط با محدود کردن عبور و مرور در کناره‌های خیابان) و سپس دال بتنی به صورت پیش ساخته یا درجا روی آنها اجرا می‌گردد. پس



شکل 1. نمونه‌هایی از اجرای تونل به روش **Cut & Cover** (شکل شماتیک)



شکل 2. اجرای تونل به روش **Cover & Cut** (شکل شماتیک)

## 2-3- روش NATM

درشرایطی که روباره تونل کافی بوده و اجرای تونل به شکل زیرزمینی در نظر گرفته شده باشد، از روش NATM به منظور حفاری، نگهداری موقت و نگهداری دائم تونل استفاده می‌گردد. جهت اجرای تونل، ابتدا بخش‌های فوقانی تونل توسط ماشین آلات حفاری و خاکبرداری شده و سپس با توجه به شرایط زمین، عملیات تحکیم اولیه انجام خواهد گرفت. پس از اجرای بخش فوقانی تونل، کف برداری و تحکیم قسمت تحتانی آن انجام شده و در نهایت نگهداری دائم تونل پس از اتمام حفاری کل مقطع اجرا خواهد شد. نکته حائز اهمیت اینکه در مواردی که ارتفاع روباره کم بوده و یا کنترل نشست حساس باشد می‌توان از روش‌های چند مقطعی با گام پیشروی کوتاه و یا روش‌هایی چون *Fore Poling* استفاده کرد که زمان و هزینه عملیات افزایش می‌یابد.

سرعت حفاری و لاینینگ تونل در این روش به طور متوسط یک متر در روز است. با در نظر گرفتن مطالب فوق مراحل اجرایی این روش به طور خلاصه، به ترتیب شامل مراحل زیر است:

مرحله اول - احداث دسترسی‌های لازم

مرحله دوم - حفاری تاج تونل

مرحله سوم - بارگیری و حمل مواد حفاری شده

## NATM

مزایا:

1- امکان اجرای تونل با مقطع دایره‌ای و غیر دایره‌ای (نعل اسبی، بیضی و طاقی)

2- عدم نیاز به ماشین آلات حفاری خاص

3- امکان تقسیم تونل به قطعات مختلف جهت ایجاد جبهه کارهای بیشتر برای بالا بردن سرعت اجرای تونل

معایب:

1- سرعت کم پیشروی

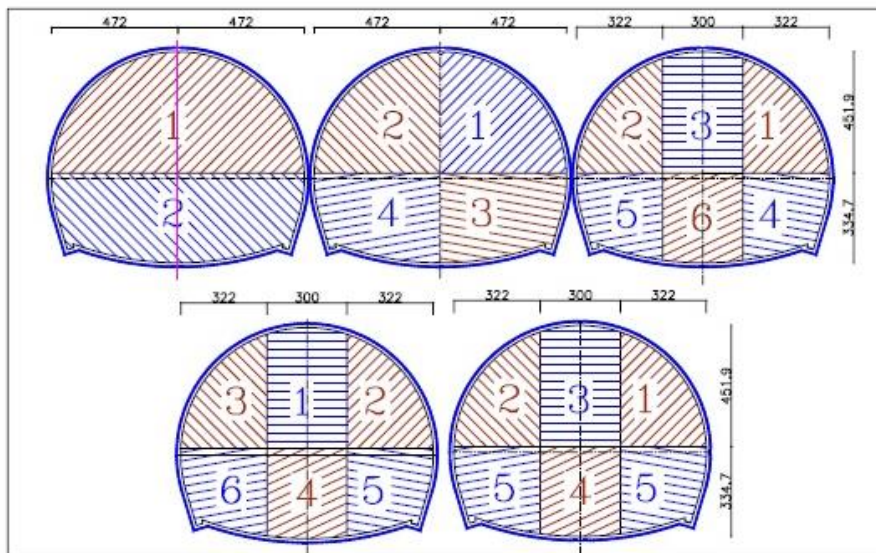
2- محدودیت در بکارگیری برای تونل‌های بلند از یک جبهه کار

3- مشکلات اجرایی تونل در صورت ناپایداری سینه کار

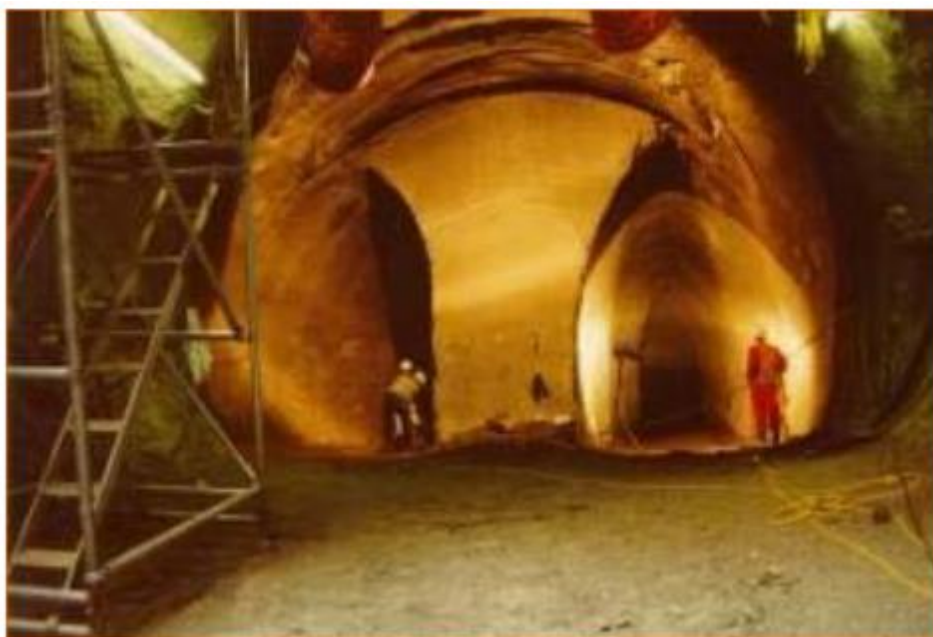
4- مشکلات اجرایی تونل در صورت ورود آب زیرزمینی از سینه کار و جداره‌ای تونل

با توجه به وضعیت طمین شناسی و شرایط آب‌های زیر زمینی، ضروریست برای کنترل شرایط پایداری تونل تمهیداتی به منظور کاهش سطح مقطع حفاری مانند اجرای چند مرحله ای آن در نظر گرفته شود. مرحله بندی حفاری تونل محدودیت‌هایی اجرایی ایجاد نموده و باید پس از هر مرحله حفاری، در صورت نیاز نگهداری اولیه نصب و سپس حفاری ادامه یابد. شکل (3) چند نمونه از مرحله بندی حفاری تونل و شکل‌های (4) و (5) مثال‌هایی واقعی از آن را نشان می‌دهند.

## 2-3-1- مزایا و معایب اجرای تونل به روش



شکل 3. نمونه‌هایی از مرحله بندی حفاری تونل در روش NATM در شرایط مختلف



شکل 4. حفاری به صورت چند مقطعی در روش NATM



شکل 5. مرحله بندی حفاری تونل با مقاطع بزرگ در روش NATM

### 3- اجرای سیستم نگهداری تونل در روش

می‌دهد.

#### NATM

در این روش با توجه به ویژگی ژئوتکنیکی مسیر حفاری تونل، حداکثر ابعاد مقطع تونل جهت حفاری تعیین شده و پس از هر مرحله حفاری سیستم نگهداری اولیه نصب می‌گردد. پس از اتمام حفاری تاج تونل و کف برداری، نگهداری نهایی تونل (لاینینگ بتنی) اجرا می‌شود.

#### 3-1- اجرای نگهداری اولیه

در این روش نگهداری اولیه تونل می‌تواند شامل شاتکریت مسلح با مش فولادی به همراه قاب‌های فولادی یا لتیس گیر در باشد. به عنوان مثال مطابق برآوردهای اولیه، نگهداری اولیه بخش‌هایی از تونل خط A مترو قم که به روش NATM حفاری می‌شوند، شامل 30 سانتیمتر شاتکریت مسلح با دو لایه مش فولادی و نصب قاب‌های فولادی یا لتیس گیر در با فواصل متوسط یک متر پیش بینی شده است. نکته قابل ذکر اینکه پس از تکمیل مطالعات ژئوتکنیکی مسیر و تحلیل شرایط پایداری تونل، کمیت سیستم نگهداری پیشنهادی تدقیق خواهد شد. شکل (6) نمونه ای از روش اجرای نگهداری اولیه تونل را نشان



شکل 6. اجرای نگهداری اولیه شامل مش و شاتکریت و قاب لتیس گیردر

#### 3-2- اجرای نگهداری دائم

نگهداری دائم تونل‌هایی که به روش NATM اجرا می‌شوند پس از تکمیل عملیات حفاری تاج و کف برداری تونل، انجام می‌شود. اجرای نگهداری دائم تونل‌های با مقاطع بزرگ در چندین مرحله مجزا شامل آرماتوربندی و بتن ریزی کف و آرماتوربندی، قالب گذاری و بتن ریزی دیوارها و سقف تونل انجام می‌شود. مطابق برآوردهای اولیه، نگهداری دائم بخش‌هایی از تونل خط A مترو قم



شکل 9. بتن ریزی روی رادیه کف برای زیر ریل قالب لاینینگ

بعد از بتن ریزی رادیه کف تونل چون مقداری قوس در کف تونل وجود دارد برای اینکه قالب لاینینگ تونل به راحتی بتواند روی رادیه حرکت کند روی رادیه بتن ریزی (شکل 9) می کنند تا سطحی هموار زیر ریل ها ایجاد شود.



شکل 10. نصب عایق ژئوممبران قبل از آرماتوربندی سقف

قبل از آرماتور بندی سقف تونل برای جلوگیری از نشت و ورود آب از سطح زمین به داخل تونل از عایق ژئوممبران (شکل 10) استفاده می شود.



شکل 11. تکمیل آرماتوربندی لاینینگ

که به روش NATM حفاری می شوند، شامل 50 سانتیمتر لاینینگ بتنی مسلح با آرماتور پیش بینی شده است که بر حسب مشخصات ژئوتکنیکی و شرایط پایداری تونل، ضخامت آن تدقیق خواهد شد. شکل های زیر به ترتیب مراحل نگهداری دائم یا همان لاینینگ تونل را نشان می دهد.



شکل 7. آرماتوربندی رادیه کف تونل



شکل 8. بتن ریزی رادیه کف تونل

بعد از حفاری تونل و اجرای تحکیمات موقت، نخستین مرحله اجرای تحکیمات دائم، اجرای آرماتور بندی رادیه کف تونل (شکل 7) می باشد. بعد از آرماتوربندی رادیه کف تونل، بتن ریزی رادیه کف تونل (شکل 8) شروع می شود.



شکل 13. بتن ریزی لاینینگ



شکل 12. قالب لاینینگ تونل



شکل 14. نمایی از تونل بعد از بتن ریزی لاینینگ

#### 4-مراجع

-بخشی پور صداپشته، الف، (1392)، "بررسی عوامل تاثیر گذار بر نتایج ابزار دقیق در تونل‌های غیره مکانیزه (NATM) مترو قم"، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی شبستر.

- مطالعات مفهومی، 1389، پروژه خط A مترو قم.

"-تحلیل پایداری و طراحی سیستم‌های تحکیمات موقت تونل غیرمکانیزه (حداصل ایستگاه A3 تا A2)"، (1391)، موسسه مهندسی مشاور ساحل.

در مرحله بعدی، بعد از اجرای عایق‌های ژئوممبران، آرماتوربندی سقف تونل شروع می‌شود (شکل 11) که البته در این مرحله باید دقت داشت تا به عایق‌ها آسیبی وارد نشود. در شکل 12 نمایی از قالب لاینینگ تونل نشان داده شده است که بیرون از تونل مونتاژ شده و بعد از پایان آرماتوربندی سقف وارد تونل شده و در محل اصلی خود توسط نقشه بردار فیکس می‌شود. شکل 13 بتن ریزی لاینینگ را نشان می‌دهد که بتن توسط پمپ از میکسر به داخل قالب تخلیه می‌گردد و بعد از پایان بتن ریزی و بعد از گیرش بتن و باز کردن قالب (شکل 14) مقطع نهایی تونل نمایان می‌شود. البته در این بتن ریزی استفاده از ویرنه بسیار مهم می‌باشد و نیز در پایان توسط دریچه‌هایی که بر روی قالب وجود دارد باید از تکمیل و پرشدن قالب از بتن اطمینان حاصل کرد.

## Introduced A Method for Drilling a Subway Tunnel and NATM in the Industry

*A. BakhshiPour Sedaposhte, M.sc. Grad., Civil Engineering Earthquake Orientation, Islamic Azad University Shabestar, Shabestar, Iran.*

*E-mail: [arash.bakhshipoor@yahoo.com](mailto:arash.bakhshipoor@yahoo.com)*

Received: May 2016-Accepted: August 2016

**ABSTRACT**

Excavation tunnels subway traditional and mechanized two methods of all sections are done. Method selection the tunnel to the tunnel, project scheduling, overburden status, urban location and traffic, geological conditions, ground level subsidence, and other considerations, the efficiency of the method is dependent. This paper introduces a variety of tunnel excavation methods and the advantages and disadvantages of their perform operations and processes are briefly described. The purpose of this paper is to provide young engineers familiar with the basic concepts are the tunneling industry.

**Keywords:** natm, Tunneling, subway, system maintenance, Ltys



