

به نام خدا

عنوان :

# روش های پیش بینی ضریب بهره وری TBM

نام دانشجو:

نام استاد:

تاریخ ارائه:

۱۴۰۰/۰۰/۰۰

## چکیده:

در این پایان نامه پس از بررسی اصول پایه شکست سنگ توسط برش دهنده آزمایشهای استفاده شده در روشهای مختلف پیش بینی نرخ نفوذ و ضریب بهره وری شرح داده شده و پارامترهای ورودی - خروجی و دامنه کاربرد هر یک از روشهای پیش بینی مورد بحث قرار گرفته است.

روشهای مختلف با هم مقایسه شده و شباهت ها - تفاوتها - مزایا و معایب هر کدام عنوان گردیده و روشهای که می توانند جهت بهینه کردن طرح تاج حفار و دستیابی به بهره وری بیشینه مورد استفاده قرار گیرند شرح داده شده است. در میان روشهای ارائه شده دو روش CSM و NTH کاربرد بیشتری دارند. روش CSM بر اساس تخمین نیروهای اعمال شده بر برش دهنده و روش NTH بر مبنای تجربیات حاصل از حفاری می باشد. هنگامی که داده های حاصل از آزمونهای بزرگ مقیاس موجود باشد استفاده از روش CSM برای تخمین نرخ نفوذ و روش NTH جهت پیش بینی نرخ پیشروی توصیه میشود.

## مقدمه:

ضریب بهره وری زمان تکمیل پروژه و به تبع آن هزینه را تحت تاثیر قرار می دهد لذا نقش اساسی در انتخاب شدن یا نشدن حفر مکانیزه به عنوان روش حفر بازی می کند. زمان حفر ماشین به کل زمان پروژه یا عملیات روزانه را ضریب بهره وری می گویند.

این ضریب تابعی از شرایط زمین - نوع ماشین - تاسیسات پشتیبانی - مدیریت پروژه و در نهایت تجربه کارکنان است. حاصلضرب نرخ نفوذ در ضریب بهره وری را نرخ پیشروی می گویند. نرخ نفوذ نرخ پیشروی انی ماشین است و از هندسه تونل و ویژگیهای سنگ و پارامترهای ماشین تاثیر می پذیرد.

تاکنون مدلهای زیادی جهت پیش بینی نرخ نفوذ ارائه شده است و هر کدام تعدادی از پارامترهای موثر را منظور کرده اند. در این مطالعه به پیش بینی نرخ نفوذ بر مبنای تردی در فصل چهارم و بر مبنای نتایج آزمون پانچ در فصل پنجم پرداخته شده است.

آزمایشهای زیادی جهت پیش بینی نرخ نفوذ و بهره وری ایجاد شده اند که برخی از آنها در فصل دوم مورد بحث قرار گرفته است. فرایند برش سنگ توسط برش دهنده های

دیسکی - توزیع فشار پیرامون دیسکها و نحوه محاسبه نیروهای وارد بر دیسک در فصل

سوم مفصل توضیح داده شده است.

در این مطالعه بر مبنای فاکتور پایداری در تاج تونل و مقاومت سنگ پیشروی پیش بینی

شده است و در مورد روشهای پیش بینی *CSM* و *NTH* بحث شده است.

## فهرست عناوین

### فصل اول

۱- آشنایی و سابقه ..... 1

۱-۱- نرخ پیشروی ..... 3

۱-۲- نرخ نفوذ ..... 3

### فصل دوم

۲- آزمون های مورد نیاز برای پیش بینی بهره وری TBM ..... 11

۲-۱- آزمون تعیین تردی ..... 11

۲-۲- آزمایش اندیس جی سیورز ..... 12

۲-۳- آزمون سایش ..... 12

۲-۴- آزمون اندیس سوشار ..... 13

۲-۵- آزمون های برش آزمایشگاهی ..... 14

۲-۵-۱- آزمون برش خطی ..... 14

16 ..... ۲-۵-۲- آزمون برش دورانی

16 ..... ۲-۶- آزمون پانچ

18 ..... ۱-۶-۲- تاریخچه آزمون

18 ..... ۲-۷- آزمون های تعیین سختی

19 ..... ۲-۸- آزمون های مقاومت سنگ

19 ..... ۲-۹- خواص توده سنگ

### فصل سوم

21 ..... ۳- تحلیل مکانیسم برش سنگ توسط برش دهنده های دیسکی

22 ..... ۱-۳- فرضیات پایه

26 ..... ۲-۳- توزیع فشار و فرایند برش

33 ..... ۳-۳- طراحی ماشین و محاسبات

33 ..... ۴-۳- پیش بینی نرخ نفوذ

## فصل چهارم

۴- پیش بینی نرخ نفوذ بر اساس تردی ..... 37

۴-۱- ارزیابی برخی داده های حاصل از آزمایش ..... 38

## فصل پنجم

۵- پیش بینی نرخ نفوذ با استفاده از نتایج آزمون پانچ ..... 48

۵-۱- تعیین نرخ نفوذ ..... 48

۵-۲- رده بندی سنگ با استفاده از آزمون پانچ ..... 51

۵-۳- آزمون پانچ ابزاری جهت ارزیابی پارامترهای ماشین ..... 54

## فصل ششم

۶- پیش بینی نرخ نفوذ بر مبنای مدل فازی - عصبی و نرخ پیشروی با بهره گیری از شبکه عصبی ..... 56

۶-۱- روش فازی - عصبی ..... 56

۶-۱-۱- اجزاء منطقی ..... 58

- 59 ..... ۶-۱-۲- اجزاء عددی
- 60 ..... ۶-۲- مدل نرخ نفوذ ( روش عصبی - فازی)
- 60 ..... ۶-۲-۱- ویژگیهای توده سنگ
- 60 ..... ۶-۲-۲- ویژگیهای ماشین
- 61 ..... ۶-۲-۳- هندسه تونل
- 62 ..... ۶-۲-۴- تحلیل داده ها
- 64 ..... ۶-۲-۵- مدل‌های عصبی - فازی ( روش تاکاگی - سوگنو)
- 68 ..... ۶-۳- مقایسه با روشهای مختلف
- 69 ..... ۶-۴- مدل نرخ پیش روی ( بر مبنای شبکه عصبی)
- 69 ..... ۶-۴-۱- انتخاب ساختار مدل و کاهش متغیرها
- 71 ..... ۶-۴-۲- الگوریتم آموزش شبکه عصبی
- 71 ..... ۶-۴-۳- توپولوژی شبکه عصبی
- 71 ..... ۶-۴-۴- بهبود قابلیت تعمیم شبکه عصبی



73 ..... ۵-۴-۶- نتایج - تفسیر - اعتبار و توان تعمیم مدل

73 ..... ۶-۴-۶- مقایسه با مدل‌های آماری

### فصل هفتم

74 ..... ۷- پیش بینی بهره وری TBM با استفاده از  $Q_{TBM}$

74 ..... ۷-۱-  $Q$  و  $Q_{TBM}$

81 ..... ۷-۲- سایش برش دهنده

82 ..... ۷-۳- رابطه میان نرخ نفوذ و نرخ پیشروی با  $Q_{TBM}$

84 ..... ۷-۴- تخمین زمان اتمام تونل

### فصل هشتم

85 ..... ۸- پیش بینی بهره وری TBM براساس فاکتور پایداری تونل

86 ..... ۸-۱- تخمین ضریب بهره وری

87 ..... ۸-۲- تخمین نرخ پیشروی

۸-۳- مثالی از کاربرد مدل ..... 89

۸-۴- تخمین زمان اتمام تونل ..... 92

### فصل نهم

۹- پیش بینی بهره وری TBM بر مبنای روش NTH ..... 94

### فصل دهم

۱۰- پیش بینی بهره وری TBM بر مبنای روش CSM ..... 106

۱۰-۱- نیروهای عمودی روی برش دهنده ( $F_n$ ) ..... 108

۱۰-۲- نیروهای غلتشی  $F_r$  ..... 109

۱۰-۳- رابطه مدرسه عالی معدن کلرادو جهت تعیین نیروهای روی برش دهنده در یک

نفوذ مشخص ..... 113

۱۰-۴- تصحیح نرخ نفوذ ..... 116

۱۰-۴-۱- شاخص دشواری زمین (GDI) ..... 116

۱۰-۴-۲- انرژی ویژه ..... 117

۱۰-۴-۳- اصلاحات پیشنهادی روش *CSM* جهت تخمین نرخ پیشروی... 117

نتیجه گیری..... 122

منابع..... 124

# فصل اول

---

## آشنایی و سابقه

در طول چند دهه گذشته تکنولوژی TBM های سنگ توسعه زیادی پیدا کرد. این ماشین ها

اکنون به مرحله ای رسیده اند که می توانند در هر نوع سنگ یا خاکی حفر کنند ولی به هر

حال حفر با ماشین پر خطر بوده زیرا همیشه امکان روبرو شدن با زمینی که ماشین توانایی

حفر در آن را ندارد وجود دارد. پیش بینی ضریب بهره وری بخش مهمی از هر پروژه حفر

مکانیزه است. تعداد برش دهنده های مورد نیاز هزینه های آزمایشگاهی - هزینه های

سرمایه ای و عملیاتی همه از دوره ساخت پروژه و دوره ساخت پروژه از ضریب بهره

وری و نرخ نفوذ تاثیر می پذیرد که تخمین این دو بسیار مشکل است. تاکنون تلاش های

زیادی جهت گسترش روشهای پیش بینی بهره وری و پیش بینی دقیق نرخ پیشروی در یک

شرایط زمین شناسی شده است. در کشورهای مختلف و توسط شرکت های مختلف سازنده

TBM دامنه وسیعی از روشهای پیش بینی ضریب بهره وری استفاده می شود.

اصولاً" این روشها بر مبنای تحلیل نظری و داده های تجربی بنا نهاده شده اند. در حالت کلی می توان روشهای ارائه شده را به دو گروه تقسیم کرد. روشهای کاملاً" تجربی و روشهای تئوری / تجربی. گروه اول بر مبنای داده های جمع اوری شده از زمین و استفاده از تحلیل رگرسیون میان پارامترهای ماشین خواص سنگ و نرخ نفوذ حاصل شده اند.

## 1

روش NTH یک نمونه از این روشها است. گروه های دیگر بر جزئیات فرایند برش در سنگ تحلیل نظری فرایند شکست سنگ با ابزار مکانیکی و نیروهای وارد بر هر برش دهنده به منظور دستیابی به یک نرخ نفوذ مشخص متمرکز شده اند.

روش CSM و برخی از روشها که توسط کارخانه های سازنده TBM توسعه داده شده اند در این گروه قرار می گیرند. این روشها می توانند در بهینه کردن طرح تاج حفار به کار گرفته شوند. نیروهای اعمال شده بر برش دهنده که توسط این روشها تعیین می شوند میتواند در تخمین نیروی محوری گشتاور و توان مورد نیاز نیز استفاده شود.

در حالت عمومی روشهای پیش بینی بهره وری بر مبنای قواعد زیر پایه گذاری شده اند:

(۱) داده های حاصل از زمین یا آزمایش

۲) آزمایشهای کوچک مقیاس (ازمونهای شاخص)

۳) آزمایشهای بزرگ مقیاس

۴) روشهای تجربی

۵) مدل‌های تئوری

به عنوان مثال روش پیش بینی NTH ترکیبی از قواعد ۱-۲-۴ است و روش CSM

شامل تمامی قواعد ذکر شده می شود.

در تمام روشهای پیش بینی بهره وری نمونه گیری صحیح یک عامل کلیدی است. اگر نمونه

های مورد آزمایش معرف (نماینده شرایط واقعی زمین) نباشند نتایج پیش بینی قابل اعتماد

نخواهد بود. تخمین بهره وری TBM در سنگهای سخت یک فرایند بسیار پیچیده است که به

شرایط زمین شناسی خواص توده سنگ و جزئیات ماشین (مانند اندازه برش دهنده ها-

فاصله و بار اعمالی بر آنها) مربوط می شود. فرایند برش و نفوذ در سنگ توسط برش

دهنده مستلزم شکست کششی- برشی و فشاری سنگ است.

2

درزه ها و شکستگی ها تا حدودی نرخ نفوذ ماشین را بهبود می بخشند.

بر اساس مطالعات صورت گرفته میان  $\frac{P_0}{ucsm}$  و نرخ نفوذ همبستگی خوبی در TBM های

سنگ سخت وجود دارد.

این قسمت از فایل حذف شده است...

**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

جدول ۱-۲: مقایسه روشهای پیش بینی نرخ نفوذ با مقادیر واقعی

نوع سنگ	مقاومت سنگ						
	UCS	کششی برزیلی	$F_N (KN)$	$p/Rev (mm)$	گراهام هاگس	فارمر/ گلوپ	پیش بینی نرخ نفوذ با روشهای کارایی TBM در عمل (MPa)
Falkirk Dolostone	۱۸۸	۱۳/۳	۱۳۴	۷/۶	۲/۹	۲/۸	۶/۳
Oatka Dolostone	۱۳۹	۱۳	۱۰۸	۱۰/۴	۳/۳	۳/۱	۵/۲
Sodus Shale	۸۰	۸	۹۹	۱۰	۵/۷	۴/۹	
Reynales Limestone	۱۲۸	۱۵	۱۴۱	۶/۸	۵	۴/۳	۵/۹
Maplewood Shale	۶۸	۶/۸	۹۸	۱۰/۴	۶/۸	۵/۷	
Grimsby Sandstone Wet	۱۳۰	۱۰/۱	۱۱۲	۷/۹	۳/۷	۳/۴	۶/۹
Grimsby Sandstone Dry	۲۰۸	۶/۱			۴/۶	۴/۱	۱۱/۵
Romeo Dolostone	۲۳۷	۱۷	۱۴۵	۸	۲/۴	۲/۴	۵/۳
Markgraf Dolostone	۱۶۸	۱۲/۱	۱۳۷	۹/۳	۳/۵	۳/۲	۷/۱
Austin Chalk	۱۰	۱/۳	۳۳	۹/۶	۱۸/۵	۹۹/۱	۱۵/۷

مقدار پیش بینی شده نرخ نفوذ تقریباً "همیشه کمتر از آن مقداری است که در عمل بدست



می آید. مدل فارمر - گلو سوپ مقادیر بیشتری را نسبت به دو مدل دیگر پیش بینی کرده است  
تعداد زیاد رابطه های موجود بیانگر عدم قطعیتی است که در پیش بینی  $P_{Rev}$  وجود دارد.  
بعضی از این روابط از با نك های اطلاعاتی محدود نتیجه شده اند و استفاده آگاهانه از آنها  
توصیه می شود. به طور کلی استفاده از چندین رابطه توصیه می شود. میزان نیروی محوری  
به دست آمده از این روابط باید حدود ۲۰ - ۱۵ درصد جهت تعیین نیروی محوری ماشین  
افزایش داده شود.

10

## فصل دوم

---

### ۲- آزمون مورد نیاز برای پیش بینی بهره وری

#### *TBM*

برداشت های زمین شناسی - نمونه گیری و آزمایش روی سنگها مبنایی برای پیش بینی بهره  
وری است. نتایج حاصل از آزمایش علاوه بر کمک به طراحی پوشش تونل پیمانکار را با

شرایط زمین قبل از ساخت آشنا می کند و به ان امکان تخمین هزینه و تعیین برنامه زمانی و انتخاب نگهداری و تجهیزات حفر مناسب را می دهد. در پروژه های حفر مکانیزه معمولاً " ۱۰-۱۵ کیلو گرم از سنگهای میزبان تونل جهت آزمایش به آزمایشگاه فرستاده می شود. برخی از این آزمایشها عبارت اند از: آزمون تعیین تردی - آزمایش اندیس سوشار- آزمون سایش - آزمون پانچ و غیره که در ادامه توضیح داده می شوند.

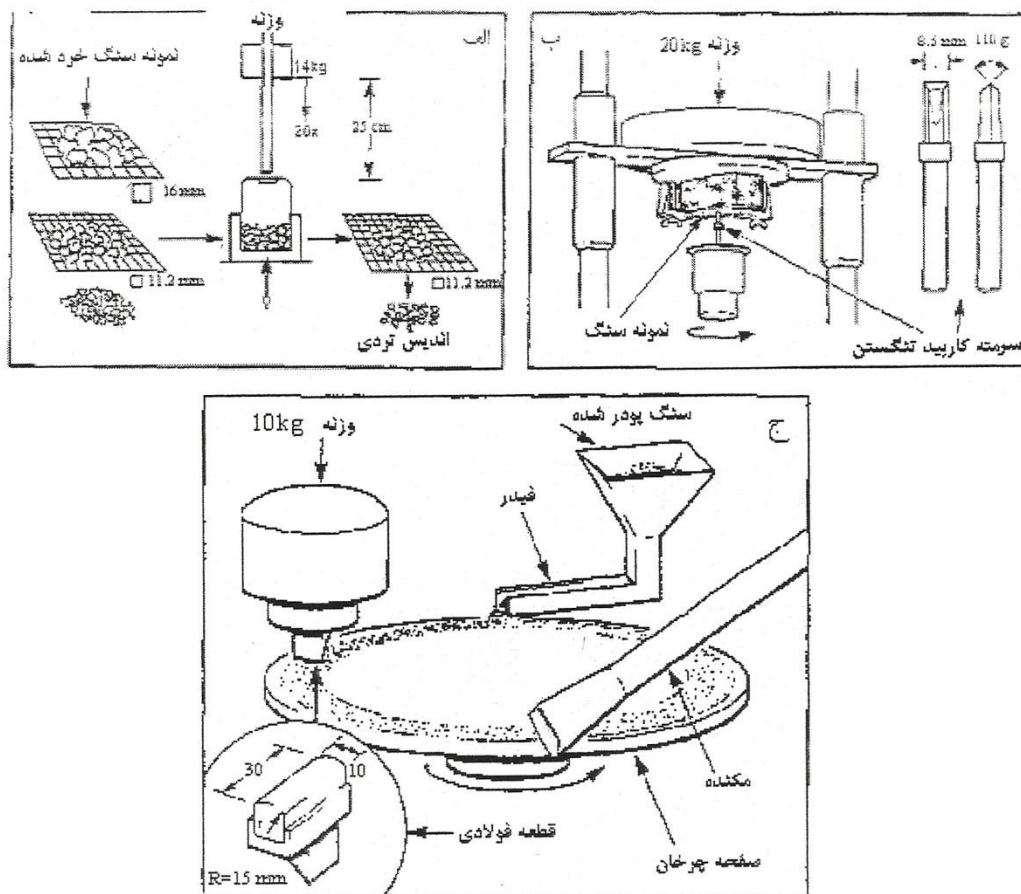
#### ۱-۲- آزمون تعیین تردی:

این آزمون اصولاً " یک آزمون ضربه است. برای آزمایش ابتدا نمونه سنگ در یک سنگ شکن تا ابعاد  $11/2 - 16$  میلی متر خرد می شود. سپس  $189$  سانتی متر مکعب از سنگهای خرد شده ( برای چگالی  $2/65$  حدود  $500$  گرم می شود) را در ظرفی که برای این آزمایش طراحی شده است می ریزند (شکل ۱-۲ الف).

این قسمت از فایل حذف شده است...

آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.

12



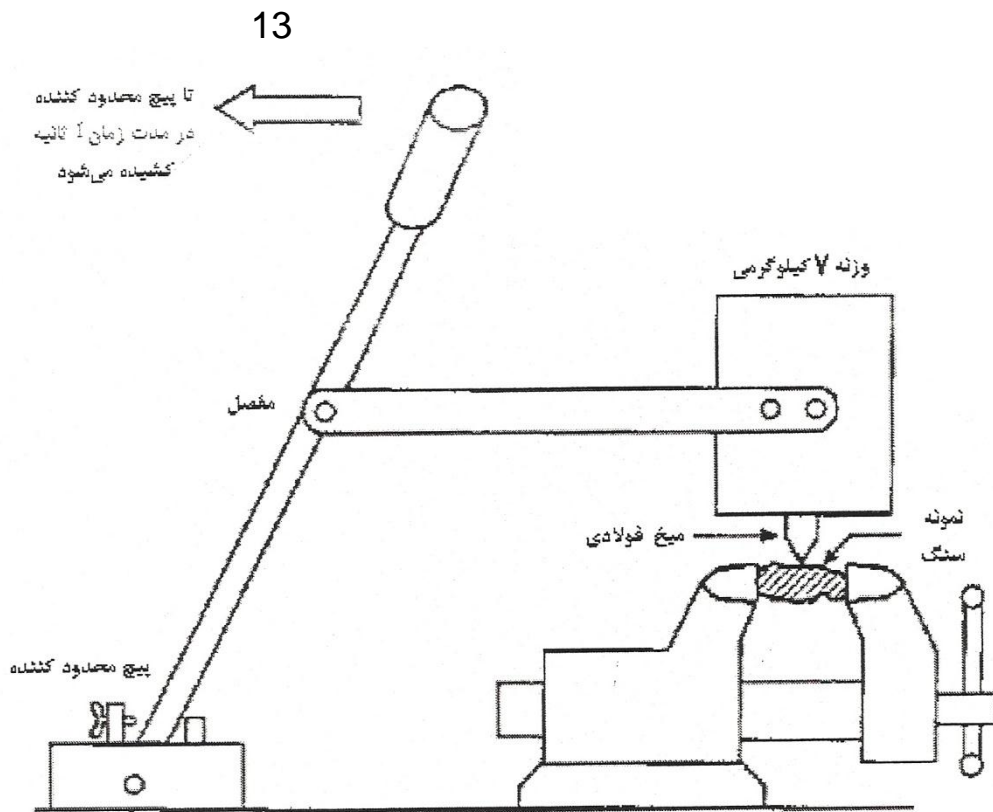
شکل ۲-۱: الف) آزمون تردی ب) اندیس جی سیورز ج) آزمون

سایش

۴-۲- آزمون اندیس سوشار:

مقدار اندیس سوشار عبارت است از قطر ناحیه ساییده شده یک میخ فولادی به دهم میلی متر

بعد از اینکه یک سانی متر تحت نیروی ۷ کیلو گرم روی سنگ کشیده می شود. (شکل ۲-۲)



شکل ۲-۲: آزمون اندیس سوشار

۲-۵- آزمو ن های برش آزمایشگاهی:

۱-۲-۵- آزمو ن برش خطی:

اگر نمونه های با اندازه کافی در دسترس باشد آزمون برش آزمایشگاهی با استفاده از ماشین

برش خطی (LCM) صورت می گیرند (شکل ۲-۳)

در این آزمون نمونه های سنگی در ابعاد  $50 \times 50 \times 100$  سانتی متر درون بتن و در یک جعبه

فولادی که محدودیت لازم را تامین کند قرار می گیرند و توسط یک بازوی هیدرولیکی بر

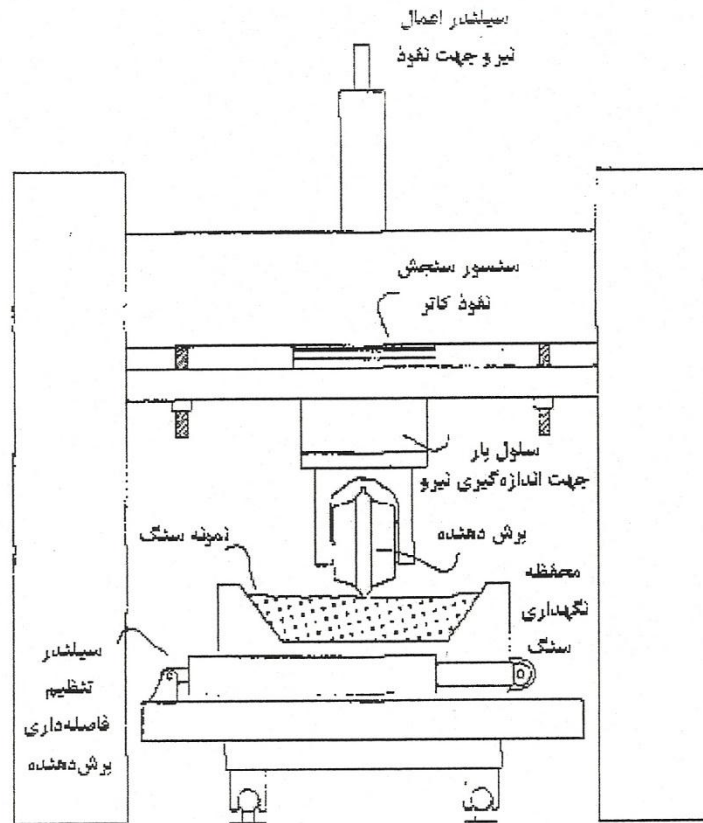
روی برش دهنده نیرو اعمال می شود. سرعت برش دهنده ثابت و برابر با ۲۵ سانتی متر بر

ثانیه است. هر ترکیبی از نفوذ و فاصله داری برش دهنده ها می تواند با این تجهیزات مورد

بررسی قرار گیرد. بهترین ترکیب ترکیبی است که با حداقل انرژی ویژه بیشترین مقدار تراشه

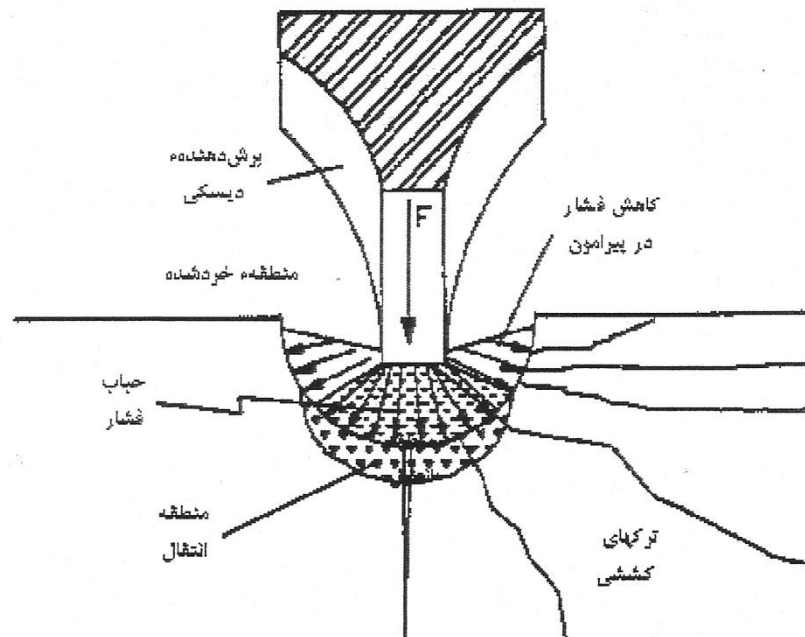
ایجاد شود. آزمون LCM از برش دهنده های با اندازه واقعی استفاده می کند و توانایی اعمال

دامنه ای از بار گذاری و نفوذ برش دهنده که در ساختگاه اتفاق می افتد را دارد.



این قسمت از فایل حذف شده است...

**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

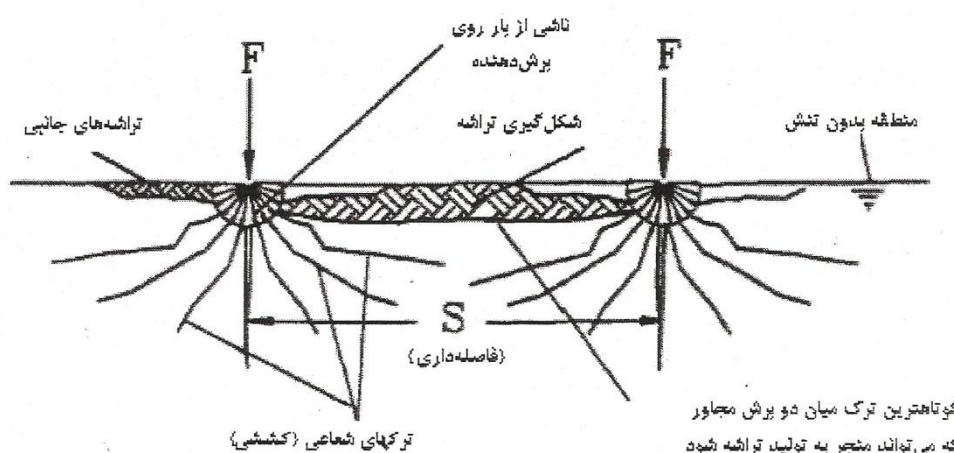


شکل ۳-۱: منطقه خرد شده یا حباب فشار زیر برش دهنده های دیسک

22

این منطقه شامل ذرات ریز خرد شده سنگ است که تحت تمرکز شدید تنش در منطقه ای بلافاصله زیر برش دهنده به وجود می آیند. ابعاد ذرات از مرکز به طرف سنگ پیرامون که حباب فشار را در بر گرفته است بزرگتر می شود. نحوه افزایش ابعاد ذرات سنگ تابعی از هندسه برش دهنده و خواص سنگ می باشد. به منظور افزایش کارایی برش - کاهش انرژی ویژه و کاهش مقدار گرد و خاک بهتر است حباب فشار کوچک باشد.

توزیع واقعی فشار در این منطقه شناخته شده نیست برای سادگی محاسبات فرض می شود یک توزیع یکنواخت (هیدرواستاتیک) فشار در این منطقه وجود داشته باشد (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲: نحوه تولید تراشه ها و توزیع فشار در منطقه خرد شده



ترک های شعاعی ( کششی) با القا تنش از منطقه حباب فشار ایجاد می شوند. این ترکها ناپیوستگی های مشخصی هستند که در اطراف حباب فشار قرار دارند. لذا ترکهای کششی و گسترش آنها می تواند به عنوان اصلی ترین عامل در ایجاد تراشه ها و حالت شکست غالب منظور شود. قابل توجه است که ترکهای که اطراف حباب فشار قرار گرفته اند مخصوصاً " آنهای که به سطح آزاد می رسند تحت تاثیر نیروی برشی قابل توجهی قرار دارند.

## 23

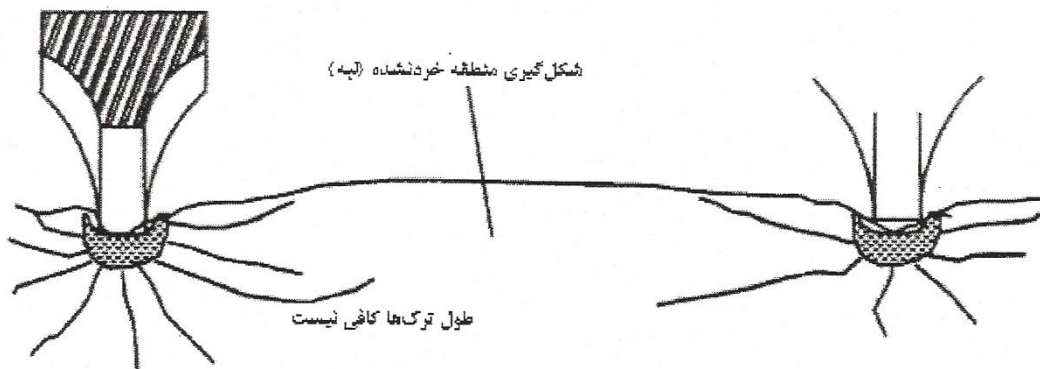
لذا در نظر گرفتن یک مکانیسم شکست مرکب به واقعیت نزدیکتر است. وقتی یک یا چند ترک دو برش مجاور به هم دیگر می رسند یا یک سطح آزاد را قطع می کنند می گویند تراشه ایجاد شده است. طول ترکها تابعی از فشار در منطقه خرد شده و فشار در این منطقه تابعی از نیروی عمود وارد بر برش دهنده است. اندر کنش میان دو برش بستگی به فاصله داری برش دهنده ها و زاویه و طول ترکها میان دو برش مجاور دارد. براساس اصول شکست ترکها می توانند در هر جهتی گسترش پیدا کنند. این بدین معنی است که تراشه ها می توانند در هر جهتی ایجاد شوند. با این فرض فرا خردشدگی و ایجاد لبه ( سنگ خردنشده) میان دو برش دهنده قابل توضیح است. در ارتباط با ایجاد لبه ترکها به سمت رخساره برش

گسترش پیدا کرده و به سطح آزاد می رسند و تراشه های کوچک مثلی شکل می گیرند این

موضوع باعث افت فشار در منطقه خرد شده می شود و از گسترش ترکها جهت رسیدن به

ترکهای برش مجاور جلوگیری می کند و منطقه میان دو برش تقریبا " دست نخورده باقی

می ماند (شکل ۳-۳ الف).



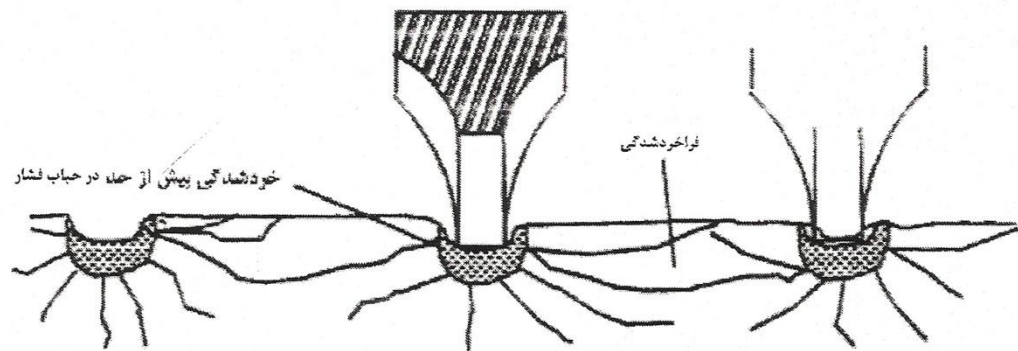
شکل ۳-۳ الف: فاصله داری زیاد برش دهنده ها و باقی ماندن سنگ خرد نشده بین دو برش دهنده

24

این فرایند می تواند با افزایش متوالی نیروی وارد بر برش دهنده ها ادامه پیدا کند تا وقتی که

دو ترک به هم رسیده و تراشه ایجاد گردد. اگر نیروی اعمال شده خیلی زیاد باشد ترک های

با طول بزرگتری ایجاد شده و منجر به بروز فرادشدگی میشود (شکل ۳-۳ ب).



شکل ۳-۳ ب: فاصله داری کمتر از حد بهینه بین برش دهنده خرد شدگی بیش از حد و بروز فراخوردشدگی

و تراشه های ضخیم تری پیرامون برش دهنده ایجاد می شود. وقتی برش دهنده ها در یک

فاصله داری بهینه قرار گرفته باشند ترکها تقریباً "در یک مسیر مستقیم که کوتاهترین فاصله

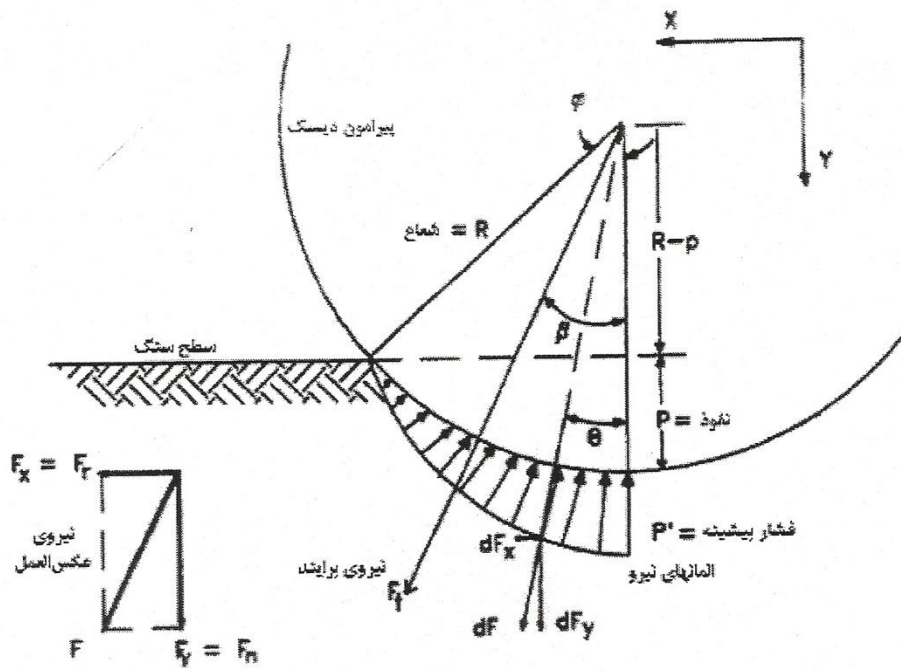
میان دو برش دهنده و برابر با نصف فاصله داری آنها است گسترش می یابد (شکل ۳-۳ ج).

...

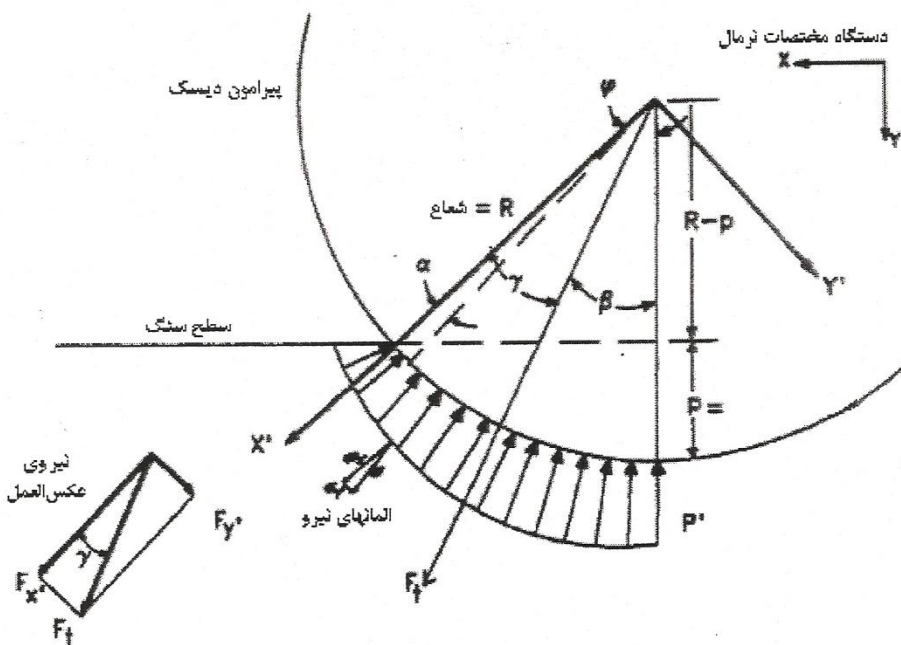
این قسمت از فایل حذف شده است...

**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

...



الف: توزیع فشار خطی



ب: شکل عمومی تابع توزیع فشار

شکل ۳-۴: توزیع فشار پیرامون دیسک

با استفاده از زاویه  $\alpha$  تابع توزیع فشار به صورت زیر در می آید:

$$P = P' \left( \frac{\alpha}{\phi} \right)^\psi \quad 3-8$$

مولفه های نیرو در سیستم مختصات جدید به صورت زیر تعیین می شود:

$$dF = TPR d\alpha = TRP' \left( \frac{\alpha}{\phi} \right)^\psi d\alpha = \phi TRP' t^\psi dt \quad 3-9$$

که در آن  $t$  متغیری است که جایگزین  $\frac{\alpha}{\phi}$  شده است.

$$F_y = \int_0^\phi dF_{y'} = \int_0^\phi dF \sin \alpha \quad 3-10$$

$$F_{x'} = \int_0^\phi dF_{x'} = \int_0^\phi dF \cos \alpha \quad 3-11$$

برای تعیین نیروها به علت فقدان راه حل تحلیلی برای این انتگرالها از راه حل عددی بر

مبنای سری تیلور  $\sin$  و  $\cos$  استفاده می شود.

نتایج انتگرال سیون به صورت زیر است:

$$F_{x'} = \sum_1^n (-1)^{i-1} \frac{\phi^{2i+\psi}}{(2i+\psi)(2i-2)} \quad 12-3$$

$$F_{y'} = \sum_0^n (-1)^{i-1} \frac{\phi^{2i+\psi}}{(2i-1+\psi)(2i-2)} \quad 13-3$$

این قسمت از فایل حذف شده است...

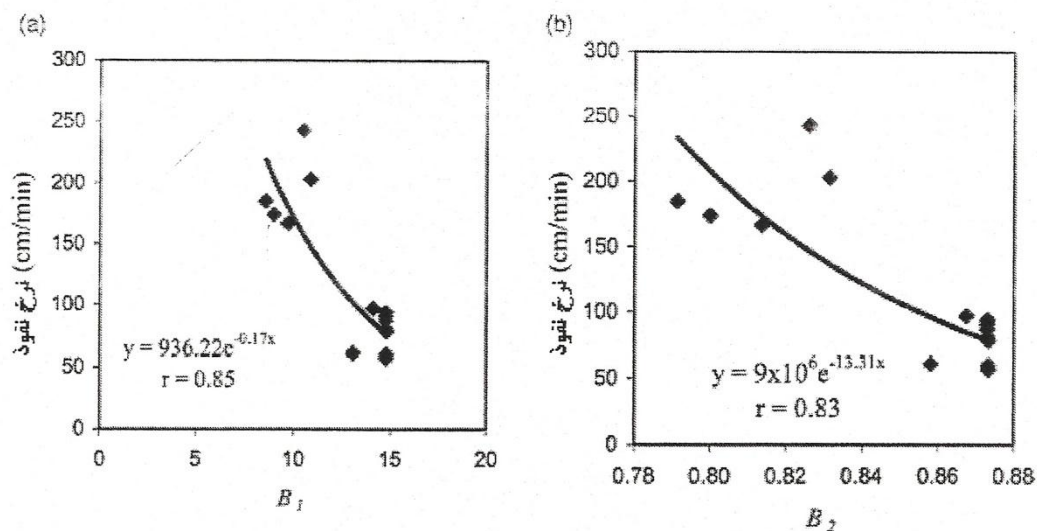
**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

نیروی محوری اعمال شده روی مته ۷۷۰ نیوتن - سرعت چرخش مته ۷۵۰ دور در دقیقه - فشار آب ۵۵۲ کیلو پاسگال - نرخ تراش آب ۲ لیتر در دقیقه

جدول ۴-۵: داده های حاصل از آزمونهای برجای انجام شده توسط بیلگین

$\beta_3$	$\beta_2$	$\beta_1$	درصد ریز دانه در آزمون ضربه	مقاومت کششی خشک MPa	UCS خشک MPa	نرخ نفوذ Cm/min	نوع سنگ
۱۳۳۰/۵	۰/۸۷	۱۴/۸	۱۵	۶	۸۸/۷	۵۷	Soma/Isyklar marl-۱
۱۳۳۰/۵	۰/۸۷	۱۴/۸	۱۵	۶	۸۸/۷	۷۸	Soma/Isyklar marl -۱
۱۳۳۰/۵	۰/۸۷	۱۴/۸	۱۵	۶	۸۸/۷	۶۰	Soma/Isyklar marl -۱
۱۶۰۹/۵	۰/۸۷	۱۴/۷	۲۴/۸	۴/۴	۶۴/۹	۹۴	Soma/Isyklar marl -۲
۱۶۰۹/۵	۰/۸۷	۱۴/۷	۲۴/۸	۴/۴	۶۴/۹	۸۱	Soma/Isyklar marl -۲
۱۶۰۹/۵	۰/۸۷	۱۴/۷	۲۴/۸	۴/۴	۶۴/۹	۹۱	Soma/Isyklar marl -۲
۱۶۰۹/۵	۰/۸۷	۱۴/۷	۲۴/۸	۴/۴	۶۴/۹	۸۷	Soma/Isyklar marl -۲
۲۱۴۲/۴	۰/۸۶	۱۳/۱	۲۶	۶/۳	۸۲/۴	۶۱	Soma/Kysrakdere marl
۲۷۱۲/۵	۰/۸۷	۱۴/۱	۳۵	۵/۵	۷۷/۵	۹۷	Soma/Is_yklar Limestone
۱۷۱۱/۵	۰/۸۳	۱۰/۹	۳۵	۴/۵	۴۸/۹	۲۰۳	Tunc_bilek/panel 36 Marl - 1
۶۴۴/۱	۰/۸۱	۹/۷	۳۰/۱	۲/۲	۲۱/۴	۱۶۷	Tunc_bilek/panel 36 Marl- 2
۳۹۹/۶	۰/۸۰	۹	۲۹/۶	۱/۵	۱۳/۵	۱۷۴	Tunc_bilek/Beke marl
۲۰۹۳	۰/۷۹	۸/۶	۴۶	۵/۳	۴۵/۵	۱۸۵	Orhaneli marl
۲۳۱	۰/۸۳	۱۰/۵	۲۲	۱	۱۰/۵	۲۴۳	Seyito mer marl

مته ۲۵۱ میلی متر - نیروی محوری ۵۰-۵۹ کیلو نیوتن - سرعت چرخش مته ۱۱۸-۱۲۰ دور در دقیقه



شکل ۴-۲: رابطه میان نرخ نفوذ مته های دورانی و تردی

هاوارث و همکارانش در سال ۱۹۸۶ کارآیی حفارهای ضربه ای را روی ۱۰ نوع سنگ رسوبی و کریستالی مورد ارزیابی قرار دادند. حفاریها توسط یک مته گوه ای کابید تنگستن که توسط آب خنک می شد صورت گرفت. داده های مربوط به نرخ نفوذ ویژگی های سنگ و تردی در جدول ۴-۴ آورده شده است.

سلیم و بروث در سال ۱۹۷۰ کارآیی حفارهای ضربه ای را روی ۹ نوع سنگ مورد ارزیابی قرار دادند. داده های حاصل از آزمایش در جدول ۴-۷ آورده شده است.

کهرامان در سال ۱۹۹۹ کارآیی چکش های هیدرولیکی را مورد بررسی قرار داد که داده های حاصل از این بررسی در جدول ۴-۸ آورده شده است.

اشمیت نیز کارآیی حفارهای ضربه ای را در ۲۵ نوع سنگ مورد ارزیابی قرار داد که نتایج

آن در جدول ۴-۹ آورده شده است.

### 43

جدول ۴-۶: داده های حاصل از آزمونهای انجام شده توسط هاوارث

$\beta_2$	$\beta_1$	مقاومت کششی خشک MPa	مقاومت فشاری تک محوره خشک MPa	نرخ نفوذ Cm/min	نوع سنگ
۰/۸۸	۱۵/۴	۱۵/۲	۲۳۴	۱۸/۶۴	گرانیت Ashgrove
۰/۷۶	۷/۴	۱۳/۵	۱۰۰/۵	۱۹/۱۶	هورنفلس Beenleigh
۰/۸۹	۱۷/۱	۸	۱۳۷/۱	۲۰/۲	میکروسینیت Charcoal
۰/۹۲	۲۴/۷	۸/۲	۲۰۲/۴	۱۵/۹	تراکیت Caboolture
۰/۸۶	۱۳/۴	۱۶/۴	۲۱۹/۸	۱۵/۳۸	بازالت Mt.Morrow
۰/۹۱	۲۲/۳	۴/۲	۹۳/۶	۲۰/۱۵	مرمر Carrara
۰/۸۹	۱۶/۶	۳	۴۹/۹	۲۴/۱۰	مرر Ulan
۰/۸۶	۱۳/۴	۳/۳	۴۴/۱	۳۲/۳۹	ماسه سنگ Gosford
۰/۸۸	۱۵/۳	۲/۴	۳۶/۶	۳۸/۵۱	ماسه سنگ Mt.Crosby



نیروی محوری ۴۴۱ نیوتن - فشار هوا ۴۵۰ کیلو پاسگال

داده های موجود در جداول ۴-۶ تا ۴-۹ مورد تحلیل رگرسیون قرار گرفته است تنها رابطه ای

که از این تحلیل حاصل شد در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. میان  $\beta_1$  و  $\beta_2$  و نرخ نفوذ

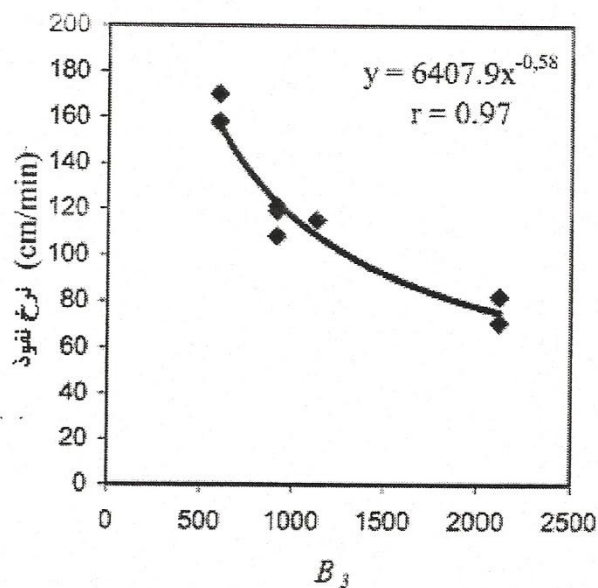
حفره های ضربه ای هیچ رابطه ای حاصل نشده است.

...



...

فشار هوا ۷۰۳ کیلو پاسگال



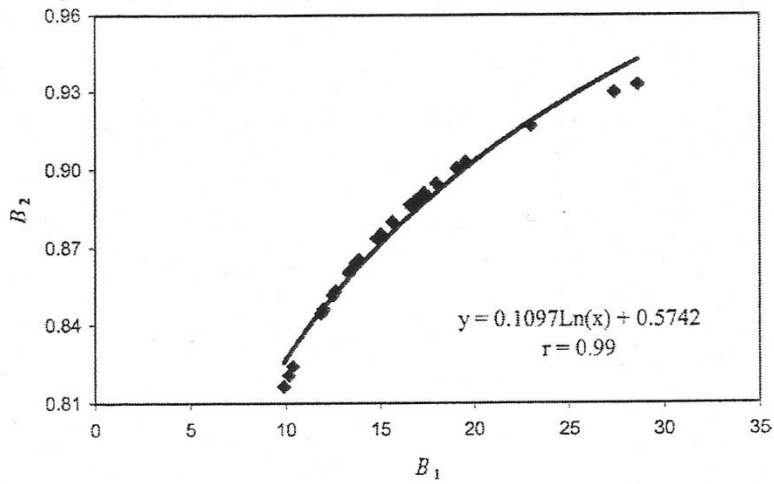
شکل ۴-۳. رابطه میان نرخ نفوذ حفارهای ضربه ای و تردی

به منظور بدست آوردن رابطه میان  $\beta_1$  و  $\beta_2$  و  $\beta_3$  داده های موجود در جداول ۴-۱ تا ۴-۹

مورد تحلیل قرار گرفته است. ولی هیچ رابطه ای میان  $\beta_3 - \beta_1$  و  $\beta_3 - \beta_2$  به دست نیامد.

دلیل آن مکانیسم کاملاً متفاوتی است که در اندازه گیری  $\beta_3$  وجود دارد.

بر اساس تحلیل میان  $\beta_1$  و  $\beta_2$  رابطه ای به دست آمده که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴: رابطه میان شکنندگی های  $\beta_1$  و  $\beta_2$

47

## فصل پنجم

۵- پیش بینی نرخ نفوذ با استفاده از نتایج آزمون

پانچ

## ۱-۵- تعیین نرخ نفوذ:

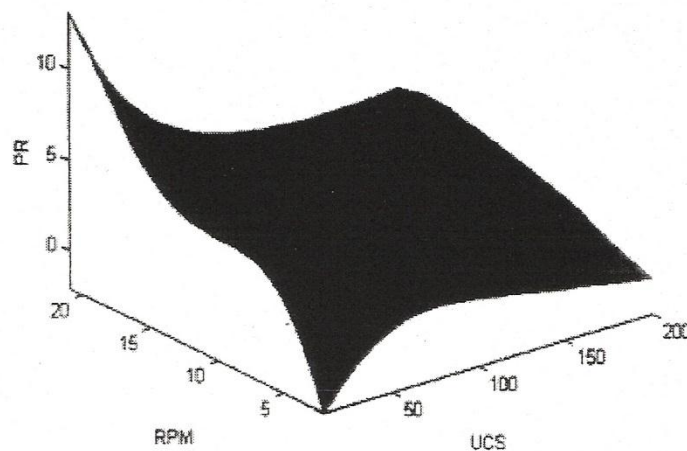
آزمون پانچ در اواخر ۱۹۶۰ برای اندازه گیری مستقیم نیروی عمود وارد بر برش دهنده

...



...

گرفته روی داده ها تطابق دارد (شکل‌های ۶-۴ و ۶-۳).



شکل ۶-۶: سطحی که رابطه PR و UCS و RPM را توصیف می کند

شکل ۶-۷ خروجی مدل را برای داده های ارزیابی و آموزش مورد مقایسه قرار داده است.

شکل ۶-۸ خطا را برای مجموعه های آموزش و ارزیابی نشان می دهد. خطای متوسط

مدلسازی برای مجموعه آموزش ۰/۸۸۸۴ و برای ارزیابی ۰/۸۹۹ است که بیانگر قابلیت

تعمیم مدل است.

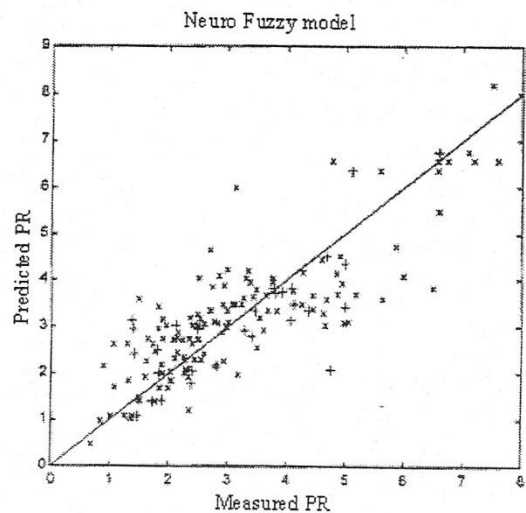
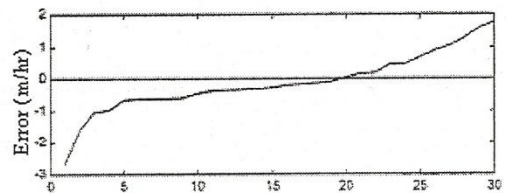
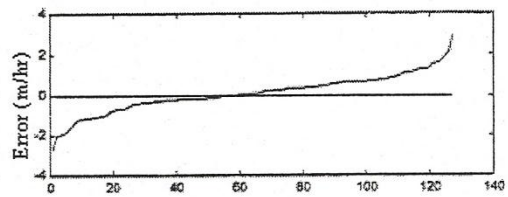
67

### ۳-۶- مقایسه با روشهای مختلف:

برای نشان دادن قابلیت های مدل فازی- عصبی نتایج مدل سازی با دو مدل رگرسیون چند خطی

و گراهم مقایسه شده اند. برای مقایسه کارآیی مدلها مجموعه های آموزش و ارزیابی مدل

فازی- عصبی برای مدل های آماری مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۶-۷: خطای مدل فازی در داده های آموزش (بالا) و ارزیابی (پایین) و محاسبه شده با مدل فازی + داده های ارزیابی X داده های آموزش

مدل اولیه با تحلیل رگرسیون گام به گام ایجاد شد. از تحلیل رگرسیون گام به گام نتیجه گرفته

شد که سرعت چرخش تاج حفار- مقاومت فشاری و نیروی محوری روی برش دهنده ها

متغیرهای مستقل مدل هستند.

مدل ثانویه با تحلیل رگرسیون برگشتی ایجاد شد و علاوه بر سرعت چرخش تاج حفار- مقاومت

فشاری و نیروی محوری روی برش دهنده ها- قطر تونل و گشتاور را نیز شامل می شد.

مدل رگرسیون چند خطی دوم اندکی بهتر از مدل اول بود ولی به خاطر تعداد پارامترهای

زیادش خیلی پیچیده بود.

68

جدول ۳-۶ مقدار خطای مجموعه های آموزش و ارزیابی را برای مدل فازی-عصبی مدل

رگرسیون و مدل تجربی گراهام نشان می دهد. کمترین میزان خطا برای مدل فازی-عصبی

است.

جدول ۳-۶: مدل های متفاوت و کارآیی آنها

مدل استفاده شده	RMSE (داده های آموزش)	RMSE (داده های ارزیابی)
تحلیل رگرسیون چند خطی	۱/۰۷۲۴	۱/۸۰۹۸
تحلیل رگرسیون چند خطی برگشتی	۱/۰۵۶۹	۱/۷۸۴۵
گراهام	-	۱۱/۸۲۸
گراهام اصلاح شده	۱/۲۷۳۷	۱/۴۵۳۲
فازی-عصبی	۰/۸۸۸۴	۰/۸۹۹۹

RMSE: Root Mean Square Error

ریشه متوسط مربعات خطا

#### ۴-۶- مدل نرخ پیش روی (بر مبنای شبکه عصبی):

شکل ۶-۹ استراتژی به کار برده شده برای ساختن مدل نرخ پیش روی ماهانه را نشان می‌دهد.

۱-۴-۶- انتخاب ساختار مدل و کاهش متغیرها:

متغیرهای ورودی مدل بر مبنای تحلیل آماری و مقالات ارائه شده انتخاب شده اند. برای غلبه

بر ماهیت غیر خطی داده ها و رابطه غیر خطی میان آنها از یک روش غیر خطی بهره گرفته

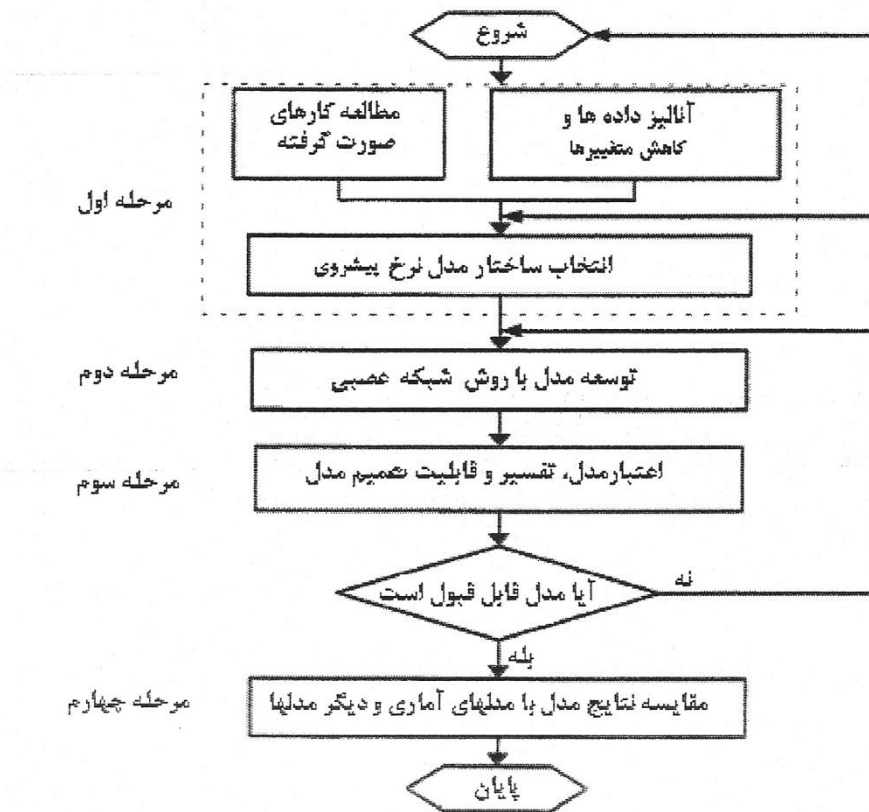
شده است. در مدل اولیه بر اساس الگوریتم مقاومت نسبی تاثیر (RSE) که توسط زانگک و یانگ

پیشنهاد شده است. ۱۲ متغیر ورودی انتخاب گردیده است. در این ۱۲ روش متغیر ورودی

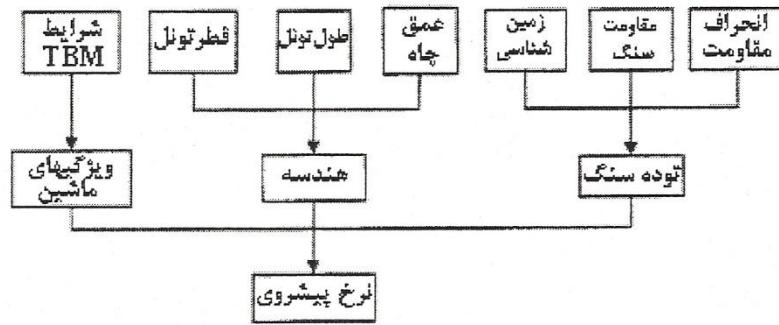
می توانسته به ۷ متغیر کاهش یابد. متغیرهای ورودی به سه دسته تقسیم شده اند: هندسه- توده

سنگ و ویژگی های ماشین (شکل ۶-۱۰).





شکل ۶-۹: استراتژی بکار برده شده در مدل سازی AR



شکل ۶-۱۰: فاکتورهای اصلی که AR را تحت تاثیر قرار می دهند

70

۶-۴-۲- الگوریتم آموزش شبکه عصبی:

برای گسترش مدل نرخ پیشروی از الگوریتم آموزش LM بهره گرفته شده است. مهمترین

دلیل برای این انتخاب سرعت بالایی محاسبات است. این الگوریتم توانایی دارد یک شبکه را

با سرعت بالایی (حدود ۵۰۰ برابر الگوریتم بر مبنای گرادیان) آموزش دهد. دلیل این امر

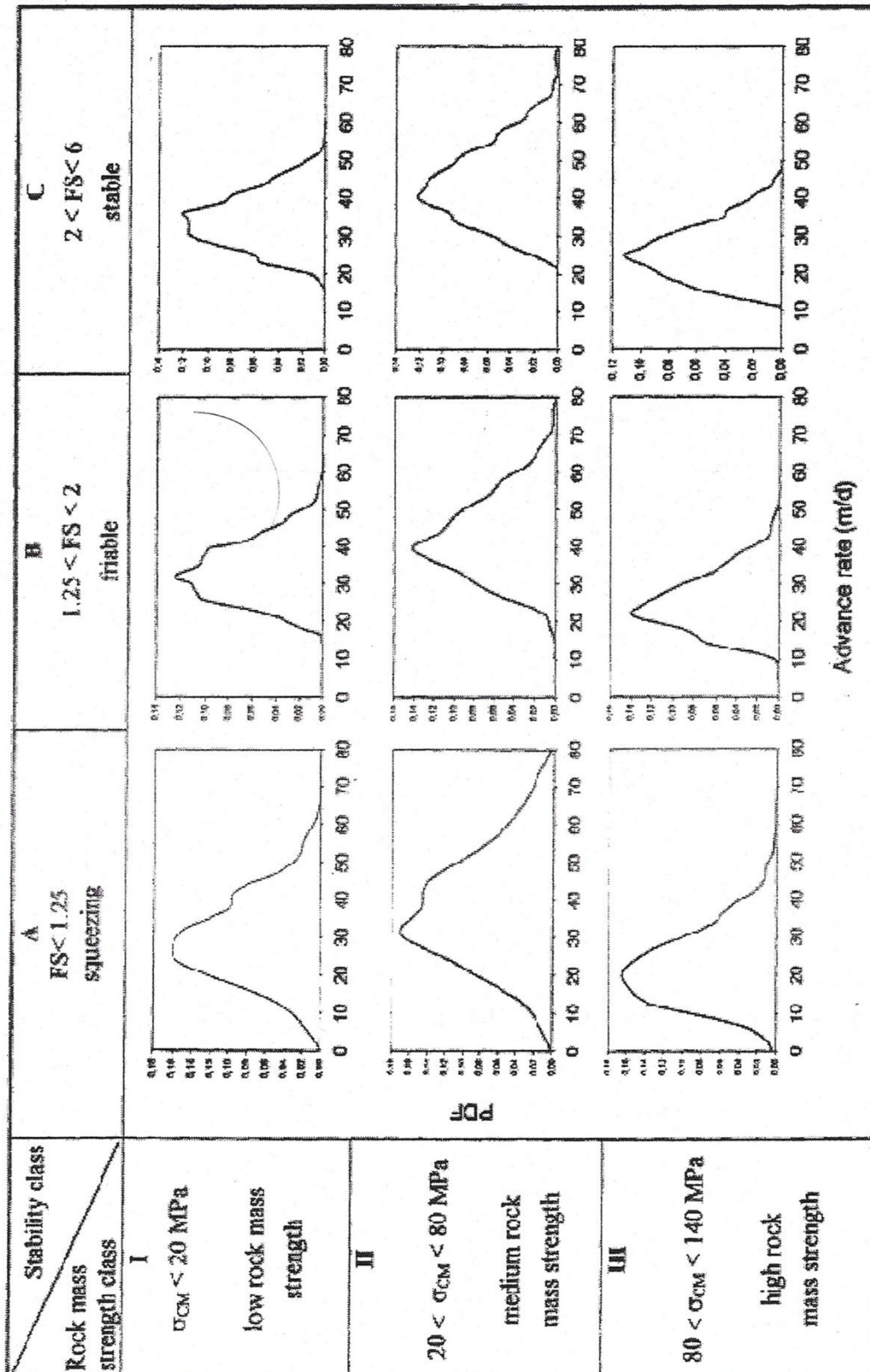
استفاده الگوریتم LM از قابلیت های روش های کاهش بر مبنای گرادیان و گوس- نیوتن

می باشد.

...

این قسمت از فایل حذف شده است...  
**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

...



جدول ۳-۸: توابع چگالی احتمال نرخ پیشروی برای نه ترکیب ممکنه از کلاس های پایداری و مقاومت سنگ

## فصل نهم

### ۹- پیش بینی بهره وری TBM بر مبنای

#### روش NTH

این روش براساس یک رابطه تجربی میان پارامترهای مکانیکی و زمین شناسی سنگ و بهره وری ماشین در زمین پایه گذاری شده است. و از یک سری پارامترهای سنگی و اندیس ها که برای قابلیت حفاری سنگهای سخت نوردیک بدست آمده اند استفاده می کند. این پارامترها به برخی ویژگی های استاندارد سنگ مانند مقاومت فشاری تک محوره- اندیس های سایش و غیره مربوط می شود. مهمترین مزیت این روش منظور کردن تاثیرات شرایط زمین و خواص سنگ با همه پیچیدگی هایش به صورت طبیعی می باشد. این بدین معنی است که شرایط زمین ویژگی های سنگ- پارامترهای ماشین و محدودیتهای عملی همه لحاظ می شوند. تخمین های که توسط این روش ارائه می شود برای کاربر قابل فهم تر و دررنج داده های بانک اطلاعاتی

قابل اعتماد هستند. به خاطر اینکه این روش بر مبنای داده های بانک اطلاعاتی ناشی از پروژه های تکمیل شده پیشین بنا نهاده شده است قابلیت پیش گویی آن با توجه به توسعه روز افزون تکنولوژی ماشین های حفاری محدود است.

روش NTH مقبولیت جهانی داشته و به طور وسیع در صنایع مخصوصاً در اروپا استفاده می شود. این روش شایستگیهای زیادی داشته و قابل اعتماد بودن آن اثبات شده است. این مدل با شروع حفاری مکانیزه در نروژ ایجاد شد و با تکمیل پروژه های جدید به روز می شود. وهم

94

اکنون بر مبنای ۱۵۰ کیلومتر تونل کاری می باشد. جدول ۹-۱ پارامترهای ورودی روش NTH را نشان داده است.

جدول ۹-۱: پارامترهای ورودی مدل NTH

پارامترهای ماشین	ویژگی های توده سنگ
نیروی محوری روی برش دهنده	درزه ها- شکستگی ها و غیره
rpm سرعت چرخش تاج حفار	شاخص نرخ حفاری DRI
فاصله داری برش دهنده ها و توان ماشین	شاخص عمر برش دهنده CLI

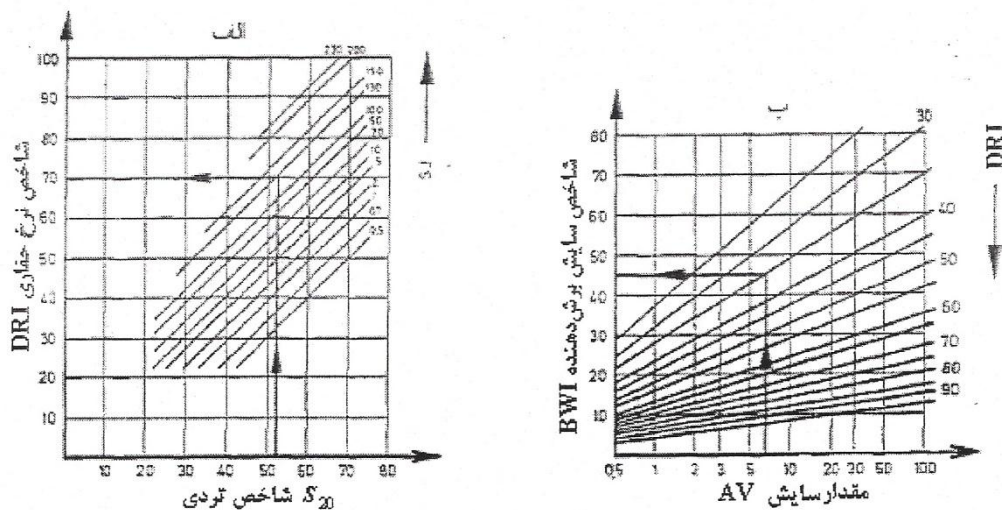
برای بدست آوردن پارامترهای ورودی مدل NTH آزمایش های زیر لازم است.

۱- آزمون تردی ( $S_{20}$ )

۲- اندیس جی سیورز ( $S_j$ )

۳- آزمون سایش ( $AV$ )

DRI با استفاده از شاخص ( $S_j$ ) و شاخص ( $S_{20}$ ) و شکل ۹-۱ الف حاصل می شود.



شکل ۹-۱: نمودار تعریف DRI الف و BWI ب

95

شاخص سایش برش دهنده (BWI) به صورت ترکیبی از DRI و AV مطابق شکل ۹-۱ ب

تعریف می شود. این شاخص در نسخه های جدید NTH دیگر استفاده نمی شود.

شاخص عمر برش دهنده (CLI) بر مبنای داده های آزمایشگاهی به صورت زیر تعریف

می شود.

این قسمت از فایل حذف شده است...

**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

هنگامی که  $M_1$  و قطر برش دهنده ها زیاد و فاصله برش دهنده ها حداقل باشد  $b$  بیشترین مقدار خود را دارد. انتخاب صحیح  $b$  در روش NTH از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

جهت ارزیابی گشتاور مورد نیاز NTH رابطه زیر را پیشنهاد می کند:

$$F_r = C \cdot F_n \sqrt{PR} \quad 9-4$$

که در آن:

$C$  ثابت برش دهنده می باشد و تابعی از قطر برش دهنده  $k_s$  و کندی یا تیزی برش دهنده

101

می باشد. مقادیر  $C$  در جدول ۹-۹ آورده شده است.

جدول ۹ - ۹: مقادیر  $C$  در شرایط مختلف



Disc Diameter		$K_p$ Range	C	
mm	in.		blunt	sharp
356	14	from <math>\leq 0.75</math>	0.038	0.044
		up to <math>\approx 4.0</math>	0.070	0.082
394	15.5	from <math>\leq 1.0</math>	0.034	0.041
		up to <math>\approx 4.0</math>	0.050	0.060
432	17	all	0.025	0.033
483	19	all	0.018	0.027

روش NTH مقادیر کمتری را برای نرخ نفوذ نسبت به آنچه در عمل به دست می آید نشان می دهد. علت آن تفاوتی است که در نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی و مقاومت برجای سنگ وجود دارد.

عمر متوسط برش دهنده ها  $L_h$  (بر حسب ساعت) در زمان حفاری برای هر برش دهنده به صورت زیر بیان می شود:

$$L_h = DLK \phi K_{rpm} K_N K_{min} / N \quad 9-5$$

که در آن  $N$  تعداد دیسک ها و  $DL$  عمر دیسک می باشد که مقادیر آن در جدول ۹-۱۰ آورده

شده است. فاکتور تصحیح  $K_\phi$  برای منظور کردن تاثیر قطر TBM و نوع برش دهنده لحاظ

شده است. علت لحاظ کردن این فاکتور این است که عمر برش دهنده های نصب شده روی تاج

حفار تخت بیش از آنهاست که روی تاج حفار گنبدی شکل نصب می شوند و هر چه قطر

تاج حفار افزایش می یابد درصد برش دهنده های بیرونی کمتر می شود. مقادیر  $K_\phi$  در جدول

۹-۱۱ آورده شده است.

فاکتور تصحیح  $K_{rpm}$  برای منظور کردن تاثیر سرعت چرخش تاج حفار تعریف شده است.

هرچه تاج حفار سریعتر بچرخد سرعت غلتشی برش دهنده بالاتر و عمر برش دهنده کوتاهتر

102

خواهد بود.

جدول ۹ - ۱۰: مقادیر DL برای برش دهنده های متفاوت

Disc Diameter		DL, TBM hrs
mm	in.	
356	14	8.6 CLI
394	15.5	12.4 CLI
432	17	17.4 CLI
488	19	26.3 CLI

جدول ۹ - ۱۱: مقادیر  $K_{\phi}$  برای تاج های حفار مختلف

TBM Diameter, m	$k_{\phi}$	
	Domed	Flat
3	0.92	1.04
5	1.19	1.34
7	1.40	1.58
10	1.67	1.87

فاکتور  $K_{rpm}$  به صورت زیر تعریف می شود:

$$K_{rpm} = 38 / (D \cdot rpm)$$

۹-۶

که در آن  $rpm$  سرعت چرخش تاج حفار به دور بر دقیقه می باشد و  $D$  قطر تاج حفار به

متر است. فاکتور تصحیح  $K_N$  برای ماشین های تعریف شده که فاصله برش دهنده ها در آنها

۶۵ میلی متر نباشد اگر فاصله برش دهنده ها کمتر باشد عمر آنها بیشتر است. اگر  $S$  فاصله

متوسط برش دهنده ها به میلی متر باشد فاکتور  $K_N$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$K_N = 65/S \quad 9-7$$

فاکتور تصحیح  $K_{min}$  برای منظور کردن وجود کانی های ساینده مانند کوارتز- میکا و

آمفیبولیت تعریف شده است. این فاکتور به صورت زیر محاسبه می شود:

$$k_{min} = k_{quartz} \cdot k_{mica} \cdot k_{amph} \quad 8-9$$

## 103

فاکتورهای  $k_{quartz}, k_{mica}, k_{amph}$  می توانند بر اساس محتوی حجمی کانیها از جدول ۹-۱۲ به

دست آیند. استفاده از درون یابی در جدول ۹-۱۲ مجاز و دقت آن قابل قبول است.

جدول ۹-۱۲: فاکتورهای  $k_{quartz}, k_{mica}, k_{amph}$  بر اساس محتوی حجمی کانیها

Mineral Content, Volume %	$k_{quartz}$	$k_{mica}$	$k_{amph}$
0	1.0	1.0	1.0
10	0.74	0.78	0.90
20	0.67	0.72	0.58
30	0.65	0.67	0.46
40	0.65	0.65	0.38
50	0.65	0.62	0.34
$\geq 60$	0.65	0.60	0.31

بدین ترتیب عمر متوسط برش دهنده ها محاسبه می شود. بر اساس بانک اطلاعاتی NTH

عمر غلشی برش دهنده های ۳۹۴ میلی متری از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلو متر برای سنگهای

خیلی ساینده و از ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ برای سنگهای غیر ساینده تغییر می کند. عمر برش

دهنده برای برش دهنده های ۳۵۶ میلی متری حدود ۳۰ درصد کمتر از مقدار بیان شده است

و برای برش دهنده های ۴۳۲ میلی متری حدود ۵۰-۶۵ درصد بیشتر است.

عمر برش دهنده ها روی تاج حفار تخت حدود ۱۰ درصد بیشتر از تاج حفار گنبدی میباشد.

...

این قسمت از فایل حذف شده است...

**آنچه ملاحظه می کنید، تنها بخشی از فایل اصلی می باشد  
جهت دسترسی به متن کامل با پسوند ورد، فایل را خریداری نمایید.**

...

منابع:

1-Jamal Rostami,Bjorn Nilsen and Levent Ozdemir,Comparison Between CSM  
And NTH Hard Rock TBM Performance Prediction Models

2- Bjorn Nilsen and Levent Ozdemir, Hard rock tunnel boring performance/field  
Perediction, RETC 1993,Chapter 52

- 3 - Johannessen, O. et al, 1998, Hard Rock Tunnel Boring, Norwegian Institute Of Thecnology, Div. of Construction Engineering, Project Report No. 1-88,183P
- 4 - Tarkoy, P.J.1973, Prediction TBM penetration rate in selected Rock types,In Proceedings, Ninth Canadian Rock Mechanics
- 5 – Tunnel Boring Machine Performance Concepts and Performance Prediction Appendix C, US Army Corps, EM 1110-2-2901,30 May 97
- 6 – Dominic and F. Hawarth, Mechanical Rock Excavation, Assessment of Cuttability and Borability, 1966,
- 7 – Demuth, H. and Beale, M. 1994, Neural Network Toolbox User s Guide, the Math works Inc.
- 8 – Barton, N.(2000).TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock
- 9 – Schmidt, R.L.,1972. Drillability studies percussive drilling in the field USMB RI 7684
- 10 – Clark, G.B.,1979. Principles of Rock Drilling. Colorado School of Mines, Colorado
- 11 – Nick Barton NGI Norway, Jhun ITOH ERIC Japan Performance Estimation  
 $Q_{TBM}$  Estimation in Rock  
Using
- 12 – Chiu, S.1994, Fuzzy model identification based on cluster estimation, Journal of Intelligent and fuzzy systems