

---

## REPLACEMENT OF MECHANIZED EXCAVATION METHOD WITH NATM METHOD (WITH 4 VEHICLE CROSS PASSAGES) IN THE WESTERN ALBORZ TUNNEL PROJECT

Mirzaee. Mehran;<sup>1</sup> Hosseini. Seyyede Shilan;<sup>2</sup> Biglar. Mozaffar;<sup>3</sup> Rahimi. Babak;<sup>4</sup>

### Long Abstract

The West Alborz Tunnel is located at the Tehran-Shomal freeway between Pole-Sarhang in the South and Zangouleh bridge in the North. Due to the high length of the tunnel and the high advancement of the TBM machine, a mechanized drilling method was adopted to excavate the tunnel in the first place. However, as a result of existing restrictions on the trade and importing due to general sanctions imposed on Iran, as well as financial shortcomings, NATM method was adopted for drilling part of the project.

Completion of drilling of the Eastern Alborz parallel to the Western Alborz and the existence of 9 vehicle cross passages (VCP) between the two tunnels was a turning point in the replacement of the TBM method with the NATM method. Time, financial, risk and technical aspects of the Western Alborz Tunnel construction were investigated by mechanized method and NATM method with different scenarios (w/o VCP, with 1 VCP, with 2 VCP, with 3 VCP and with 4 VCP).

The time required for the construction of the West Alborz Tunnel is equal to the time required for the NATM tunnel construction with 10 different workflows through 4 vehicle cross passages. The total cost of constructing this tunnel using TBM is estimated to be about 1.36 times the case in which NATM methodology was used to conduct the project.

*Keywords: Western Alborz Tunnel; Vehicle Cross Passage; TBM; NATM.*

---

1- Rahyab Melal Consulting Engineers Company; (memirzaii@aut.ac.ir).

2- Rahyab Melal Consulting Engineers Company; (shilan.hosseini@yahoo.com).

3- Rahyab Melal Consulting Engineers Company; (biglar.mozafar1351@gmail.com).

4- Rahyab Melal Consulting Engineers Company; (babakrahimi.mine@gmail.com).

## جایگزینی روش مکانیزه احداث تونل البرز غربی با روش NATM (حفاری از ۴ دستک)

مهران میرزایی<sup>۱</sup>، سیده شیلان حسینی<sup>۲</sup>، مظفر بیگلر<sup>۳</sup>، بابک رحیمی<sup>۴</sup>

### چکیده بلند فارسی

تونل البرز غربی به طول ۶۳۵۸.۷ متر، در مسیر برگشت بخش انتهایی منطقه دوم آزادراه در حدفاصل پیچ سرهنگ در جنوب و پل زنگوله در شمال، واقع شده است. با توجه به طول زیاد تونل و پیشروی بالای دستگاه TBM، روش حفاری مکانیزه جهت احداث تونل انتخاب شد. با توجه به مشکلات به وجود آمده در زمینه ورود کالا به داخل کشور و همچنین محدودیت تامین ارز، حفاری به روش NATM مطرح گردید. اتمام حفاری البرز شرقی به موازات البرز غربی و وجود ۹ دستک ماشین رو مابین این دو تونل، نقطه عطف مطرح شدن جایگزینی روش TBM با روش NATM بود. فاکتورهای زمانی، ریالی، ریسک و جنبه های فنی احداث تونل البرز غربی به روش مکانیزه و روش NATM با سناریوهای مختلف (بدون استفاده از دستک، استفاده از یک دستک، دو دستک، سه دستک و چهار دستک ماشین رو) مورد بررسی قرار گرفت. زمان مورد نیاز جهت احداث تونل البرز غربی با زمان مورد نیاز جهت احداث تونل به روش NATM با تعداد ۱۰ جبهه مختلف کاری از طریق ۴ دستک ماشین رو، برابر می باشد. هزینه تمام شده احداث این تونل نیز به روش مکانیزه حدود ۱.۳۶ برابر حفاری به روش NATM برآورد شده است. شرایط خاص جامعه و ریسک های مرتبط مهم از جمله نیاز به تامین اعتبار اولیه قابل ملاحظه، تاثیرپذیری خیلی زیاد از شرایط تحریم، انعطاف پذیری کمتر نسبت به تزریق مالی به پروژه و ...، وزنه جایگزینی حفاری به روش مکانیزه را با روش NATM سنگین تر می نمود.

*واژه های کلیدی: تونل البرز غربی، دستک ماشین رو، NATM TBM*

۱. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (memirzaii@aut.ac.ir).

۲. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (shilan.hosseini@yahoo.com).

۳. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (biglar.mozafar1351@gmail.com).

۴. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (babakrahimi.mine@gmail.com).

## جایگزینی روش مکانیزه احداث تونل البرز غربی با روش NATM (حفاری از ۴ دستک)

مهران میرزایی<sup>۱</sup>، سیده شیلان حسینی<sup>۲</sup>، مظفر بیگلر<sup>۳</sup>، بابک رحیمی<sup>۴</sup>

### چکیده

تونل البرز غربی به طول ۶۳۵۸.۷ متر، در مسیر برگشت بخش انتهایی منطقه دوم آزادراه در حدفاصل پیچ سرهنگ در جنوب و پل زنگوله در شمال، واقع شده است. با توجه به طول زیاد تونل و پیشروی بالای دستگاه TBM، روش حفاری مکانیزه جهت احداث تونل انتخاب شد. با توجه به مشکلات به وجود آمده در زمینه ورود کالا به داخل کشور و همچنین محدودیت امکان تامین ارز، حفاری به روش NATM مطرح گردید. اتمام حفاری البرز شرقی به موازات البرز غربی و وجود ۹ دستک ماشینرو مابین این دو تونل، نقطه عطف مطرح شدن جایگزینی روش TBM با روش NATM بود. در این پژوهش با استفاده از دستکهای ماشینرو در موقعیت‌های مختلف به عنوان جبهه حفاری، سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن کلیه جوانب اجرایی و جبران راندمان پیشروی حفاری مکانیزه با استفاده حداکثری از ظرفیت این دستک‌ها، حفاری از چهار دستک و فعال کردن ۱۰ جبهه کاری به عنوان گزینه بهینه انتخاب شد.

واژه های کلیدی: تونل البرز غربی، دستک ماشینرو، NATM/TBM

### ۱- مقدمه

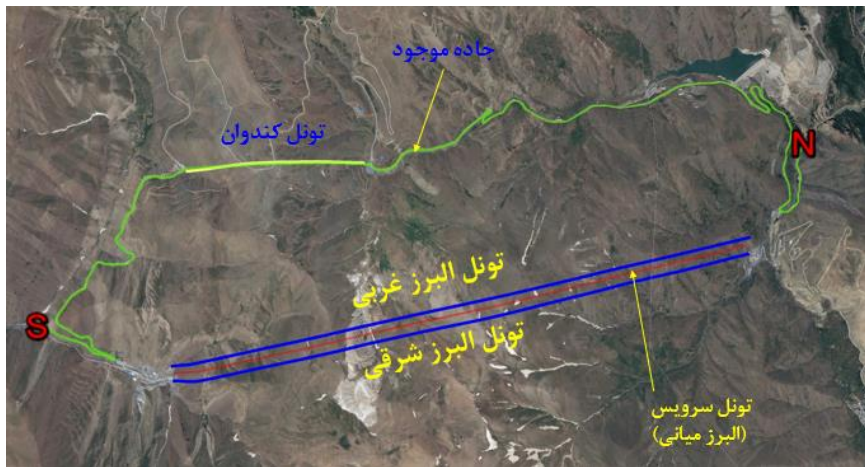
پروژه آزادراه تهران شمال، از منتهی الیه شمال غرب تهران (تقاطع غیر همسطح همت و آزادگان) آغاز شده و با عبور از دل رشته کوه البرز و گذر از سه استان تهران، البرز و مازندران به شهر چالوس (تقاطع غیرهم سطح تنکابن-چالوس) منتهی می شود. این آزادراه دارای طول حدود ۱۲۱ کیلومتری بوده و شامل مناطق ۱، ۲، تونل البرز، ۳ و ۴ می باشد. مجموعه تونلی البرز (شکل ۱) بخش انتهایی منطقه دوم آزادراه را شامل شده و در حدفاصل پیچ سرهنگ در جنوب و پل زنگوله در شمال واقع شده است [1].

۱. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (memirzaii@aut.ac.ir).

۲. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (shilan.hosseini@yahoo.com).

۳. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (biglar.mozafar1351@gmail.com).

۴. مهندسین مشاور راهیاب ملل، (babakrahimi.mine@gmail.com).



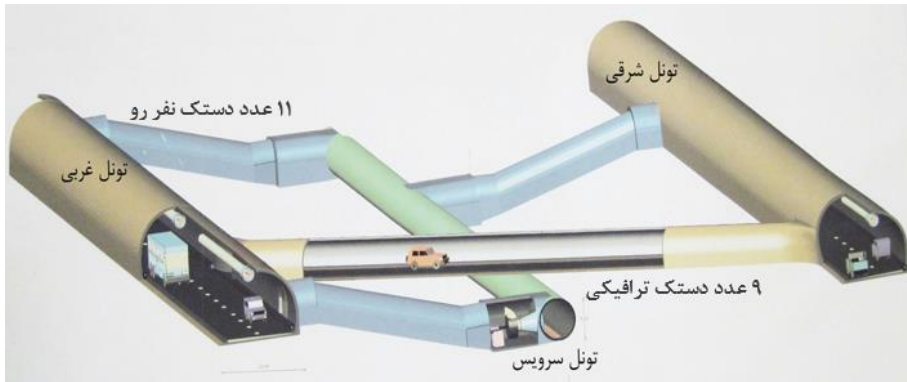
شکل ۱ - پلان تونل البرز بر روی تصویر ماهواره‌ای Google Earth

اهداف اجرای مجموعه تونلی البرز شامل موارد زیر می‌باشد:

- کاهش ۵ کیلومتر از طول مسیر موجود
- کاهش ۱۵ دقیقه ای زمان مسافرت
- حذف گردنه کندوان و کم شدن مخاطرات تردد در محور کرج - چالوس به خصوص در فصل‌های سرد سال.
- اصلاح قوس‌های موجود و تسهیل در تردد.
- کاهش مصرف سوخت

در حال حاضر عملیات احداث تونل شرقی البرز در جریان بوده و حفاری آن از دو دهانه توسط شرکت‌های ساختمانی جنرال مکانیک و تالون به پایان رسیده است. تونل میانی (اکتشافی) این مجموعه که تونل سرویس نامیده می‌شود، پیشتر به روش مکانیزه و با استفاده از یک دستگاه TBM حفاری شده است و برنامه‌ریزی جهت آغاز عملیات احداث تونل غربی البرز نیز در جریان است که موضوع پژوهش حاضر نیز می‌باشد.

تونل البرز غربی به طول ۶۳۵۸.۷ متر است که علاوه بر تونل اصلی، شامل ۱۲ دستگاه پارکینگ، ۱۱ عدد دستک فررو، ۹ عدد دستک ماشین رو و ۳۲ عدد نیچ می‌باشد (شکل ۲). به موازات تونل البرز غربی، تونل البرز شرقی و تونل اکتشافی نیز احداث شده است [1].

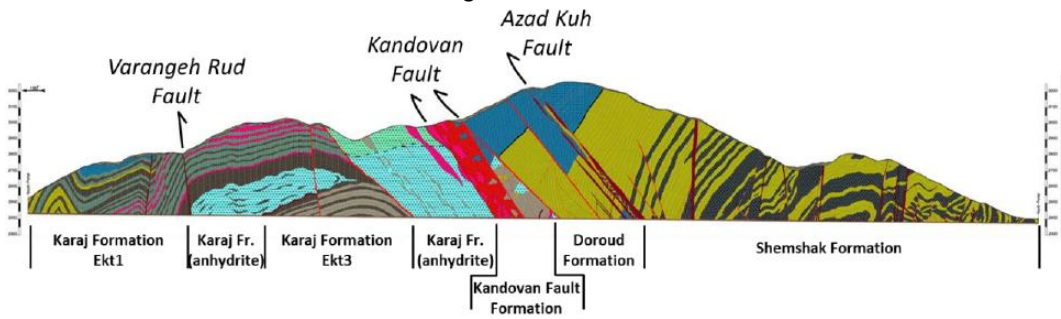


شکل ۲- نمای شماتیک مجموعه تونلی البرز

## ۲-اطلاعات عمومی

### ۱-۲- زمین شناسی عمومی منطقه

پروفیل طولی زمین شناسی که شامل سازندهای دربرگیرنده تونل است، در سال ۲۰۰۹ توسط شرکت لانیز و از طریق جمع آوری اطلاعات ژئوتکنیکی حاصل از حفاری تونل اکتشافی تهیه شده است (شکل ۳). سازندهای زمین شناسی متفاوتی از جمله دورود، شمشک و کرج در طول تونل قابل مشاهده هستند.



GEOLOGICAL PROFILE LEGEND - 1:10'000				

شکل ۳- پروفیل طولی زمین شناسی تونل البرز [1]

## ۲-۲- جایگزینی روش مکانیزه احداث تونل البرز غربی با روش NATM (حفاری از ۴ دستک)

قرارداد احداث تونل البرز غربی با TBM در سال ۱۳۹۷ و بنا به دلایل مختلف از جمله طول تونل، وجود تونل اکتشافی میانی و دراختیارداشتن اطلاعات کامل وضعیت زمین‌شناسی تونل، حساسیت بالای پروژه جهت بهره‌برداری سریع‌تر و ... مبادله گردید.

پیش‌فرض در نظر گرفته شده در روش TBM، حداقل ۱۵ ماه جهت ساخت تا مونتاژ دستگاه TBM در داخل تونل و ۳۶ ماه حفاری و سگمنت‌گذاری (متوسط ماهانه ۱۷۵ متر) برنامه‌ریزی شد. با توجه به روبه‌رو شدن با مشکلات تحریم، زمان‌بندی انتقال دستگاه از محل ساخت به داخل پروژه و ...، سناریوی حفاری به روش NATM از جهات مختلف مطرح شد. در این پژوهش با روش NATM و استفاده از دستک‌های ماشین‌رو در کیلومترهای مختلف به عنوان جبهه حفاری، سناریوهای زیر مطرح و بررسی گردید.

### ۲-۲-۱- سناریوی بدون استفاده از دستک (۲ جبهه فعال)

در این حالت تنها دو جبهه در تونل فعال است.

- دهانه شمالی البرز غربی

- دهانه جنوبی البرز غربی

زمان مورد نیاز جهت حفاری و بهره‌برداری در حالت سناریوی بدون استفاده از دستک در جدول ۱ محاسبه شده است.

جدول ۱- سناریوی بدون استفاده از دستک

تعداد ماه حفاری	متر از باقیمانده لاینینگ بعد از اتمام حفاری (متر)	تعداد ماه جهت بهره‌برداری
59	-	74

### ۲-۲-۲- سناریوی استفاده از یک دستک (۴ جبهه فعال)

در این حالت علاوه بر دهانه شمالی و جنوبی، دو جبهه دیگر نیز در تونل فعال خواهد شد.

- دهانه شمالی البرز غربی

- دهانه جنوبی البرز غربی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۳+۶۰۰ جنوبی البرز شرقی

زمان مورد نیاز جهت حفاری و بهره‌برداری در حالت سناریوی استفاده از یک دستک در جدول ۲ محاسبه شده است.

جدول ۲- سناریوی استفاده از یک دستک

تعداد ماه حفاری	متراژ باقیمانده لاینینگ بعد از اتمام حفاری (متر)	تعداد ماه جهت بهره‌برداری
36	۳۱۰۰	۵۶

## ۱-۲-۲- سناریوی استفاده از دو دستک (۶ جبهه فعال)

در این حالت علاوه بر دهانه شمالی و جنوبی، چهار جبهه دیگر نیز در تونل فعال خواهد شد.

- دهانه شمالی البرز غربی

- دهانه جنوبی البرز غربی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۲+۴۰۰ جنوبی البرز شرقی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۲+۱۵۰ شمالی البرز شرقی

زمان مورد نیاز جهت حفاری و بهره‌برداری در حالت سناریوی استفاده از دو دستک در جدول ۴ محاسبه شده است.

جدول ۳- سناریوی استفاده از دو دستک

تعداد ماه حفاری	متراژ باقیمانده لاینینگ بعد از اتمام حفاری (متر)	تعداد ماه جهت بهره‌برداری
۲۸	۴۰۰۰	۵۰

## ۱-۲-۲- سناریوی استفاده از سه دستک (۸ جبهه فعال)

در این حالت علاوه بر دهانه شمالی و جنوبی، شش جبهه دیگر نیز در تونل فعال خواهد شد.

- دهانه شمالی البرز غربی

- دهانه جنوبی البرز غربی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۱+۸۰۰ جنوبی البرز شرقی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۳+۰۰۰ جنوبی البرز شرقی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۲+۱۵۰ شمالی البرز شرقی

زمان مورد نیاز جهت حفاری و بهره‌برداری در حالت سناریوی استفاده از سه دستک در جدول ۴ محاسبه شده است.

جدول ۴- سناریوی استفاده از سه دستک

تعداد ماه حفاری	متراژ باقیمانده لاینینگ بعد از اتمام حفاری (متر)	تعداد ماه جهت بهره‌برداری

26	۵۰۰۰	۵۱
----	------	----

۱-۲-۲- سناریوی استفاده از چهار دستک (۱۰ جبهه فعال)

در این حالت علاوه بر دهانه شمالی و جنوبی، هشت جبهه دیگر نیز در تونل فعال خواهد شد (Error! Reference source not found).

- دهانه شمالی البرز غربی

- دهانه جنوبی البرز غربی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۱+۲۰۰ جنوبی البرز شرقی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۲+۵۰۰ جنوبی البرز شرقی

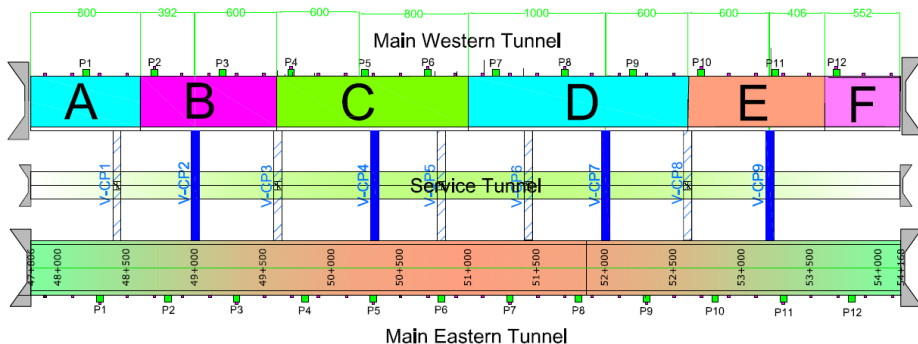
- دو جبهه در دستک کیلومتر ۰+۹۵۰ شمالی البرز شرقی

- دو جبهه در دستک کیلومتر ۲+۱۵۰ شمالی البرز شرقی

زمان مورد نیاز جهت حفاری و بهره‌برداری در سناریوی استفاده از چهار دستک در جدول ۵ محاسبه شده و همچنین نقشه جانمایی دستک‌ها و سهم حفاری هرکدام از جبهات این سناریو در شکل ۴ ارائه شده است.

جدول ۵- سناریوی استفاده از چهار دستک

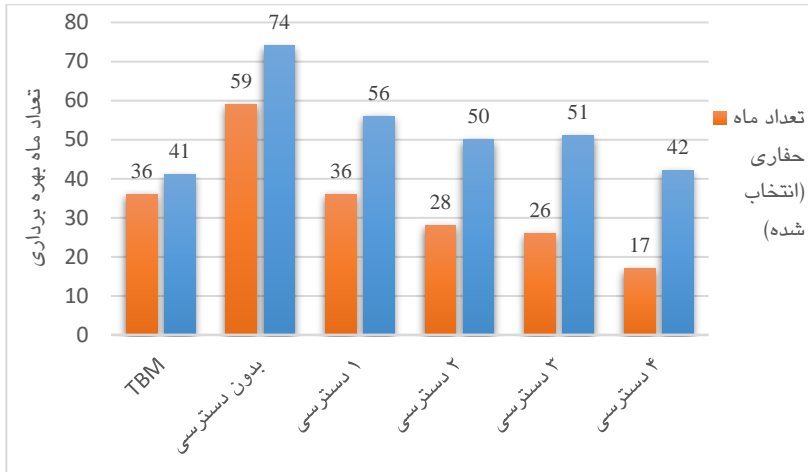
تعداد ماه حفاری	مترائز باقیمانده لاینینگ بعد از اتمام حفاری (متر)	تعداد ماه جهت بهره‌برداری
۱۷	۵۲۰۰	۴۲



شکل ۴-جبهات حفاری تونل البرز با حفاری از چهار دستک



باتوجه به بررسی‌های انجام شده و بادر نظر گرفتن کلیه جوانب اجرایی، حفاری از چهار دستک انتخاب شد (نمودار ۱)، به عبارتی زمان اجرای تونل با دستگاه TBM و گزینه منتخب هر دو برابر با ۴۲ ماه بوده ولی برآورد ریالی این گزینه کمتر از روش TBM است (جدول ۶) [2].



نمودار ۱- مقایسه زمانی احداث تونل البرز با روش TBM و روش NATM  
جدول ۶- مقایسه ریالی احداث تونل البرز با روش TBM و روش NATM

(فهرست بهای پایه سال ۱۳۹۷)

NATM					TBM	سناریوی حفاری
۴ دستک	۳ دستک	۲ دستک	۱ دستک	بدون دستک		
3,000	3,024	3,122	3,272	3,600	4,140	برآورد هزینه پروژه (میلیارد ریال)
4,929	4,959	5,260	5,662	6,757	4,927	جمع کل هزینه با تعدیل (میلیارد ریال)
0	0	0	0	0	1,800	تفاوت ارزش تامین TBM
4,929	4,959	5,260	5,662	6,757	6,727	جمع کل هزینه (میلیارد ریال)

تونلسازی همانند دیگر فعالیت‌های عمرانی با ریسک‌های مختلفی روبه‌رو می‌باشد. در جدول ۷ ریسک‌های موجود در احداث تونل البرز غربی و میزان انعطاف‌پذیری هر یک از روش‌ها در مواجهه با ریسک‌های مطرحی، ارائه شده است [3].

جدول ۷- وضعیت ریسک در دو حالت احداث تونل البرز غربی با TBM و روش NATM

NATM					بدون دستک	TBM	سناریوی حفاری
۴ دستک	۳ دستک	۲ دستک	۱ دستک				
✓	✓	✓	✓	✓	x	عدم نیاز به تامین اعتبار اولیه	
✓	✓	✓	✓	✓	x	تاثیرپذیری پایین از شرایط تحریم	
امکان کاهش جبهه های کاری تا زمان رفع مشکل مالی					x	انعطاف پذیری بیشتر نسبت به تزریق مالی به پروژه	
دسترسی آسانتر به محل استقرار ماشین آلات					x	حل آسان تر مشکلات نقص فنی ماشین-آلات	
✓	✓	✓	✓	✓	x	مطرح نبودن مشکلات ترخیص کالا	

علاوه بر مسائل مالی، زمانی و ریسک، فاکتور ارزیابی فنی از جمله شرایط سنگ دربرگیرنده تونل، ایمنی، تهویه، تداخل عملیات اجرایی و ... نیز در پروژه احداث تونل البرز غربی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. اهم این موارد در جدول ۸ به طور خلاصه مطرح شده است [4].

جدول ۸-مقایسه فنی احداث تونل البرز غربی با TBM و روش NATM

NATM					بدون دستک	TBM	سناریوی حفاری
۴ دستک	۳ دستک	۲ دستک	۱ دستک				
✓	✓	✓	✓	✓	x	انعطاف پذیری در مقابل تغییرات وضعیت زمین	
x	x	x	x	x	✓	آسیب کمتر به توده سنگ پیرامون تونل	
x	x	x	x	x	✓	امنیت بیشتر کارگران	
x	x	x	x	✓	✓	تهویه بهتر	
x	x	x	x	x	✓	انتقال تکنولوژی به داخل کشور	
✓	✓	✓	✓	✓	x	مقطع دایره‌ای شکل و نیاز به اضافه حفاری و اصلاح کف	
x	x	x	x	x	✓	نیاز کمتر به پایدارسازی	
✓	✓	x	x	x	✓	سرعت پیشروی بالا	

NATM					TBM	سناریوی حفاری
۴ دستک	۳ دستک	۲ دستک	۱ دستک	بدون دستک		
x	x	x	x	x	✓	نیاز به تامین فضای کارگاه ساخت سگمنت
x	x	x	x	x	✓	نیاز به برش سگمنت لاینینگ در دسترسی‌ها
x	x	x	x	x	✓	امکان کنترل و هدایت از راه دور
x	x	x	x	x	✓	امکان پیشروی پیوسته
x	x	x	x	x	✓	هزینه سرمایه‌گذاری بالا
x	x	x	x	x	✓	نیاز به تامین برق فشار قوی
✓	✓	✓	✓	✓	x	اشتغال‌زایی
x	x	x	✓	✓	✓	تداخل عملیاتی کمتر

## ۲-۶- نتیجه گیری

فاکتورهای زمانی، ریالی، ریسک و جنبه‌های فنی احداث تونل البرز غربی به روش مکانیزه و روش NATM با سناریوهای مختلف (بدون استفاده از دستک، استفاده از یک دستک، دو دستک، سه دستک و چهار دستک ماشین‌رو) مورد بررسی قرار گرفت.

- زمان موردنیاز جهت احداث تونل البرز غربی با زمان موردنیاز جهت احداث تونل به روش NATM با تعداد ۱۰ جبهه مختلف کاری از طریق ۴ دستک ماشین‌رو، برابر می‌باشد.

- هزینه تمام‌شده احداث این تونل نیز به روش مکانیزه حدود ۱.۳۶ برابر حفاری به روش NATM برآورد شده است.

- شرایط خاص جامعه و ریسک‌های مرتبط مهم از جمله نیاز به تامین اعتبار اولیه هنگفت، تاثیرپذیری خیلی زیاد از شرایط تحریم، انعطاف‌پذیری کمتر نسبت به تزریق مالی به پروژه و ...، وزنه جایگزینی حفاری به روش مکانیزه را با روش NATM سنگین‌تر می‌نمود.

## ۲-۷- تشکر و قدردانی

از کمک و همفکری مدیریت محترم مهندسین مشاور راه‌یاب ملل که در تدوین این پژوهش، یاری‌رسان ما بودند، صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

## ۲-۸- مراجع

[1] GEODATA ENGINEERING.; "TEHRAN-SHOMAL FREEWAY PROJECT DETAILED DESIGN OF ALBORZ MAIN TUNNEL", 2015.

[۲] میرزایی، مهران؛ رستمی، برهان؛ حسینی، سیده شیلان؛ رحیمی، بابک؛ شاکری، آرش؛ "برآورد هزینه احداث تونل با استفاده از شاخص توده سنگ (RMR) در راه‌های اصلی درجه یک و دو، دوخطه و سه خطه(مطالعه موردی: تونل باغان واقع در محور جدید سنندج-مریوان)": ۱۳۹۷.

[۳] Choi H., Cho, H and Seo, J. W., "*Risk Assessment Methodology for Underground Construction Projects*" Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 130, No.2 ASCE, 2004.

[۴] پلاسی، مسعود؛ "تونلسازی، دانشگاه تهران": ۱۳۹۱-۱۳۹۰.