Archive of SID

نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"

Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME)

دوره پنجم، شماره دهم، سال 1389، صفحه 65 تا 71

Vol. 5, No. 10, 2010, pp.65-71

تخمین ضریب بهره‌وری TBM بر اساس شاخص‌های سیستم طبقه‌بندی مهندسی سنگ و نیروی نفوذ ماشین

مرتضی احمدی[1*]؛ حمیدرضا نجاتی[2]

1- دانشیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، Email: moahmadi@modares.ac.ir

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ، دانشگاه تربیت مدرس، Email: nejatihmd@gmail.com

(دریافت 6 مهر 1387، پذیرش 21 شهریور 1389)

چکیده

تخمین نرخ پیشروی ماشین‌های حفر تونل، به منظور تعیین برنامهٔ زمانی و برآورد هزینه‌های اجرایی در پروژه‌های تونلسازی با حفر مکانیزه، ضروری می‌باشد؛ برای این منظور لازم است تا ضریب بهره‌وری ماشین حفر تونل مشخص شده تا براساس آن نرخ پیشروی ماشین تعیین شود. هدف از انجام این مطالعه تعیین ضریب بهره‌وری ماشین TBM باز، بر اساس سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ (RMR و Q) و نیروی نفوذ ماشین می‌باشد. برای این منظور مجموعه ای از داده‌های مربوط به تونلسازی با ماشین TBM باز جمع آوری شده و با انجام آزمون پیرسن بر روی داده‌ها میزان همبستگی ضریب بهره‌وری با RMR، Q، نیروی نفوذ تیغه، NRMR (RMR اصلاح نشده) و MQ (Q اصلاح شده) تعیین شده است. از آنجایی که ضریب بهره‌وری ماشین TBM ارتباط نزدیکی با وضعیت پایداری تونل‌ها دارد؛ انتظار می‌رود شاخص‌های مربوط به سیستم‌های طبقه‌بندی مهندسی سنگ ارتباط نزدیکی با ضریب بهره‌وری ماشین‌های حفر تونل داشته باشند. بر اساس تحلیل‌های انجام شده مشخص شده است که رابطهٔ معناداری بین ضریب بهره‌وری و شاخص‌های MQ و NRMR وجود دارد؛ لذا پس از بررسی روابط متعدد، مناسب ترین رابطه برای تخمین ضریب بهره‌وری ماشین‌های TBM باز، بر اساس شاخص‌های MQ، NRMR، نیروی نفوذ تیغهٔ ماشین و همچنین با در نظر گرفتن سایر تاخیرهای اجرایی ارائه شده است.

کلمات کلیدی

ضریب بهره‌وری، TBM باز، تحلیل آماری، طبقه‌بندی مهندسی سنگ، نیروی نفوذ ماشین

* نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

تخمین هزینه‌های پیشنهادی برای حفاری با TBM در سنگ سخت نیازمند تعیین زمان حفاری می‌باشد. مدت زمان انجام پروژه عمدتاً به نرخ پیشروی ماشین وابسته است که تعیین دقیق این پارامتر هم معمولاً مشکل است. نرخ پیشروی TBM از دو پارامتر مهم تاثیر می‌پذیرد؛ یکی زمان حفاری و دیگری زمان نگهداری فضای حفاری شده که عامل زمان حفاری در پارامتر نرخ نفوذ مطرح می‌شود. زمان نگهداری تونل و نیز دیگر زمان‌های غیر تولیدی مانند زمانهای مربوط به تعویض شیفت‌ها، قطع برق، تاخیر ماک‌ها، خرابی ماشین و غیره باید در پارامتر ضریب بهره‌وری ماشین نمایان شود[1].

نرخ نفوذ TBM در برخی از پروژه‌ها می‌تواند به 10 متر در ساعت برسد در حالی که نرخ پیشروی در مواردی به 0/005 (و یا حتی صفر) متر بر ساعت محدود می‌شود. این حقیقت نشان دهندهٔ اهمیت عوامل تعیین کننده و ضرورت درک درست از آنها در حفر تونل می‌باشد. لذا شاید در هیچ فعالیت دیگری طبقه‌بندی مهندسی سنگ‌ها به این اندازه دارای اهمیت نباشد[2].

در این مطالعه تلاش می‌شود تا با بررسی رابطهٔ بین شاخص‌های RMR، Q و نیروی نفوذ ماشین با ضریب بهره‌وری ماشین TBM باز رابطهٔ مناسبی را برای تخمین ضریب بهره‌وری ماشین ارائه شود.

2- ضریب بهره‌وری TBM

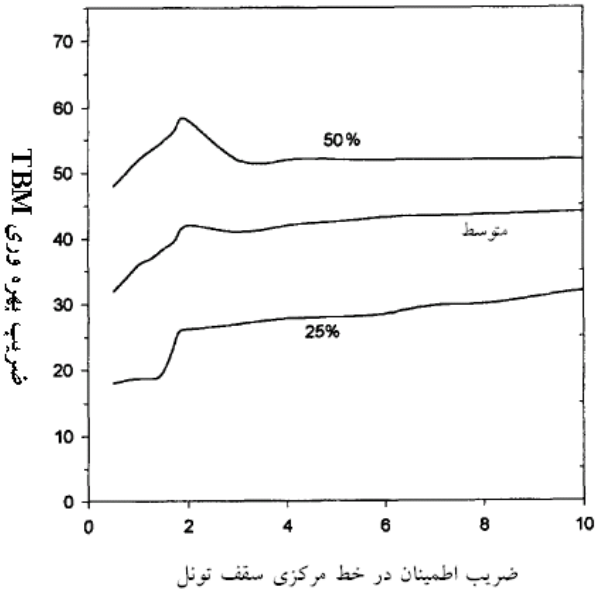
طبق تعریف نسبت بخشی از زمان اجرای تونل که در طی آن TBM به کار گرفته می‌شود به کل زمان اجرای تونل ضریب بهره‌وری نامیده می‌شود که این ضریب بسیار به خصوصیات سنگ وابسته است. مقدار ضریب بهره‌وری در بسیاری از پروژه‌ها به طور متوسط بین 50-30 درصد می‌باشد. در سنگ‌های با کیفیت کم اگر چه نرخ نفوذ ماشین می‌تواند بسیار بالا باشد اما بدون شک این نوع سنگ‌ها نیاز به نگهداری داشته و در برخی موارد به علت خاصیت فشارندگی زیاد آنها و مشکلات پایداری شدید باعث کاهش فوق العادهٔ ضریب بهره‌وری به 10-5 درصد و حتی کمتر هم می‌رسد[3].

اگر چه در روند کار ماشین TBM، موارد متعددی ممکن است باعث تاخیر در پیشروی ماشین شوند و روی ضریب بهره‌وری ماشین تاثیر بگذارند ولی ضریب بهره‌وری TBM به طور عمده به تاخیر ناشی از نصب نگهداری تونل وابسته است[4].

آلبر به نقل از بوچی (1984) بیان می‌کند که ضریب بهره‌وری TBM با افزایش تناوب ناپیوستگی‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین [4] در تحقیق خود تنها بر اساس مقدار نگهداری مورد نیاز تونل به تخمین مقدار ضریب بهره‌وری TBM می‌پردازد. برای این منظور برای سنگ‌های در برگیرندهٔ تونل ضریب اطمینانی را به صورت زیر بیان می‌کند.

$$FS = \frac{\sigma_{CM}}{\sigma_{\theta}} \qquad (1)$$

که در آن FS ضریب اطمینان سنگ در برگیرندهٔ تونل، σ_{CM} مقاومت تک محوری فشاری تودهٔ سنگ و σ_{θ} تنش مماسی در دیوارهٔ تونل می‌باشد. آلبر با بررسی بیش از 100 کیلومتر تونل رابطهٔ بین ضریب اطمینان سقف تونل و ضریب بهره‌وری TBM را به صورت شکل 1 توصیف می‌نماید.



شکل 1: ضریب بهره‌وری TBM به عنوان تابعی از ضریب اطمینان در خط مرکزی سقف تونل [1]

همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است در توده سنگ‌های پایدار (FS > 2) ضریب بهره‌وری TBM در دامنهٔ 50 - 25 درصد و به طور متوسط 40 درصد می‌باشد. برای ضریب اطمینان بین 1/25 تا 2 متوسط ضریب بهره‌وری به 35 درصد کاهش می‌یابد و برای ضریب اطمینان کمتر از 1/25 ضریب بهره‌وری TBM کمتر از 35 درصد بوده و در شرایطی که ضریب اطمینان تا صفر کاهش می‌یابد ممکن است مقدار ضریب بهره‌وری TBM نیز به صفر نزدیک شود[1].

اگر چه در مدل NTH، برای محاسبهٔ ضریب بهره‌وری ماشین رابطهٔ مشخصی پیشنهاد شده است؛ اما استفاده از آن رابطه و تعیین ضریب بهره‌وری ماشین به سادگی امکان‌پذیر

www.SID.ir

Archive of SID

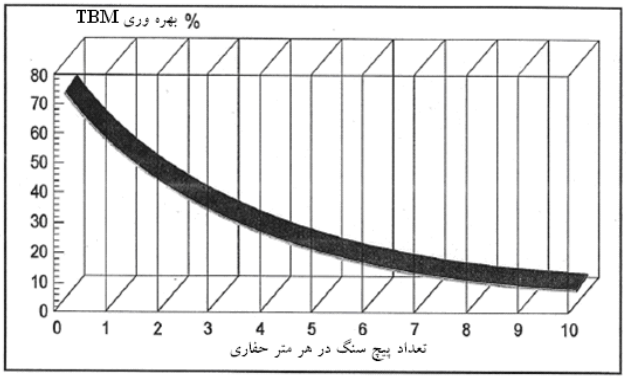
نمی‌باشد و معمولاً در پروژه‌هایی که از روش NTH برای پیش‌بینی نرخ نفوذ ماشین حفر تونل استفاده می‌شود ضریب بهره‌وری ماشین از طریق مقایسهٔ با پروژه‌های مشابه به صورت تقریبی در نظر گرفته می‌شود که در بسیاری از موارد منجر به خطای بزرگی در تخمین می‌شود[5].

بارتن (2000) بر اساس شاخص کیفیت تودهٔ سنگ (Q) رابطهٔ زیر را برای تخمین ضریب بهره‌وری TBM پیشنهاد می‌کند[2].

$$U = T^m \quad (m/h) \qquad (2)$$

که در آن T زمان انجام حفاری بر حسب ساعت در یک بازهٔ زمانی مشخص بوده و m گرادیان کاهش پیشروی می‌باشد. اگر چه در تعیین ضریب بهره‌وری ماشین، بارتن از پارامترهای نظیر قطر تونل، شاخص عمر تیغه، درصد کوارتز موجود در سنگ و تخلخل استفاده کرده است ولی شاخص کیفیت تودهٔ سنگ (Q) سهم بسیار بیشتری در تعیین مقدار شیب کاهش پیشروی(m) دارد[2].

بارتن به نقل از اسکولاری (1995) بر اساس اطلاعات برخی از تونل‌های حفر شده با TBM در ایتالیا، بر کاهش بهره دهی ماشین در اثر وقفهٔ ناشی از اجرای نگهداری تونل در مسیر کار تاکید دارد. شکل 2 کاهش بارز در بهره دهی روزانهٔ TBM به دلیل افزایش تعداد پیچ سنگ‌ها در هر متر تونل را نشان می‌دهد[1].

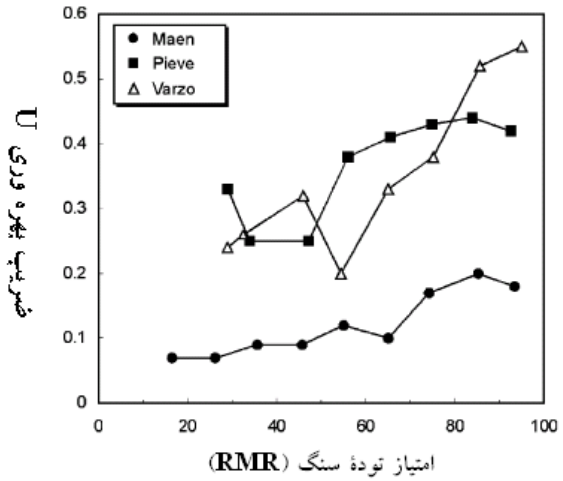


شکل 2: تغییر ضریب بهره‌وری TBM به عنوان تابعی از نیاز به مهار بندی [2]

3- رابطهٔ RMR با ضریب بهره‌وری TBM

اگر چه RMR به عنوان یکی از معروف‌ترین شاخص‌های طبقه‌بندی مهندسی سنگ، در تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی در بررسی عملکرد ماشین‌های حفاری مکانیزه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ساپینی و همکاران در یک مطالعهٔ صرفاً آماری ضمن بررسی رابطهٔ بین طبقه‌بندی تودهٔ سنگ و عملکرد TBM، معناداری رابطهٔ بین RMR و عملکرد TBM را مورد بررسی قرار می‌دهند[4]. و در نهایت اینگونه استنباط می‌کنند که اگر چه رابطهٔ بین RMR و نرخ نفوذ معنادار می‌باشد ولی برای تخمین نرخ نفوذ و نرخ پیشروی ماشین نمی‌توان به آن استناد کرد زیرا پراکندگی بین نتایج بسیار زیاد می‌باشد. همچنین ایشان برای ایجاد همبستگی بهتر RMR با نرخ نفوذ ماشین پیشنهاد می‌کنند که RMR با سختی سنگ هنجار شود.

ساپینی و همکاران در بررسی رابطهٔ بین RMR و ضریب بهره‌وری ماشین در سه تونل متفاوت که با TBM باز و سپری حفر شده اند تنها به این نکته اشاره می‌کنند که با افزایش RMR ضریب بهره دهی ماشین افزایش می‌یابد و رابطهٔ مشخصی را برای این مهم ارائه نمی‌کنند. شکل 3 مربوط به مطالعهٔ ساپینی و همکاران می‌باشد و رابطهٔ بین ضریب بهره‌دهی ماشین و RMR را در سه تونل متفاوت در ایتالیا نشان می‌دهد[6].



شکل 3: رابطهٔ بین ضریب بهره‌وری و امتیاز تودهٔ سنگ [6]

همانطور که در مقدمه ذکر شد هدف از این مطالعه بررسی دقیق تر رابطهٔ بین ضریب بهره‌وری TBM باز و RMR می‌باشد. برای این منظور بیش از 290 دادهٔ مربوط به تونلسازی با ماشین TBM باز جمع آوری شده و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته اند.

4- تاثیر پارامترهای ماشین بر ضریب بهره‌وری

بدون شک برای بررسی اندرکنش بین ماشین و تودهٔ سنگ علاوه بر پارامترهای معرف تودهٔ سنگ نیاز به پارامترهای معرف مشخصات ماشین نیز می‌باشد. این مطالعه محدود به

www.SID.ir

Archive of SID

ماشین‌های TBM باز که قابلیت کار در سنگ‌های متوسط تا سخت را دارند می‌باشد؛ همچنین تنها پارامتر ماشین که در این مطالعه برای تعیین ضریب بهره‌وری ماشین مورد استفاده قرار می‌گیرد نیروی نفوذ تیغه می‌باشد. البته دیگر پارامترهای مربوط به ماشین حفاری TBM نظیر فاصلهٔ تیغه‌ها، سرعت دوران صفحهٔ حفار ماشین و غیره نیز بر عملکرد ماشین تاثیر گذار هستند ولی از تاثیر آنها بر ضریب بهره‌وری ماشین به عنوان پارامتری مستقل صرفه نظر شده است.

5- تحلیل آماری داده‌ها و انتخاب پارامترها

انتخاب پارامترهای تودهٔ سنگ و ماشین بر اساس تحلیلی است که در آن میزان معناداری پارامترها نسبت به ضریب بهره‌وری ماشین تعیین می‌شود. به همین منظور ضرایب معناداری پارامترهای RMR، Q و نیروی نفوذ تیغهٔ ماشین (Thrust) نسبت به ضریب بهره‌وری ماشین (U) مورد بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر پارامترهای فوق دو پارامتر دیگر تحت عناوین NRMR و MQ نیز به عنوان متغیر در تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفته و ضریب همبستگی پیرسن این داده‌ها نسبت به ضریب بهره‌وری ماشین با ستفاده از نرم افزار SPSS تعیین شده است. که در آن NRMR موسوم به RMR اصلاح نشده می‌باشد، یعنی امتیاز مربوط به جهت داری درزه‌ها که به صورت اعدادی منفی در جداول مربوطه، تعیین شده در نظر گرفته نشده است؛ همچنین MQ موسوم به Q اصلاح شده می‌باشند که مقدار آن از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$MQ = Q^{0.2} \qquad (3)$$

در جدول 1 ضریب همبستگی پیرسن و مقدار آمارهٔ P مربوط به هر یک از جفت داده‌های نشان داده شده تعیین شده است.

جدول 1: تعیین میزان معناداری پارامترهای انتخاب شده نسبت به ضریب بهره‌وری ماشین

پارامترهای تودهٔ سنگ و ماشین	U	
	ضریب همبستگی پیرسن	آمارهٔ P
U	1	-
RMR	0/68	0/0
Q	0/38	0/0
Thrust	0/56	0/0
NRMR	0/7	0/0
MQ	0/62	0/0

ضریب همبستگی پیرسن میزان ارتباط خطی دو متغیر کمی را نشان می‌دهد و هر چه این ضریب به یک نزدیک تر باشد همبستگی بین دو متغیر بیشتر خواهد بود[7]. همانطور که در جدول 1 نشان داده شده است میزان معنا داری بین متغیرهای تعیین شده و ضریب بهره‌وری ماشین قابل قبول می‌باشد. نکتهٔ جالب توجه، معناداری بیشتر بین دو متغیر NRMR و ضریب بهره‌وری(0/7) نسبت به دو متغیر RMR و ضریب بهره‌وری(0/68) می‌باشد که این مسئله گویای این نکته است که امتیاز مربوط به جهت داری درزه‌ها که برای اصلاح مقدار RMR در طبقه‌بندی بینیاوسکی مورد استفاده قرار می‌گیرد از دقت بالایی برخوردار نیست. همچنین با اصلاح مقدار Q با استفاده از رابطهٔ 2 ضریب همبستگی افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند که این مسئله به علت هنجارشدن مقدار Q بر اساس رابطهٔ 2 می‌باشد.

مقدار عددی آمارهٔ P بیانگر میزان احتمالی است که معناداری بین داده‌ها، تصادفی باشد و لذا هرچه مقدار آمارهٔ P کمتر باشد ارزش ضریب همبستگی بدست آمده بیشتر می‌باشد[7]. همانطور که در جدول 1 نشان داده شده است احتمال تصادفی بودن رابطهٔ بین همهٔ پارامترها صفر است.

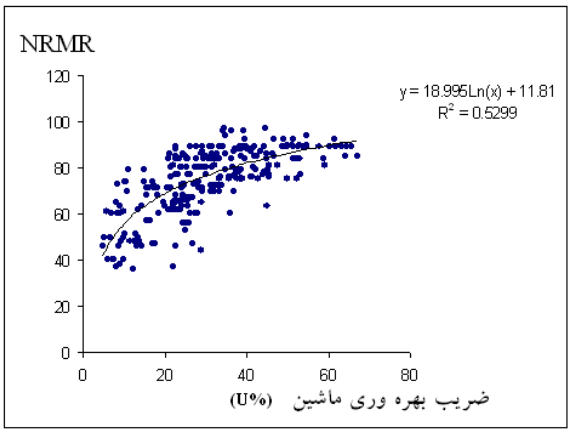
6- بررسی روابط بین پارامترهای انتخاب شده

بر اساس تحلیل آماری انجام شده در بخش قبل، مشخص شد که رابطهٔ کاملاً معناداری بین NRMR، MQ، Thrust و U برقرار می‌باشد. در این بخش تلاش می‌شود تا بهترین رابطه برای تخمین ضریب بهره‌وری ماشین با استفاده از پارامترهای فوق تعیین شود. برای این منظور منحنی ضریب بهره‌وری ماشین را به عنوان تابعی از پارامترهای فوق ترسیم کرده و ضریب همبستگی هر یک از این منحنی‌ها را به عنوان میزان اعتبار هر یک از رابطه‌ها محاسبه شده است. در شکل‌های 4 الف، 4 ب و 4 ج به ترتیب رابطهٔ ضریب بهره‌وری با NRMR، MQ و Thrust و همچنین ضریب همبستگی هر یک از روابط ارائه شده نشان داده شده است.

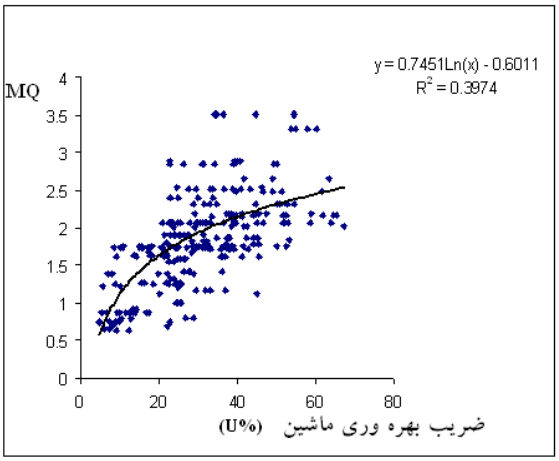
مجموعهٔ شکل‌های 4 الف، ب و ج نشان می‌دهند که بین پارامترهای RMR اصلاح نشده، Q اصلاح شده، نیروی نفوذ تیغه و ضریب بهره‌وری ماشین رابطهٔ صعودی وجود دارد. بنابراین واضح است که ضریب بهره‌وری ماشین با حاصلضرب پارامترهای فوق نیز رابطهٔ صعودی داشته باشد. شکل 5 رابطهٔ بین $Thrust \times MQ \times NRMR$ و ضریب بهره‌وری ماشین را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

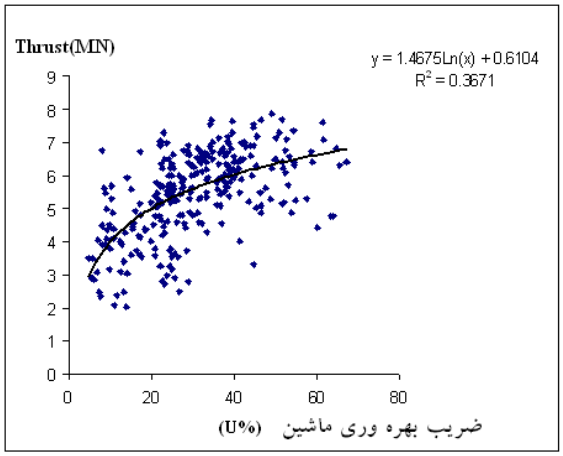
Archive of SID



(الف)



(ب)



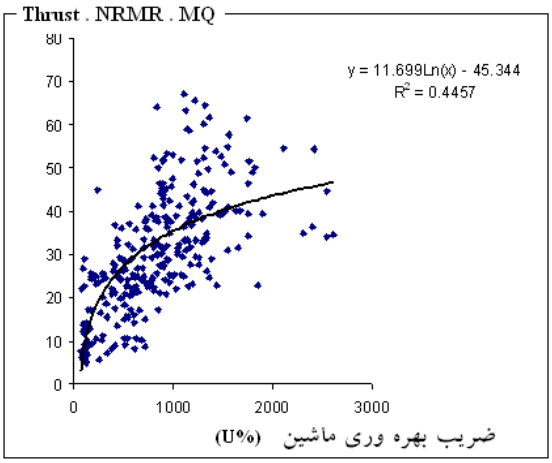
(ج)

شکل 4:

الف) رابطهٔ بین RMR اصلاح نشده و ضریب بهره‌وری ماشین

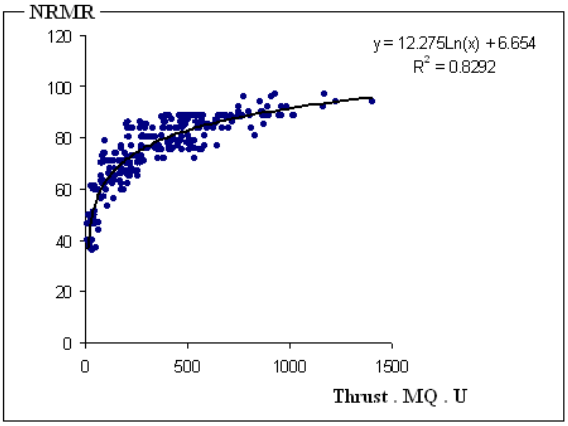
ب) رابطهٔ بین Q اصلاح شده و ضریب بهره‌وری ماشین

ج) رابطهٔ بین نیروی نفوذ تیغه برحسب مگا نیوتن و ضریب بهره‌وری



شکل 5 : رابطهٔ بین حاصلضرب نیروی نفوذ، MQ،NRMR و ضریب بهره‌وری ماشین

مقایسهٔ شکل‌های 4 و 5 نشان می‌دهد که ضریب همبستگی رابطهٔ شکل 5 از ضریب همبستگی رابطهٔ شکل 4 الف کمتر و از ضریب همبستگی رابطهٔ شکل 4 ب و 4 ج بیشتر می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود که رابطهٔ بین $NRMR$ نسبت به $Thrust \times MQ \times U$ از همبستگی بهتری برخوردار باشد. شکل 6 رابطهٔ بین $NRMR$ نسبت به $Thrust \times MQ \times U$ را نشان می‌دهد.



شکل 6: رابطهٔ بین NRMR نسبت به حاصلضرب MQ، Thrust و MQ

همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است ضریب همبستگی رابطهٔ بین $NRMR$ نسبت به $Thrust \times MQ \times U$ ($R^2 = 0.83$) در مقایسه با ضریب همبستگی دیگر روابط ارائه شده بسیار مناسب می‌باشد. بنابراین مناسب ترین رابطه از مجموعهٔ تحلیل‌های فوق عبارتنداز:

$$NRMR = 12.275 \ln(Thrust \times MQ \times U) + 6.654 \quad (4)$$

www.SID.ir

Archive of SID

به عبارت دیگر

$$U = \frac{\exp(0.08 \times NRMR - 0.54)}{Thrust \times MQ} \qquad (5)$$

که در آن U ضریب بهره‌وری ماشین به درصد، NRMR، RMR اصلاح نشده، Thrust نیروی نفوذ تیغه برحسب مگانیوتن و MQ، Q اصلاح شده می‌باشد که مقدار آن از رابطهٔ 2 بدست می‌آید.

7- بحث و بررسی

مجموعهٔ داده‌هایی که در تحلیل آماری فوق مورد استفاده قرار گرفته است به گونه‌ای است که مربوط به بازه‌های زمانی کوتاه می‌باشند؛ به طوریکه مربوط به 5 متر حفاری تونل و یا داده‌های مربوط به یک شیفت کاری می‌باشند. واضح است که در این بازه‌های کوتاه تاخیرهایی مانند تعویض شیفت‌ها، خرابی دستگاه‌ها، قطع برق و دیگر تاخیرهای معمول که قابل محاسبه نمی‌باشند به طور کلی یا دخیل نبوده و یا اگر هم دخیل باشد در تعداد اندکی از داده‌ها وارد شده اند. ولذا برای بدست آوردن ضریب بهره‌وری کلی تونل باید اینگونه تاخیرها مورد توجه قرار گیرند. بنابر تجربهٔ بسیاری از محققین و پیمانکاران میزان تاخیرهای ناشی از تعویض تیغه، تعمیر دستگاه، قطع احتمالی برق و... قابل محاسبه نبوده و حدود 30 درصد کل زمان حفاری می‌باشد[8] و [9]. بنابراین ضریب بهره‌وری کلی ماشین 70 درصد مقدار بدست آمده از رابطهٔ 4 می‌باشد. به عبارت دیگر رابطهٔ اساسی تعیین ضریب بهره‌وری ماشین به صورت زیر می‌باشد.

$$U = \frac{0.7 \exp(0.08 \times NRMR - 0.54)}{Thrust \times MQ} \qquad (6)$$

همانطور که در شکل 4 الف، ب و ج نشان داده شده است رابطهٔ بین ضریب بهره‌وری و پارامترهای مورد استفاده در تحلیل، رابطه ای مستقیم می‌باشد ولی در رابطهٔ 4 اینگونه به نظر می‌رسد که MQ و Thrust با ضریب بهره‌وری رابطه ای معکوس دارند.

در توضیح این مطلب باید به این نکته اشاره شود که متغیرهای موجود در طرف راست رابطهٔ 4 مستقل از هم نمی‌باشند بلکه کاملاً به هم وابسته می‌باشند. بنابراین نمی‌توان ارتباط پارامترهای طرف راست رابطهٔ 4 را به تنهایی با ضریب بهره‌وری ماشین تعیین کرد.

8- نتیجه گیری

در این مطالعه تلاش شده است تا رابطهٔ مناسبی برای تخمین ضریب بهره‌وری TBM باز بر اساس سیستم‌های طبقه‌بندی مهندسی سنگ ارائه شود. برای معناداری بهتر رابطه‌ها تغییراتی جزئی در مقادیر شاخص‌های طبقه‌بندی مهندسی سنگ ایجاد شده است. به طوری که در طبقه‌بندی RMR مقدار ضریب تصحیح مربوط به جهت داری درزه‌ها به شاخص RMR اضافه نشده است.

علی رغم تاثیر جهت داری درزه‌ها بر پایداری تونل و ضریب بهره‌وری ماشین معناداری بهتر NRMR نسبت به RMR در رابطه با ضریب بهره دهی ماشین گویای این نکته است که تاثیر جهت داری درزه‌ها در طبقه‌بندی RMR به خوبی نشان داده نشده است. زیرا صرفاً استفاده از کلمات مساعد و نامساعد و مشابه آن برای تعیین وضعیت جهت داری درزه‌ها کافی نمی‌باشد.

اگرچه طبقه‌بندی Q وضعیت جهت داری درزه‌های را در نظر نمی‌گیرد ولی از آنجایی که خواص نامساعدترین مجموعهٔ درزه‌ها در ارزیابی عدد زبری و عدد دگرگونی درزه‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد خطای مربوط به درنظر نگرفتن جهت یابی درزه‌ها تا حدودی اصلاح می‌شود.

مجموعهٔ پارامترهای وارد شده در طبقه‌بندی Q و RMR (به جز ضریب تصحیح RMR) به خوبی تعیین کنندهٔ واکنش تودهٔ سنگ در برابر ماشین حفاری می‌باشند.

منابع

[1] Alber M.; 2000; "*Advance Rates of Hard Rock TBMs and Their Effects on Project*"; Economics. Tunneling and Underground Space Technology. Volume 15, pp. 55-64.

[2] Barton, N.; 2000; "*TBM tunnelling in jointed and faulted rock*"; Rotterdam: Balkema.

[3] Barla G, Pelizza S.; 2000; "*TBM tunnelling in difficult ground conditions*"; International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia, 2000.

[4] Alber M.; 1996; "*Classifying TBM Contracts*"; Tunneling and Underground Space Technology. December, pp. 41-43.

[5] احمدی مرتضی، همتی شعبانی علی، فروغی محمد؛ 1385؛ **پیش بینی سرعت TBM در حفاری سنگ سخت با استفاده از مدل NTH (مطالعهٔ موردی تونل انتقال آب**

www.SID.ir

Archive of SID

قمـــرود)؛ نشـریهٔ علمـی‌پژوهشـی مهندسـی معـدن. دورهٔ اول، شمارهٔ1 صفحهٔ 33 تا 40.

[6] Sapigni M.,Berti M., Bethaz E., Busillo A., Cardone G., 2002; "*TBM performance estimation using rock mass classifications*"; International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Vol. 39 , pp. 771–788.

[7] اسماعیلیان مهدی؛ 1385؛ **راهنمـای جـامع SPSS 14**؛ انتشارات موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.

[8] Bilgin N., Dincer T., Copur H., Erdogan M.; 2004; "*Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheader in an inclined tunnel*"; Tunneling and Underground Space Technology Vol. 19, pp. 629–636.

[9] Zhao J., Gong Q.M., Eisensten Z.; 2007; "*Tunnelling through a frequently changing and mixed ground: A case history in Singapore*"; Tunnelling and Underground Space Technology Vol. 22, pp. 388–400.

www.SID.ir

Archive of SID

72

www.SID.ir