

## محاسبه ضریب بهره‌وری و نرخ پیشروی دستگاه حفاری تمام مقطع TBM در سنگ‌های سخت مطالعه موردی: قطعه 8 تونل انتقال آب قمروند

حسین شریعت علوی<sup>8\*</sup>، رضا کاکایی<sup>2</sup>، مهدی زورآبادی<sup>3</sup>، بهزاد علیزاده صوری<sup>4</sup>، مهدی عبداللہی<sup>5</sup>

1- کارشناس ارشد استخراج معدن، شرکت سایبر، شماره تماس: 86135258933 - 86625889395 E-mail: shariat600@yahoo.com

9- دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

6- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، شرکت علوم زمین پارس، E-mail: mehdi\_zoorabadi@yahoo.com

4- دانشجوی دکترای اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات E-mail: beh.alizadeh@gmail.com

2- کارشناس عمران، شرکت سایبر E-mail: me\_abdollahi@yahoo.com

(دریافت 87 فروردین 8388، پذیرش 29 آذر 8388)

### چکیده

تونل قمروند به طول کلی 35/7 کیلومتر از جمله طرح‌های بزرگ ملی است. برای حفاری قطعه 8 آن به طول 88+388 کیلومتر دستگاه TBM از نوع EPB انتخاب شده است. برای پیش‌بینی نرخ پیشروی و به تبع آن زمان تکمیل حفاری و هزینه‌ها، تخمین ضریب بهره‌وری بسیار حائز اهمیت است. ضریب بهره‌وری به صورت زمان خالص حفاری به کل زمان در دسترس در هر واحد زمین‌شناسی تعریف می‌شود. این ضریب تابعی از شرایط زمین، نوع ماشین، تأسیسات پشتیبانی، مدیریت پروژه و در نهایت تجربه کارکنان است. از مهمترین روش‌هایی که در جهان به منظور پیش‌بینی ضریب بهره‌وری استفاده می‌شود روش‌های NTH و CSM است. در این مقاله مدلی برای رسیدن به ضرایب بهره‌وری که به ضرایب بهره‌وری ایجاد شده در عمل نزدیک‌تر باشند ارائه شده است. سپس با استفاده از این 3 روش ضرایب بهره‌وری در واحدهای مختلف زمین‌شناسی مسیر تونل پیش‌بینی شده و با داده‌های واقعی در 4574 متر که حفاری آن انجام شده مورد مقایسه قرار گرفته و زمان اتمام حفاری تونل نیز پیش‌بینی شده است. هدف از این مقاله ارائه مدلی برای تخمین دقیق‌تر ضرایب بهره‌وری و در نتیجه تصمیم‌گیری صحیح‌تر در مورد زمانبندی پروژه و پیش‌بینی درآمد و هزینه در پروژه‌های حفاری با TBM است.

### کلمات کلیدی

تونل قمروند، حفاری مکانیزه، بهره‌وری، NTH، CSM، مدل جدید

\* نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات

## 8- مقدمه

منطقه اجرای طرح بخشی از حوزه آبریز سرشاخه‌های دز واقع در استان لرستان و بخشی از حوزه قمرود واقع در استان‌های اصفهان و مرکزی است. از دیدگاه جغرافیایی گستره طرح در مختصات جغرافیایی  $46^{\circ}16'$  تا  $46^{\circ}26'$  طول شرقی و  $66^{\circ}89'$  تا  $66^{\circ}15'$  عرض شمالی واقع شده است. محل احداث تونل در استان لرستان، در فاصله تقریباً 98 کیلومتری جنوب شرقی شهرستان الیگودرز واقع شده است [1].

## 3- شرایط زمین‌شناسی عمومی مسیر تونل

مسیر تونل انتقال آب انوج به قمرود از دیدگاه تقسیمات زمین‌شناسی ایران در ناحیه دگرگونی سندانج- سیرجان واقع شده است. این ناحیه در شمال شرقی رو راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته است، لیکن از نظر تاریخچه ساختاری به ایران مرکزی شباهت دارد ولی از سوی دیگر عدم فعالیت آتشفشانی سنوزوئیک و تشابه روند کلی این منطقه با زاگرس آنرا از ایران مرکزی متمایز می‌کند. بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، مسیر تونل از پیچیدگی‌ها و تغییرات زیادی برخوردار است به‌طوری‌که در این مسیر، یا زمین‌های نرم آبرفتی که شامل خاک ریزدانه اشباع که بخش اعظم آبرفت از نوع ماسه سیلتی رس‌دار تا سیلت ماسه‌ای رس‌دار است تا سنگ‌های نرم مانند شیل و شیست و اسلیت‌های زغالی و بالاخره سنگ‌های سخت‌تر مانند آهک و دولومیت‌های دگرگون شده و بعضاً سنگ‌های کوارتزی و متاولکانیک‌ها برخورد می‌شود. در تمام طول مسیر نیز خط پروژه در زیر سطح آب زیرزمینی قرار دارد که این خود بر پیچیدگی مسائل می‌افزاید. مقطع زمین‌شناسی تونل در شکل 1 نشان داده شده است [1].

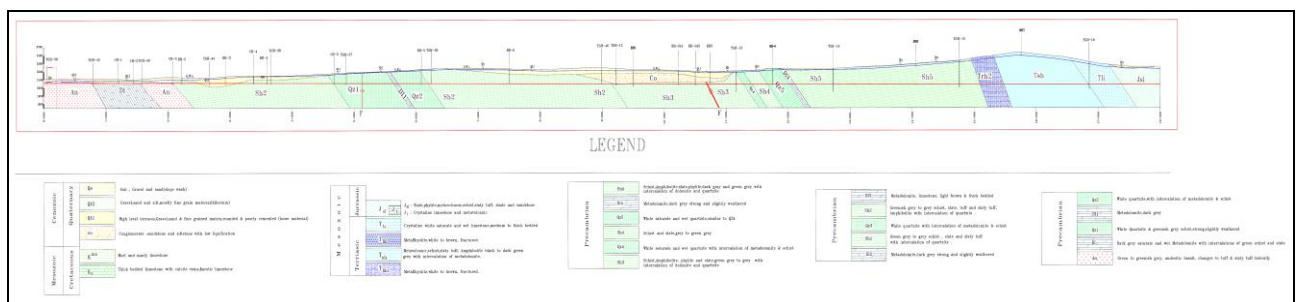
## 4- مقایسه ماشین‌های حفاری مکانیزه

## Double Shield TBM و EPB Single Shield TBM

مقایسه دستگاه‌های TBM تک سپره<sup>1</sup> نوع EPB و TBM دو سپره<sup>2</sup> از لحاظ عملکرد در ادامه آورده شده است.

## 2- موقعیت جغرافیایی تونل

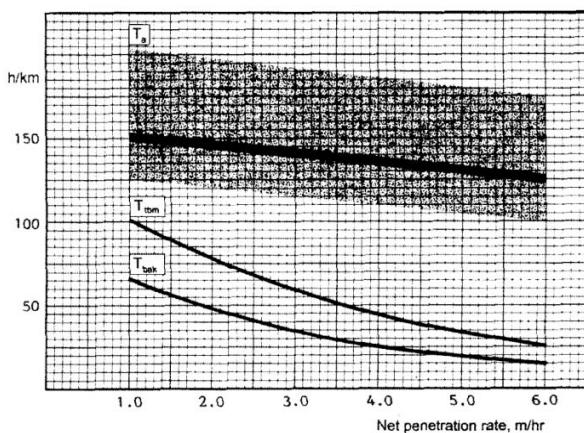
تعداد برش‌دهنده‌های مورد نیاز، هزینه‌های آزمایشگاهی، هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی همه از دوره ساخت پروژه و دوره ساخت پروژه از ضریب بهره‌وری و نرخ نفوذ تأثیر می‌پذیرد که تخمین این دو بسیار مشکل است. مقادیر پایین بهره‌وری در اثر حفاری در شیب، قوس‌ها و شرایط نامساعد زمین، مدیریت ضعیف و خرابی متعدد ماشین حاصل می‌شوند. از طرف دیگر مقادیر بالای بهره‌وری در تونل‌های نسبتاً مستقیم و دارای شیب کم که با مدیریت، تعمیرات و شرایط مساعد زمین همراه می‌شود بدست می‌آید. مواردی که موجب تأخیر در روند حفاری می‌شوند عبارتند از: زمان تعویض برش‌دهنده، تعمیرات زمان‌بندی شده و نشده، جلو راندن ماشین، توقف عملیات به‌خاطر نصب نگهداری یا مشکلات ترابری، قطع برق، مشکلات ناشی از تراوش آب، تعویض شیفت و زمان نهار، تأخیرهای ناشی از کارگران و مسائل متفرقه دیگر. تمام این پارامترها باید برای تعیین واقعی بهره‌وری منظور شوند. از مهم‌ترین روش‌هایی که در جهان به‌منظور پیش‌بینی ضرایب بهره‌وری دستگاه‌های TBM استفاده می‌شود روش‌های NTH و CSM است. در این مقاله ابتدا میزان تأخیرها با استفاده از روش‌های NTH و CSM توضیح داده شده و مدلی برای رسیدن به ضرایب بهره‌وری واقعی‌تر ارائه گردیده است. سپس ضریب بهره‌وری در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی مسیر تونل با استفاده از این سه روش و نیز زمان اتمام حفاری با در نظر گرفتن تأخیرهای هر یک از روش‌ها محاسبه شده است. در نهایت ضرایب بهره‌وری محاسبه شده با سه روش، با ضرایب بهره‌وری واقعی تا کیلومتر 4248 مسیر تونل که شامل 18 واحد زمین‌شناسی است مقایسه گردیده است.



شکل 8: مقطع زمین‌شناسی قطعات 8 و 2 تونل انتقال آب دز - قمرود [8]

تعمیر و نگهداری و سرویس‌دهی TBM ( $T_{TBM}$ ) و تجهیزات back-up ( $T_{back}$ ): زمان مصرف شده برای تعمیر و نگهداری که به نرخ نفوذ بستگی دارد. این تأخیرات طبق شکل 9 بدست می‌آید.

متفرقه ( $T_a$ ): متفرقه شامل نگهداری معمولی سنگ در شرایط خوب سنگ، زمان مورد انتظار برای حمل و نقل، ریل گذاری و جاده، نقشه‌برداری یا حرکت دادن لیزر، آب، کابل الکتریکی، تهویه، تمیز کردن و چیزهای دیگر مثل تعویض شیفت و غیره است.  $T_a$  بر حسب ساعت بر کیلومتر در شکل 9 نشان داده شده است.



شکل 2- تعمیر و نگهداری و تأخیرهای متفرقه به‌عنوان تابعی از نرخ نفوذ خالص [4]

بهره‌وری ماشین به‌صورت رابطه 1 تعریف می‌شود [2] و [3]:

$$u = \frac{100.T_b}{T_b + T_t + T_c + T_{t_{bm}} + T_{bak} + T_a} \quad (1)$$

$$T_b = \frac{1000}{I} \quad (9)$$

$$T_t = \frac{1000.t_{tak}}{60.I_s} \quad (6)$$

$$T_c = \frac{1000.t_c}{60.H_h.I} \quad (4)$$

که در آن

$I$  نرخ نفوذ خالص (m/hr)

$I_s$  طول کورس (به طور نمونه 1/2 تا 9 متر)

$t_{tak}$  زمان گریپر زدن مجدد دستگاه (به‌طور نمونه 4 تا 2 دقیقه)

$t_c$  زمان تعویض ابزار برشی (به‌طور نمونه 42 تا 38 دقیقه)

$H_h$  متوسط عمر حلقه ابزار برشی (hr/cutter)

#### 8-4- ماشین‌های حفر تونل تک سپره از نوع EPB

دستگاه تک سپره EPB نیز نوعی ماشین single با ترکیبی بسیار پیچیده‌تر است زیرا توانایی حفر در سنگ نرم و زمین نرم و آبرفتی و سنگ سخت را دارا است. در این نوع ماشین، نیروی عکس‌العمل لازم برای جلو بردن کاترهد از تکیه دادن جک‌های تراست به پوشش تونل (سگمنت‌های نصب شده در آن) تأمین می‌شود. بنابراین سیکل کاری این ماشین، ناپیوسته است، یعنی هم‌زمان با حفاری نمی‌تواند سگمنت‌گذاری نماید.

#### 4-2- ماشین‌های حفر تونل دو سپره

در این نوع ماشین در صورتی‌که زمین مقاومت مناسب را برای ایجاد رانش با کمک گریپر دارا باشد، ماشین می‌تواند به حفاری و سگمنت‌گذاری مستقل و هم‌زمان بپردازد (سیکل کاری پیوسته) و به همین دلیل سرعت حفاری ماشین‌های دو سپره به‌طور تئوریک دو برابر تک سپره است. در زمین‌های ریزشی و خرد شده که امکان گریپر زدن وجود ندارد، ماشین دو سپره دقیقاً همانند یک ماشین تک سپره پیشروی می‌کند؛ یعنی عمل حفاری با کمک ایجاد نیروی رانش توسط جک‌های انتهای سپر و سپس نصب سگمنت پس از جمع شدن بازوها و جک‌های هیدرولیکی انجام می‌شود.

#### 5- روش‌های موجود برای پیش‌بینی ضریب بهره‌وری و مدل ارائه شده

برای محاسبه ضرایب بهره‌وری در واحدهای مختلف زمین‌شناسی قطعه 1 مسیر تونل از روش‌های NTH, CSM و مدل جدید ارائه شده استفاده شده که در ادامه به بحث در مورد آنها پرداخته شده است.

#### 5-8- روش NTH

بهره‌وری ماشین، مدت زمان حفاری خالص هست که بر حسب درصدی از مدت زمان کلی تونل‌سازی است. مدت زمان کلی تونل‌سازی عبارتست از [4]:

زمان حفاری ( $T_b$ ): که به نرخ نفوذ بستگی دارد.

زمان گریپر زدن مجدد دستگاه ( $T_t$ ): که بستگی به طول کورس دارد و معمولاً برای 1/2 تا 9 متر میانگین 4 تا 2 دقیقه است. این تأخیر در دستگاه‌های Double Shield مطرح است.

زمان تعویض ابزار برشی و بازدید ( $T_c$ ): که بستگی به عمر حلقه ابزار برشی و نرخ نفوذ خالص دارد. زمان مورد نیاز برای تعویض ابزار برشی ممکن است از 68 تا 38 دقیقه به ازای هر ابزار برشی تغییر کند.

## 2-5- روش CSM

این روش تأخیرهای پیش آمده در حین حفاری را به صورت زیر در نظر می گیرد [4].

زمان مورد نیاز جهت تعویض برش دهنده می تواند به صورت درصدی از شیفت بیان گردد. برای سنگ های غیر ساینده این زمان حدود 6٪ شیفت و برای سنگ های خیلی ساینده حدود 98٪ است. تأخیر ناشی از تعویض برش دهنده می تواند برای یک متر حفاری نیز بیان شود. در سنگ های غیرساینده این زمان 8/82-8/89 ساعت بر متر (hr/m) و در سنگ های خیلی ساینده 8/9 ساعت بر متر (hr/m) است. در قوس ها عمر برش دهنده کاهش می یابد. CSM معادله ای را جهت توصیف اثر قوس ها روی عمر برش دهنده ارائه کرده است.

$$f_2 = 1.23 / R \quad (2)$$

CSM از فاکتور اصلاحی  $f_2$  که در عمر نرمال برش دهنده ضرب می شود، جهت بدست آوردن عمر برش دهنده در مناطق منحنی شکل استفاده می کند.

$$f_3 = (hr/m) = 0.030(hr/m) + 409(m.hr) / R^2 \quad (3)$$

فاکتور  $f_3$  برای منظور کردن تأخیرهای ناشی از جلو راندن ماشین، توسط CSM به صورت زیر پیشنهاد شده است. این تأخیر نیز در مورد دستگاه های Double Shield مطرح است.

CSM برای منظور کردن تعمیرات خارج از برنامه زمان بندی، فاکتور تصحیح  $f_4$  را به صورت زیر معرفی می کند.

$f_4$  برابر یک ساعت بازای 1 ساعت حفاری با ماشین در مرحله آغازین حفاری (کارگران بدون تجربه)

$f_4$  برابر 8/694 ساعت بازای 1 ساعت حفاری ماشین بعد از آغاز حفاری (کسب تجربه)

تعمیرات زمان بندی شده، بررسی کاترهد و روغن کاری، حدود 8/834 ساعت تأخیر در 1 ساعت حفاری با TBM ایجاد می کند.

تأخیرات ناشی از عملیات نقشه برداری برای تونل های مستقیم، 8/8866 ساعت بر متر حفاری شده از تونل است.

$$SurveyDelay(hr/m) = 0.0033 + 192 / R^2 \quad (4)$$

برای قوس ها تأخیر ناشی از نقشه برداری از رابطه (4) محاسبه می شود.

R شعاع قوس به متر است.

برای مقادیر ناچیز تراوش آب، تأخیر وابسته به آن حدود 8/8823 ساعت بر متر حفاری شده از تونل است. در شرایطی که تراوش آب حدود 4-6 متر مکعب بر دقیقه در یک متر تونل است، تأخیر ناشی از وجود آب حدود 8/852 ساعت بر متر حفاری شده از تونل است. در نرخ های تراوش بالاتر ( $15m^3 / min / m$ ) که عملیات تزریق نیز صورت می گیرد، این تأخیر تا 9 ساعت بر متر حفاری شده از تونل می رسد. تأخیرات ناشی از سیستم ترابری می تواند با توجه به شیب تونل، جهت حفاری و سیستم ترابری مورد استفاده تعیین گردد در جدول 1 برخی راهنمایی های کلی در این مورد آورده شده است.

جدول 8: تأخیرات ناشی از سیستم ترابری [7]

تأخیر hr/m	سیستم ترابری	توصیف تونل
8/112	کامیون	آغاز حفاری مرحله تولید
8/841	نوار نقاله	12- تا 1- درجه رو به پایین
8/822	واگن و ریل	1- تا 6+ درجه
8/841	نوار نقاله	12+ تا 6+ درجه رو به بالا

$$Utility\ Delays(hr/m\ of\ tunnel) = 0/030 + 0/0013G \quad (5)$$

تأخیرات ناشی از خدمات رسانی نیز به شیب تونل بستگی دارد و به صورت رابطه (5) تعیین می شود. G شیب تونل و واحد آن درجه است.

تأخیرات ناشی از نصب پوشش موقت تابعی از کیفیت توده سنگ است. در روش CSM از رده بندی RMR برای تعیین تأخیر ناشی از نصب نگهداری استفاده شده که در جدول 9 آورده شده است.

جدول 9: تأخیرات ناشی از نصب پوشش [7]

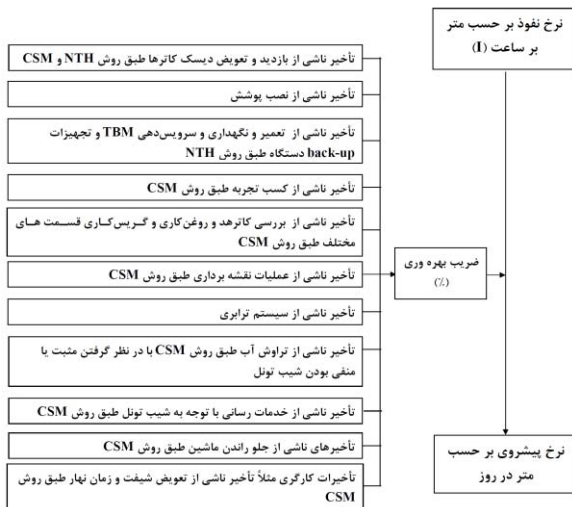
RMR	تأخیر (ساعت بر متر حفاری شده از تونل)
I	8
II	8
III	8
IV	8/895
V	8/846

تأخیرات کارگری مثلاً تأخیر ناشی از تعویض شیفت و زمان نهار نیز باید ارزیابی گردد. CSM منظور کردن حدود 9٪ از کل زمان شیفت را برای این تأخیرها پیشنهاد می کند.

## 3-5- مدل ارائه شده جدید

با توجه به اینکه روش CSM تمامی تأخیرهای متفرقه را با دقت بیشتری شامل می شود بنابراین با بکار بردن ترکیبی از تأخیرهای روش NTH و CSM با هم، یعنی تأخیرهای روش

مدل در نظر گرفته شده بدین منظور به صورت فلوجارتی در شکل 6 ارائه شده است.



شکل 3: فلوجارت کلی مدل جدید ارائه شده

#### 4-5- معایب روش‌های NTH و CSM به‌منظور تخمین ضریب بهره‌وری

روش NTH تأخیر ناشی از نصب سیستم نگهداری را در قالب تأخیرهای متفرقه که بسیار پایین تر از آنچه در واقعیت است در نظر می‌گیرد ضمن اینکه توضیح دقیقی در مورد تأخیر ناشی از نصب سیستم نگهداری و مقدار آن در این روش ذکر نشده است. تأخیرهای متفرقه‌ای که در روش CSM توضیح داده شده مقدار هر یک از آنها در روش NTH مشخص نیست و تأخیرات متفرقه کلی در نظر گرفته شده و مقدار آن بسیار پایین تر از واقعیت است. به‌عبارتی این روش راندمان و نرخ پیشروی بالایی را پیش‌بینی می‌کند. لازم به ذکر است که در تخمین ضریب بهره‌وری با استفاده از روش NTH مقدار تأخیر ناشی از نصب سگمنت 98 تا 92 دقیقه بازای هر سیکل حفاری که در عمل ثبت شده در نظر گرفته شده است.

روش CSM نیز برخی از تأخیرها از جمله تعمیرات دستگاه TBM و قسمت Back Up آنرا در نظر نمی‌گیرد که زمان قابل توجهی را در پروژه‌های حفاری با TBM به خود اختصاص می‌دهد و ضمناً زمان در نظر گرفته شده به‌منظور نصب سیستم نگهداری (سگمنت) با استفاده از این روش در مورد دستگاه‌های تک سپره که سیکل کاری آنها به‌صورت ناپیوسته است بسیار پایین است در صورتی‌که در واقعیت زمانی چندین برابر زمان در نظر گرفته شده صرف انجام این کار می‌شود.

NTH و در نظر گرفتن تأخیرهای متفرقه با استفاده از روش CSM، مدلی جدید برای محاسبه ضرایب بهره‌وری در واحدهای مختلف زمین‌شناسی مسیر تونل ارائه شده است.

#### 5-3-8- تأخیرهای مدل

تأخیر ناشی از بازدید و تعویض دیسک کاترها طبق روش NTH و CSM

تأخیر ناشی از تعمیر و نگهداری و سرویس‌دهی TBM و تجهیزات back-up دستگاه طبق شکل 9 در روش NTH تأخیر ناشی از نصب پوشش (سگمنت) که در این رابطه هیچیک از روش‌های NTH و CSM مقدار صحیحی در نظر نمی‌گیرد زیرا روش NTH این تأخیر را لحاظ نکرده است و روش CSM نیز در ماکزیمم مقدار 8/846 ساعت بر متر حفاری شده از تونل در نظر می‌گیرد یعنی برای هر سیکل پیشروی در قطعه 1 تونل که 1/6 متر است تنها 6/62 دقیقه در نظر می‌گیرد این در حالیست که بازای نصب کامل هر رینگ سگمنت زمانی در حدود 98 تا 92 دقیقه صرف می‌شود. البته در دستگاه‌های Double Shield هنگامی که دستگاه به‌صورت پیوسته حفاری می‌کند زمان این تأخیر صفر در نظر گرفته می‌شود.

تأخیر ناشی از کسب تجربه طبق روش CSM که این تأخیر شامل کسب تجربه لازم در هر زون زمین‌شناسی و همچنین کسب تجربه در مورد تعمیر و نگهداری و سرویس‌دهی TBM و تجهیزات back-up آن و بررسی کاترهد است.

تأخیر ناشی از بررسی کاترهد و روغن کاری و گریس‌کاری قسمت‌های مختلف طبق روش CSM

تأخیر ناشی از عملیات نقشه برداری طبق روش CSM تأخیر ناشی از سیستم ترابری تا قبل از نصب سوئیچ کالیفرنیا 8/822 ساعت بر متر حفاری شده از تونل و بعد از نصب سوئیچ کالیفرنیا 8/862 ساعت بر متر حفاری شده از تونل لحاظ می‌شود.

تأخیر ناشی از تراوش آب طبق روش CSM با در نظر گرفتن مثبت یا منفی بودن شیب تونل

تأخیر ناشی از خدمات رسانی با توجه به شیب تونل طبق روش CSM

تأخیرهای ناشی از جلوگیری از رانندگی ماشین که در مورد دستگاه‌های Double Shield مطرح است.

تأخیرات کارگری مثلاً تأخیر ناشی از تعویض شیفت و زمان نهار طبق روش CSM

جدول 3: واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل (قطعه 8)

[8]

متراژ (m)	نام واحد	توده سنگ‌های مسیر تونل
8-628	An	آندزیت
628-588	GSch1	شیست متوسط با سنگ آهک دولومیتی دگرگون شده
588-616	GSch2	شیست ضعیف با سنگ آهک دولومیتی دگرگون شده
616-1688	all	آبرفت (ماسه سیلتی رس دار تا سیلت ماسه ای رس دار)
1688-9688	GSch3	شیست، متاکوارتزیت، متاگرانودیوریت و متادیوریت همراه با زون‌های خرد شده نسبتاً زیاد
9688-6188	all	آبرفت (ماسه سیلتی رس دار تا سیلت ماسه ای رس دار)
6188-6928	GSch4	شیست دارای زون‌های شکسته و خرد شده به همراه متاکوارتزیت مقاوم
6928-6288	GSch5	شیست دارای زون‌های شکسته و خرد شده به همراه متاکوارتزیت مقاوم
6288-6328	GSch4	شیست دارای زون‌های شکسته و خرد شده به همراه متاکوارتزیت مقاوم
6328-4328	MQ	متاکوارتزیت مقاوم با میان لایه‌های شیست با مقاومت متوسط
4328-3688	ML	سنگ آهک متامورفیک و متادیوریت با کیفیت بالا به همراه میان لایه‌های شیستی
3688-3488	GSch6	شیست با کیفیت متوسط
3488-4428	GSch7	شیست با کیفیت پایین و بسیار خرد شده شبیه به آبرفت
4428-5488	GSch8	شیست با کیفیت متوسط به بالا
5488-6288	Sh3	شیست و اسلیت
6288-6688	QLa	گل‌سنگ، ماسه سنگ و کلنگلومرا
6688-18388	Shc	شیست و اسلیت زغال‌دار
18388-18553	Sh3	شیست و اسلیت
18553-11844	MDL4	متادولومیت همراه با آهک‌های دولومیتی
11844-11611	AS1	آمفیبولیت شیست

$K_s$  که از شکل 3 تعیین می‌شود، مربوط به سنگی با  $DRI=49$  است و برای مقادیر دیگر  $DRI$  می‌بایست از یک فاکتور تصحیح دیگری به نام  $K_{DRI}$  استفاده کرد. برای تعیین  $K_{DRI}$  می‌توان از نمودار شکل 3 استفاده کرد [2].

## 5-5- مزایای مدل جدید

مدل ارائه شده جدید که بصورت ترکیبی است تأخیرات ناشی از نصب سیستم نگهداری را بین 98 تا 92 دقیقه بازای هر سیکل حفاری با توجه به داده‌های ثبت شده در نظر می‌گیرد که این تأخیر در دستگاه‌های دو سپره هنگامی که شرایط زمین مساعد است و دستگاه به صورت پیوسته حفاری می‌کند صفر در نظر گرفته می‌شود. تأخیرات متفرقه‌ای که در روش CSM به طور کامل در نظر گرفته شده‌اند در این مدل لحاظ شده است. تعمیرات دستگاه TBM و قسمت Back Up آن نیز در این روش لحاظ شده‌اند. تأخیر ناشی از سیستم ترابری نیز با لحاظ کردن نصب و یا عدم نصب سوئیچ کالیفرنیا در نظر گرفته شده است. تأخیر ناشی از مثبت یا منفی بودن شیب تونل نیز در این روش به حساب آورده شده است.

## 6- تخمین ضریب بهره‌وری برای واحدهای

## زمین‌شناسی مسیر تونل

واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل انتقال آب قمرود (قطعه 1) در جدول 6 آورده شده است.

به منظور تخمین ضریب بهره‌وری ابتدا بایستی مقدار نرخ نفوذ در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی مسیر تونل پیش‌بینی شده که بدین منظور از روش NTH که بر اساس 968 کیلومتر تونلسازی است استفاده شده است.

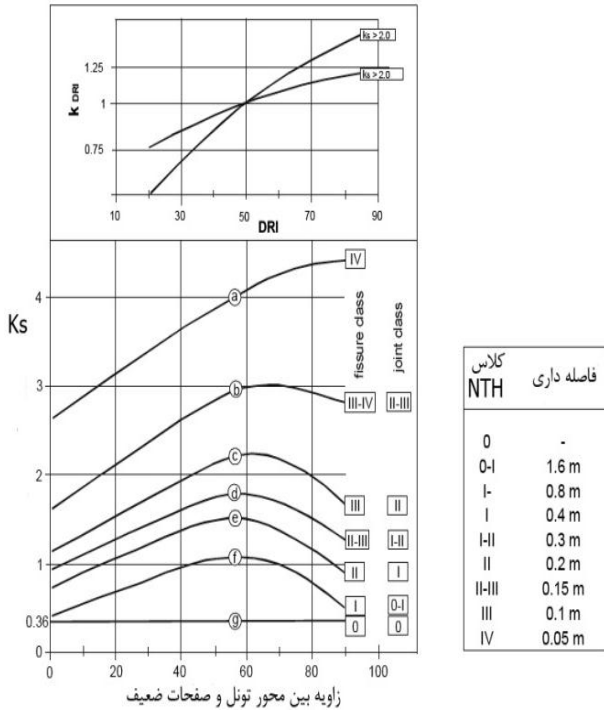
## 6-8- روش NTH برای محاسبه نرخ نفوذ

این روش به طور خلاصه در قالب فلوجارتی در شکل 4 و پارامترهای مربوطه نیز در ادامه آورده شده است.

$DRI^3$ : شاخص نرخ حفاری است که برای تعدادی سنگ در شکل 2 نشان داده شده است.

علاوه بر شکل 2 روش آزمایشگاهی نیز برای تعیین  $DRI$  دقیق تر موجود است.

فاکتور شکستگی<sup>4</sup> ( $K_s$ ): اثر کلاس شکستگی و زاویه بین محور تونل و صفحات ضعیف را با هم ترکیب می‌کند که در شکل 3 نشان داده شده است. فاکتور  $K_s$  در فرمولی برای محاسبه نرخ نفوذ استفاده می‌شود [4].



شکل 6: درجه بندی فاکتور درزه‌داری  $k_s$  به‌عنوان یک تابع از فاصله‌داری درزه‌ها و شکاف‌ها، تعدیل  $k_s$  برای دیگر مقادیر DRI نسبت به 49 است [9]

جدول 4: نیروی عمودی مجاز روی ابزار برشی [4]

ماکزیمم نیروی عمودی روی ابزار برشی (KN)	قطر ابزار برشی	
	in	mm
148-138	14	623
158-988	12/2	664
998-948	14	469
958-688	16	456

برای قطرهای ابزار برشی متفاوت از 456 mm و میانگین فاصله ابزارهای برشی متفاوت از 48mm، نیروی عمودی معادل با استفاده از رابطه 18 تعیین می‌شود [4].

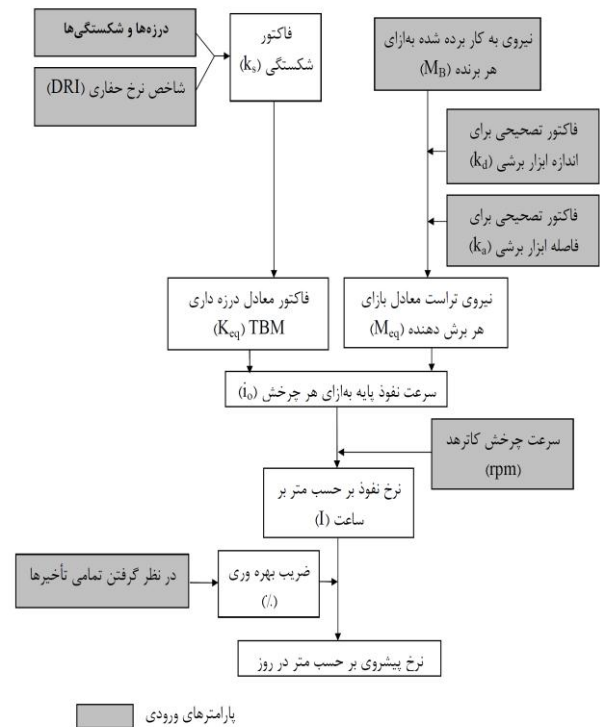
$$M_{eqv} = M_B \times K_d \times K_a \quad (KN / Cutter) \quad (18)$$

$K_d$  فاکتور تصحیح قطر ابزار برشی،  $K_a$  فاکتور تصحیح فاصله بین ابزار برشی است.

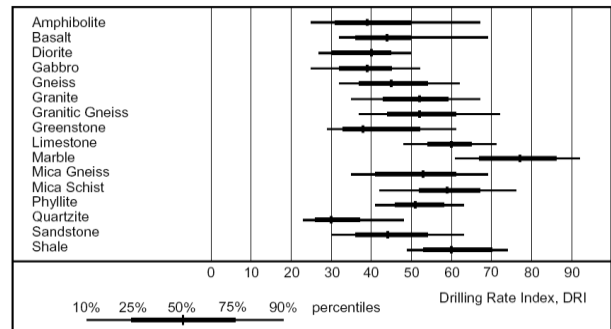
برای به‌دست آوردن فاکتورهای  $K_d$  و  $K_a$  می‌توان از روابط 11 و 19 استفاده کرد.

$$K_d = 2.35 - 0.0028D_c \quad (11)$$

$$K_a = 1.35 - 0.005S_c \quad (19)$$



شکل 4: فلوجارت کلی روش NTH (After Bruland, 1998)



شکل 5: DRI ثبت شده برای انواع مختلف سنگ [5]

فاکتور شکستگی معادل  $(K_{eqv})^5$ : مشخصات توده سنگ را به‌عنوان فاکتور شکستگی  $K_s$  تنظیم شده برای مقدار DRI بیان می‌کند [4].

$$K_{eqv} = K_s \times K_{DRI} \quad (6)$$

نیروی عمودی (تراست)  $(M_B)^6$ : نیروی عمودی ناخالص TBM که بر روی تعداد ابزار برشی تقسیم می‌شود. بنابراین محاسبه عملی نیروی تراست در این مدل، به معنی میانگین نیروی عمودی همه ابزار برشی روی کاترهد (KN/cutter) است [4].

حداکثر میانگین نیروی عمودی ناخالص توصیه شده برای TBMها با قطرهای مختلف ابزار برشی در جدول 4 نشان داده شده است.

در واحدهای آبرفتی میزان نفوذ واقعی حدود 98 تا 28 میلی‌متر در دقیقه است. در این نوع زمین‌ها به دلیل تأخیرات ناشی از محدود شدن سرعت حفاری (از آنجایی که در آبرفت‌ها، TBM به صورت روش بسته<sup>9</sup> یا نیمه بسته<sup>10</sup> کار می‌کند) و به منظور کاهش میزان گشتاور<sup>11</sup> و جریان برق مصرفی، میزان نیروی عمودی کاهش می‌یابد و در مجموع پیشروی نیز کاهش می‌یابد [5].

به عبارتی با در نظر گرفتن میانگین این مقدار یعنی 62 میلی‌متر در دقیقه، آن‌گاه نرخ نفوذ معادل 9/1 متر بر ساعت می‌شود و با در نظر گرفتن ضریب بهره‌وری 13 تا 98 درصد، که بستگی به نوع خاک و میزان چسبندگی آن و مقدار نفوذ آب و میزان تجربه کارکنان دارد، مقدار نرخ پیشروی روزانه در واحدهای آبرفتی برابر با 5/83 تا 18/85 متر در روز خواهد بود. در عمل نیز مقدار نرخ پیشروی روزانه در حدود 4-18 متر در روز به دست آورده شده است. در جدول 2 نیز نرخ نفوذ در واحدهای آبرفتی 9/1 متر بر ساعت و ضریب بهره‌وری به ترتیب 14 و 16 درصد در نظر گرفته شده است. بالا بودن ضریب بهره‌وری در واحد آبرفتی دوم به علت کسب تجربه لازم در زون آبرفتی اول است.

#### 6-2- محاسبه ضرایب بهره‌وری با استفاده از روش‌های NTH و CSM و مدل ارائه شده جدید

در این قسمت با استفاده از روش‌های NTH، CSM و مدل ارائه شده جدید و تأخیرهای مطرح شده در هر یک از این روش‌ها، به تعیین ضریب بهره‌وری در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی مسیر تونل پرداخته شد و نرخ پیشروی روزانه از حاصلضرب نرخ نفوذ در ضریب بهره‌وری برآورد شده است که نتایج نرخ نفوذهای پیش‌بینی شده، نرخ نفوذهای واقعی تا مترای 4248، ضرایب بهره‌وری و نرخ پیشروی‌های روزانه پیش‌بینی شده مسیر تونل در جدول 2 آورده شده است.

با استفاده از ضرایب بهره‌وری و نرخ پیشروی‌های روزانه برآورد شده در جدول 2 و با در نظر گرفتن 688 روز کاری در سال (هر روز کاری شامل 6 شیفت 5 ساعته است که در روزهای جمعه بصورت یک در میان 9 شیفت کاری تعطیل است و در یک شیفت حفاری انجام می‌شود و در هفته در 9 شیفت کاری نیز عملیات تعمیر و نگهداری دستگاه طبق مدارک و کاتالوگ سازنده دستگاه TBM صورت می‌پذیرد. به عبارتی در هر 9 هفته در 3 شیفت و در هر سال در 123 شیفت عملیات حفاری صورت نمی‌گیرد. مدت 16 روز یعنی 66 شیفت نیز به منظور چند روز اول تعطیلات در عید نوروز، برخی از تعطیلات رسمی کشور و بازدیدهایی که در طول سال

که  $D_c$  و  $S_c$  به ترتیب قطر و فاصله بین ابزار برشی بر حسب میلی‌متر می‌باشند.

**نرخ نفوذ پایه<sup>7</sup> ( $i_o$ ):** بعد از بدست آوردن پارامترهای ذکر شده در بالا حال می‌توان  $i_o$  یعنی نرخ نفوذ پایه بر حسب میلی‌متر بازای هر دور چرخش را از رابطه 16 محاسبه کرد [6]. برای  $K_{eq} < 3.5$  داریم:

$$i_o = F \times K_{eq}^G \quad (16)$$

$$F = 0.0015 M_{eq}^{1.5} \quad (14)$$

$$G = 30 K_{eq}^{-0.5} \times M_{eq}^{-0.8} \quad (12)$$

$$i_o = 0.03 M_{eq} \times K_{eq}^{0.18} \quad (13)$$

برای  $K_{eq} > 3.5$  نیز می‌توان از رابطه تقریبی 13 استفاده کرد.

**نرخ نفوذ خالص<sup>8</sup> (I):** نرخ نفوذ خالص تابعی از نفوذ پایه و سرعت چرخش کاترهد است [4].

$$I = i_o \times rpm \times (60/1000) \quad (m/hr) \quad (14)$$

rpm: سرعت چرخش کاترهد بر حسب دور بر دقیقه

#### 6-8-8-6- محاسبه نرخ نفوذ در واحدهای مختلف زمین‌شناسی قطعه 8 مسیر تونل

نرخ نفوذهای پیش‌بینی شده برای هر یک از واحدهای مسیر، با استفاده از روش NTH در جدول 2 آورده شده است [6] و [2]. نرخ نفوذهای واقعی بدست آمده در 18 واحد زمین‌شناسی ابتدای مسیر تونل که حفاری آن به اتمام رسیده است نیز در جدول 2 نشان داده شده است [9]. نتایج حاکی از این مطلب است که نرخ نفوذهای پیش‌بینی شده با استفاده از روش NTH تطابق خوبی با واقعیت دارد و نتایج آن مورد اطمینان است.

لازم به ذکر است که در طولی از مسیر تونل که از مناطق آبرفتی عبور می‌کند روش‌های NTH و CSM قادر به پیش‌بینی نرخ نفوذ نمی‌باشند زیرا Q (شاخص کیفیت توده سنگ) و درزه و ناپیوستگی برای این مناطق تعریف نمی‌شود، در نتیجه برای محاسبه نرخ نفوذ در این مناطق به صورت زیر عمل شده است.



$$T_m = (1/3.03) \times 1650 \times 0.067 = 36.5 \text{ hr}$$

تأخیرات ناشی از عملیات نقشه برداری طبق رابطه 4:

$$T_{\text{Survey Delay}} = 0.0033 \times 1650 = 5.45 \text{ hr}$$

تأخیر ناشی از سیستم ترابری با توجه به اینکه قبل از شروع به حفاری واحد ML سوئیچ کالیفرنیا در تونل نصب شده است.

$$T_t = 0.035 \times 1650 = 57.75 \text{ hr}$$

تأخیر ناشی از تراوش آب طبق روش CSM:

$$T_w = 0.085 \times 1650 = 140.25 \text{ hr}$$

تأخیرات ناشی از خدمات رسانی طبق رابطه (5):

$$T_{\text{Utility delays}} = (0.030 + 0.0013 \times 0.0750) \times 1650 = 49.66 \text{ hr}$$

تأخیرات کارگری مثلاً تأخیر ناشی از تعویض شیفت و زمان نهار طبق روش CSM:

$$T_s = (1/3.03) \times 1650 \times 0.02 \times 8 = 87.16 \text{ hr}$$

تأخیرهای ناشی از جلو راندن ماشین که این تأخیر در مورد دستگاه‌های Double Shield مطرح است.

زمان کل تأخیرهای بدست آورده شده برابر است با:

$$T_{\text{Delays}} = 48.45 + 99 + 57.75 + 486.5 + 721.3 + 36.5 + 5.45 + 57.75 + 140.25 + 49.66 + 87.16 = 1789.77 \text{ hr}$$

در نتیجه بهره وری برابر خواهد بود با:

$$u = \frac{544.75}{544.75 + 1789.77} \times 100 = 23 - 1 = 22\%$$

1 درصد از ضریب بهره‌وری به خاطر منفی بودن شیب تونل و مشکلات ناشی از آن کاسته شده است.

بعد از پیش‌بینی ضرایب بهره‌وری و نرخ پیشروی‌های روزانه توسط روش‌های NTH و CSM و روش جدید، برای مشخص شدن این‌که نتایج کدامیک از این روش‌ها دقیق‌تر است لازم است که مقدارهای برآورد شده با مقدارهای واقعی مقایسه گردد.

توسط مقامات رسمی کشور صورت می‌پذیرد در نظر گرفته شده است. بنابراین در طول سال در 162 شیفت (32 روز) عملیات حفاری صورت نمی‌گیرد) زمان لازم برای حفاری 3441 متر باقیمانده مسیر تونل و متوسط ضریب بهره‌وری مطابق جدول 3 پیش‌بینی شده است.

درصد هر یک از تأخیرها در حالت در نظر گرفتن ترکیبی تأخیرهای روش NTH و تأخیرهای متفرقه لحاظ شده در روش CSM (مدل ارائه شده جدید) در واحد زمین شناسی ML در شکل 4 نشان داده شده و طریقه محاسبات نیز در واحد مربوطه در ادامه آورده شده است.

نرخ نفوذ محاسبه شده در واحد ML، 6/86 متر بر ساعت طبق روش NTH بدست آورده شده است.

زمان حفاری و تأخیرات لحاظ شده در واحد ML به طول 1328 متر به صورت زیر می‌باشد:

زمان حفاری:

$$T_b = (1/3.03) \times 1650 = 544.75 \text{ hr}$$

زمان مورد نیاز جهت تعویض برش‌دهنده‌ها می‌تواند طبق روش NTH و یا CSM به صورت زیر محاسبه گردد.  $H_n$  متوسط عمر حلقه ابزار برشی می‌باشد که با استفاده از روش NTH بدست آورده می‌شود و از ذکر جزئیات آن در این تحقیق صرف‌نظر شده است.

$$T_c = \frac{1000.t_c}{60.H_n.I} = \frac{1000 \times 55}{60 \times 10.31 \times 3.03} \times 1.650 = 48.45 \text{ hr}$$

$$T_C = 0.03 \times 1650 = 49.5 \text{ hr}$$

طبق شکل 9 با توجه به اینکه نرخ نفوذ محاسبه شده 6/86 می‌باشد در نتیجه  $T_{\text{TBM}}=60$  و  $T_{\text{back}}=35$  بدست می‌آید که به صورت زیر زمان تأخیر ناشی از تعمیر و نگهداری و سرویس‌دهی TBM ( $T_{\text{TBM}}$ ) و تجهیزات back-up ( $T_{\text{back}}$ ) بدست می‌آید.

$$T_{\text{TBM}} = 60 / 1000 \times 1650 = 99 \text{ hr}$$

$$T_{\text{back}} = 35 / 1000 \times 1650 = 57.75 \text{ hr}$$

تأخیر ناشی از نصب پوشش:

$$T_l = (1650/1.3) \times (23/60) = 486.5 \text{ hr}$$

تأخیر ناشی از کسب تجربه طبق روش CSM:

$$T_e = (1/3.03) \times 1650 \times 1.324 = 721.3 \text{ hr}$$

تأخیر ناشی از تعمیرات، بررسی کاترهد و روغن‌کاری طبق روش CSM

جدول 5: نرخ نفوذ، ضریب بهره‌وری و نرخ پیشروی روزانه پیش‌بینی شده در هر یک از واحدهای زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های NTH، CSM و مدل ارائه شده جدید [3]

نام واحد زمین‌شناسی	متر (m)	نرخ نفوذ (m/hr)	نرخ پیشروی روزانه (m/day)	NTH روش		CSM روش		مدل ارائه شده جدید
				ضریب بهره‌وری (%)	نرخ پیشروی روزانه (m/day)	ضریب بهره‌وری (%)	نرخ پیشروی روزانه (m/day)	
An	8-628	9/28	12/86	48	94/94	69	15/68	92
GSch1	628-588	9/53	19/41	65	93/93	94	13/16	15
GSch2	588-616	6/86	18/86	64	94/84	16	16/42	14
all	616-1688	9/18	5/24	14	5/24	14	5/24	14
GSch3	1688-9688	9/64	13/84	64	93/43	96	98/61	96
all	9688-6188	9/18	6/25	16	6/25	16	6/25	16
GSch4	6188-6928	9/64	12/63	64	93/95	95	16/48	96
GSch5	6928-6288	9/64	13/82	64	93/49	95	16/38	96
GSch4	6288-6328	9/64	12/63	64	93/95	95	16/48	96
MQ	6328-4328	9/48	14/64	65	94/58	96	15/44	96
ML	4328-3688	6/86	13/66	64	93/56	92	14/59	99
GSch6	3688-3488	9/54	6/51	65	93/11	98	16/96	14
GSch7	3488-4428	4/81	11/98	69	61/84	14	12/55	19
GSch8	4428-5488	9/45	13/96	66	92/46	99	14/64	94
Sh3	5488-6288	6/81	13/16	64	93/31	95	16/54	99
Qla	6288-6688	4/81	16/23	69	61/13	93	94/24	98
Shc	6688-18388	6/26	14/65	64	96/86	94	99/42	91
Sh3	18388-18553	6/81	13/16	64	93/31	95	16/54	99
MDL 4	18553-11844	4/68	98/64	61	69/61	92	92/95	98
AS1	11844-11611	9/55	6/54	65	93/93	98	16/45	14

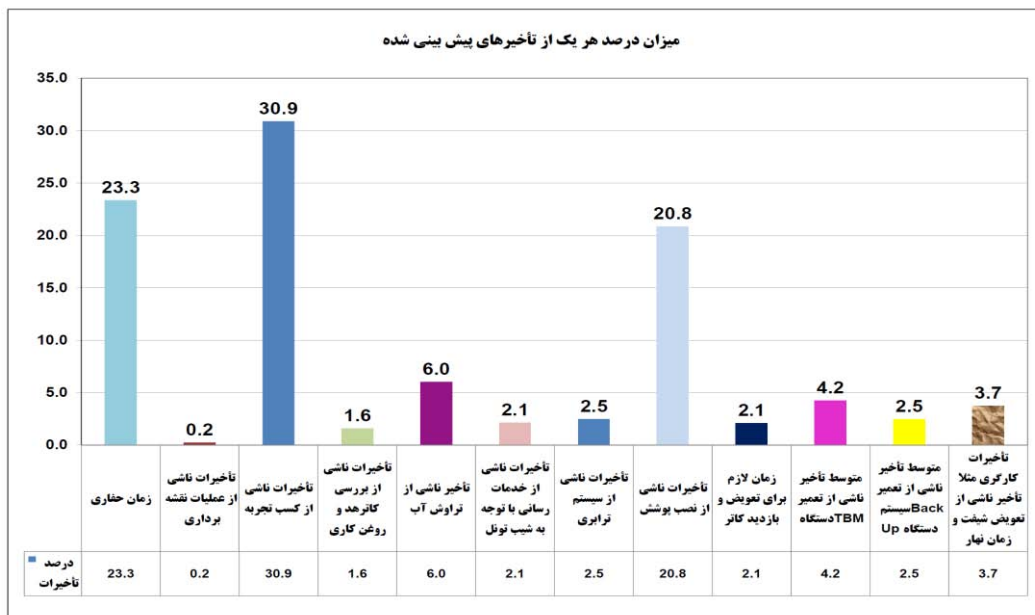
جدول 6: متوسط ضریب بهره‌وری و زمان لازم پیش‌بینی شده برای حفاری 88388 متر و 6748 متر باقیمانده مسیر تونل با استفاده از روش‌های NTH و CSM و مدل ارائه شده جدید

مدت زمان لازم برای حفاری (ماه)	متوسط بهره‌وری برای 11611 متر (ماه)	متوسط بهره‌وری برای 3441 متر باقیمانده تونل (%)	مدت زمان لازم برای حفاری 11611 متر (ماه)	متوسط بهره‌وری برای 3441 متر باقیمانده تونل (%)
18	64/24	62/56	96	62/56
14	94/1	96/44	68	96/44
15	16/46	16/34	62	16/34

تعداد سگمنت‌های نصب شده در ابتدای مسیر تونل کم بوده است، بنابراین امکان اعمال نیروی عمودی<sup>12</sup> کافی وجود نداشت (منظور از نیروی تراست نیرویی است که جک‌های تراست دستگاه که تعداد آنها 18 جفت است بر سگمنت‌های نصب شده در مسیر تونل اعمال می‌کند تا امکان جلو بردن کاترهد دستگاه و انجام حفاری لازم صورت پذیرد)، از طرفی تجربه حفاری نیز در ابتدای مسیر پایین بوده است و در نتیجه نرخ پیشروی کاهش پیدا کرده است.

### 7- نتایج واقعی حاصل از حفاری TBM در تونل قمروود

ماشین حفاری مکانیزه تونل قمروود تا تاریخ 55/3/3 متر از 4248/49 پیشروی داشته که متوسط نرخ پیشروی روزانه TBM و بهره‌وری آن در این واحدهای زمین‌شناسی و نتایج پیش‌بینی بوسیله روش‌های مختلف در جدول 4 و شکل 5 و شکل 6 آورده شده است. لازم به ذکر است که در واحد An از آنجایی که در ابتدای مسیر تونل قرار داشت و

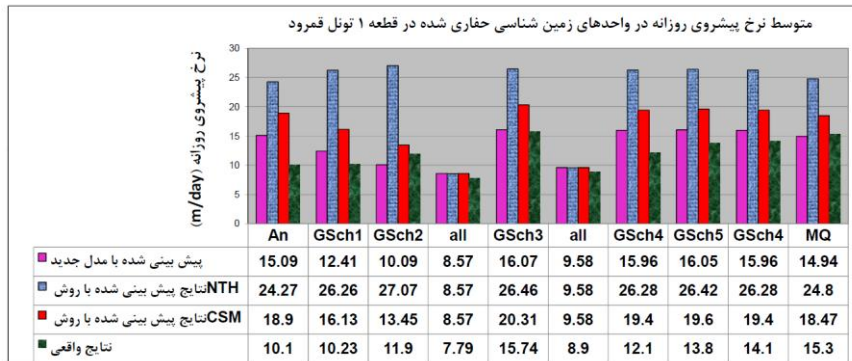


شکل 7: درصد هر یک از تأخیرها در مدل ارائه شده جدید در واحد ML [3]

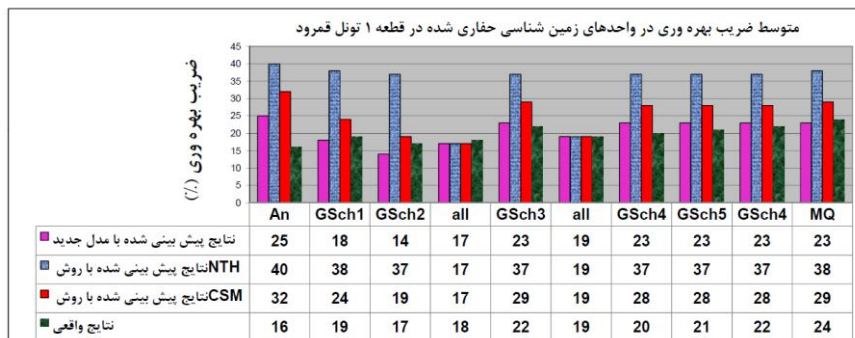
جدول 7: متوسط نرخ پیشروی روزانه و ضریب بهره‌وری واقعی و پیش‌بینی شده در مسیر تونل قمروود (قطعه 8) [2] و [3]

واحد زمین‌شناسی تونل	متر از (m)	داده‌های واقعی		مدل ارائه شده جدید		روش NTH		روش CSM	
		متوسط نرخ پیشروی روزانه (m/day)	متوسط ضریب بهره‌وری (%)	متوسط نرخ پیشروی روزانه (m/day)	متوسط ضریب بهره‌وری (%)	متوسط نرخ پیشروی روزانه (m/day)	متوسط ضریب بهره‌وری (%)	متوسط نرخ پیشروی روزانه (m/day)	متوسط ضریب بهره‌وری (%)
An	8-628	18/1	13	12/86	92	94/94	48	15/68	69
GSch1	628-588	18/96	16	19/41	15	93/93	65	13/16	94
GSch2	588-616	11/6	14	18/86	14	94/84	64	16/42	16
all	616-1688	4/46	15	5/24	14	5/24	14	5/24	14
GSch3	1688-9688	12/44	99	13/84	96	93/43	64	98/61	96
all	9688-6188	5/6	16	6/25	16	6/25	16	6/25	16
GSch4	6188-6928	19/1	98	12/63	96	93/95	64	16/48	95
GSch5	6928-6288	16/5	91	13/82	96	93/49	64	16/38	95
GSch4	6288-6328	14/1	99	12/63	96	93/95	64	16/48	95

96	15/44	65	94/58	96	14/64	94	12/6	6328-4328	MQ
----	-------	----	-------	----	-------	----	------	-----------	----



شکل 8: مقایسه نتایج پیش بینی نرخ پیشروی TBM با داده‌های واقعی [2] و [3]



شکل 9: مقایسه نتایج پیش بینی ضریب بهره‌وری TBM با داده‌های واقعی [2] و [3]

15-16 درصد بوده است بنابراین در اینجا می‌توان گفت که مدل ارائه شده جدید بسیار دقیق‌تر است. بنابراین می‌توان تخمین زد که حفاری تونل در طی مدت 1 سال و 3 ماه دیگر به پایان خواهد رسید.

پیشنهاد می‌گردد که به منظور تخمین نرخ نفوذ دستگاه‌های TBM از روش NTH استفاده گردد زیرا طبق جدول 2 و جدول 5 تطابق خوبی با واقعیت دارد و برای تخمین ضریب بهره‌وری و پیش بینی عملکرد TBM و در نهایت تخمین زمان اتمام حفاری از مدل ارائه شده در این مقاله استفاده گردد. زیرا روش NTH بسیاری از تأخیرها از جمله نصب سیستم نگهداری و بسیاری تأخیرهای متفرقه توضیح داده شده را در نظر نمی‌گیرد در نتیجه راندمان و نرخ پیشروی بالایی را پیش‌بینی می‌کند. ضمن اینکه روش CSM نیز برخی از تأخیرها از جمله تعمیرات دستگاه TBM و قسمت Back Up آنرا در نظر نمی‌گیرد که زمان قابل توجهی را در پروژه‌های حفاری با TBM به خود اختصاص می‌دهد و ضمناً زمان در نظر گرفته شده به منظور نصب سیستم نگهداری (سگمنت) با استفاده از این روش در مورد دستگاه‌های تک سپره که سیکل کاری آنها به صورت ناپیوسته است بسیار

## 8- نتیجه گیری

- طبق جدول 5 با مقایسه نتایج واقعی به دست آمده از نرخ نفوذ، ضرایب بهره‌وری و نرخ پیشروی‌های روزانه با مقدارهای پیش‌بینی شده توسط روش 6 مشاهده می‌شود که در حالت در نظر گرفتن تأخیرهای متفرقه با استفاده از روش CSM به همراه تأخیرهای روش NTH ضرایب بهره‌وری دقیق‌تر محاسبه شده و در نتیجه نرخ پیشروی روزانه پیش‌بینی شده به واقعیت بسیار نزدیک‌تر می‌شود.
- روش CSM نسبت به روش NTH به طور کامل‌تر و با دقت بیشتری به پیش‌بینی تأخیرهای متفرقه در محاسبه ضریب بهره‌وری پرداخته است. به طوریکه هنگامی که برای محاسبه ضریب بهره‌وری از ترکیب تأخیرهای روش NTH و تأخیرهای متفرقه لحاظ شده در روش CSM استفاده می‌کنیم، متوسط ضریب بهره‌وری حدوداً 16/46 درصد بدست می‌آید، در صورتی که با در نظر گرفتن تأخیرهای متفرقه با استفاده از روش‌های NTH و CSM متوسط ضریب بهره‌وری به ترتیب حدوداً 64/24 و 94/1 درصد می‌شود. نظر به اینکه در پروژه‌های مشابه به علت تأخیرهای پیش‌آمده و توقف‌های دستگاه، متوسط ضریب بهره‌وری در عمل برابر با 12-14 درصد برآورد گردیده است و در تونل قمرود نیز

پایین است در صورتی که در واقعیت زمانی چندین برابر زمان در نظر گرفته شده صرف انجام این کار می‌شود. جدول 8: متوسط زمان‌های حفاری، سگمنت گذاری و تأخیرات در هفته‌های مختلف در زون زمین شناسی (MQ (3650-4650) و [2] و [3]

عملکرد حفاری پروژه دز قمرود - قطعه 1

متوسط زمان های حفاری، سگمنت گذاری و تأخیرات در هفته های مختلف در زون زمین شناسی (MQ (3650-4650)

میانگین زمان حفاری و هر یک از تأخیرات بصورت واقعی	درصد حفاری، سگمنت گذاری و هر یک از تأخیرات بصورت واقعی	درصد حفاری، سگمنت گذاری و هر یک از تأخیرات بصورت واقعی	درصد حفاری، سگمنت گذاری و هر یک از تأخیرات بصورت واقعی	درصد حفاری، سگمنت گذاری و هر یک از تأخیرات بصورت واقعی	متوسط زمان های حفاری، سگمنت گذاری و تأخیرات در هفته های مختلف در زون زمین شناسی (MQ (3650-4650)									
					۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۲۲۸۵	۲۴.۲	۲۳	۳۸	۲۹	۲۴۱۵	۱۷۱۰	۲۷۲۰	۱۴۴۰	۳۱۵۰	۱۹۸۰	۲۵۲۰	۲۵۲۰	۲۱۰۰	زمان حفاری (دقیقه)
۷۱۵۵	۷۵.۸	۷۷	۶۲	۷۱	۷۶۶۵	۶۹۲۰	۷۲۳۰	۷۲۰۰	۶۹۳۰	۶۶۶۰	۷۵۶۰	۶۱۲۰	۷۹۸۰	کل زمان تأخیرات (دقیقه)
۱۹۷۷	۲۰.۹	۱۷	۲۷.۸	۲۰	۱۹۹۵	۱۳۵۰	۲۳۱۰	۱۴۴۰	۲۸۷۰	۱۸۶۰	۲۳۱۰	۱۹۸۰	۱۶۸۰	زمان نصب سگمنت (دقیقه)
۴۲۹	۴.۵	۳.۴	۰	۴	۳۸۵	۳۹۰	۳۸۵	۵۴۰	۵۲۵	۳۳۰	۵۹۵	۳۶۰	۳۵۰	تأخیر ناشی از سیستم ترابری (انتظار لوگو) (دقیقه)
۹۹	۱.۱	۰.۷	۰	۰.۷۶	۱۴۰	۱۲۰	۱۴۰	۹۰	۷۰	۹۰	۷۰	۰	۱۷۵	تأخیر ناشی از عملیات نقشه برداری و کسب تجربه لازم (دقیقه)
۳۰۴	۳.۲	۳.۷	۶.۲	۷.۱	۳۱۵	۲۷۰	۱۴۰	۲۳۰	۲۴۵	۳۹۰	۳۱۵	۴۲۰	۳۱۵	تأخیر ناشی از بازدید و تعویض دیسک کاترها (دقیقه)
۲۶۳۴	۲۷.۹	۷.۵	۱۲.۴	-	۳۲۲۵	۳۲۱۰	۳۲۲۵	۳۱۵۰	۱۴۲۵	۲۲۲۰	۱۷۱۵	۲۲۸۰	۳۰۴۵	تأخیر ناشی از تعمیر و نگهداری و سرویس دهی TBM و تجهیزات back-up (نقص فنی کرین، ارکتور، اسکرور، قطع برق و مشکل الکترونیک، مشکل هیدرومکانیک) و maintenance دستگاه و تعویض داکت تهویه و لوله های پمپاژ (دقیقه)
														کسب تجربه لازم (دقیقه)
۳۸۴	۴.۱	۴.۵	۰	۵	۳۸۵	۴۵۰	۳۸۵	۴۵۰	۲۴۵	۳۶۰	۵۲۵	۲۷۰	۳۸۵	تأخیر ناشی از بررسی کاترهد و روغن کاری و گریس کاری قسمت های مختلف و کسب تجربه لازم (دقیقه)
۹۶۷	۱۰.۲	۹.۴	۰	۱۲	۷۳۵	۷۸۰	۳۱۵	۸۴۰	۱۱۹۰	۱۰۸۰	۱۵۷۵	۵۱۰	۱۶۸۰	بالا بودن سطح آب و مشکلات ناشی از منفی بودن شیب تونل (دقیقه)
۳۶۰	۳.۸	۳.۷	۰	۵	۳۸۵	۳۶۰	۳۵۰	۳۶۰	۳۵۰	۳۳۰	۴۵۵	۳۰۰	۳۵۰	تعویض شیفت و زمان نهار و شام (دقیقه)
														تأخیرات متفرقه (دقیقه)
۲۴	۲۴	۲۳	۳۸	۲۹	۲۴	۲۰	۲۷	۱۷	۳۱	۲۳	۲۵	۲۹	۲۱	راندمان حفاری در هفته (%)
۱۵.۳	۱۴.۹	۱۴.۹	۲۴.۸	۱۸.۵										

## منابع

- [1] گزارشات زمین‌شناسی و مکانیک سنگی قطعه 8 تونل انتقال آب قمرود، شرکت مهندسی سابیر، 1654.
- [9] گزارشات حفاری مکانیزه قطعه 8 تونل انتقال آب قمرود، شرکت مهندسی سابیر، 1654-1655.
- [6] شریعت علوی، حسین، 1654، پیش بینی عملکرد TBM قطعات 8 و 2 تونل انتقال آب دز - قمرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

## پی‌نوشت

- 1 Single Shield
- 2 Double Shield
- 3 Drilling Rate Index
- 4 Fracturing Factor
- 5 Equivalent Fracturing Factor
- 6 Cutter Thrust
- 7 Basic Pene<sup>7</sup> Cutter Thrust
- 8 Net Penetration Rate
- 9 Close mode
- 10 Semi-closed mode
- 11 Torque

- [4] ITA / AITES Working Group No. 14, 2000, Recommendations and Guidelines for Tunnel Boring Machines (TBM), www.ita-aites.org, pp.1-118.
- [5] Bruland, A., 1998, Hard Rock Tunnel Boring, Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- [6] Bruland, A., 2002, Prediction Model For Performance and Costs, The Norwegian University of Science and Technology.

---

<sup>12</sup> Thrust Force