

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی عمران

گروه خاک و پی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران

عنوان :

اثر فوم برخواص فیزیکی و مکانیکی خاک های رسی

استاد راهنما:

دکتر هوشنگ کاتبی

استاد مشاور :

دکتر مسعود حاجی علیلوی بناب

پژوهشگر :

آرش بمانی یزدی

دی ماه 1389

این تحقیق را به

همسر عزیزم

تقدیم می‌نمایم.

درسی که حقیقی است در سینه بود در سینه بود هر آنچه درسی بود
صدخانه پر از کتاب سودی نهد باید که کتابخانه در سینه بود

با سپاس به درگاه ایزد منان، وظیفه‌ی خود می‌دانم که در آغاز از مساعدت فکری و لطف و مرحمت کلیه بزرگواری که در انجام این تحقیق مرا یاری نمودند، قدردانی نمایم. استاد راهنمای بزرگوار

جناب آقای دکتر هوشنگ کاتبیکه در طی انجام این تحقیق علاوه بر راهنمایی‌های ارزنده‌ی علمی، با توجه و لطف فراوان، همواره مشوق و پشتیبان من بودند. استاد مشاور گرانقدر

جناب آقای دکتر مسعود حاجی علیلوی بناب که با لطف بسیار، همواره با علاقه و جدیت در مراحل مختلف انجام این تحقیق مرا یاری نموده و راهنمایی‌های ایشان در تقویت نتیجه و حاصل این بسیار مؤثر بود.

همچنین از لطف و محبت دوستان بسیار عزیزم مهندس اسماعیل قلی زاده، مهندس صادق بهرامی، مهندس بابک دادخواه و مهندس رضا شهبازی که هریک به نوعی در هموار کردن دشواری‌های راه مرا یاری نمودند، سپاسگزارم.

در نهایت تشکر ویژه خود را از جناب آقای مهندس حسین عدن و ر که انجام بسیاری از مراحل تدوین پایان نامه خود را مدیون ایشان می‌باشم، با تمام وجود ابراز می‌نمایم.

قدر مسلم طی مراحل تحصیل جز با یاری بی دریغ پدر بزرگوار و مادر مهربانم میسر نبود.

نام خانوادگی دانشجو: بمانی یزدی	نام: آرش
عنوان پایان نامه: اثر فوم بر خواص فیزیکی و مکانیکی خاک های رسی	
استاد راهنما: دکتر هوشنگ کاتبی	استاد مشاور: دکتر مسعود حاجی علیوی بناب
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
گرایش: خاک و پی	دانشگاه: تبریز
دانشکده: فنی مهندسی عمران	تاریخ فارغ التحصیلی: دی ماه 1389
تعداد صفحه: 141	
کلید واژه: EPB، فشار پذیری، مقاومت برشی، نفوذ پذیری، فوم، شاخص پلاستیک	
<p>چکیده</p> <p>پیشرفت روز افزون جهان و نیازهای فزاینده به ارتباطات و همچنین ایجاد مشکلاتی همچون اتلاف وقت در ترافیک شهری، استفاده از خطوط ارتباطی زیر سطحی را اجتناب ناپذیر می سازد. در راستای ایجاد چنین ارتباطاتی نیاز به ساخت تونل کاملاً مشهود است. به دلیل حساسیت بسیار زیاد اماکن شهری استفاده از تکنولوژی های به روز دنیا برای حفر تونل ضروری به نظر می رسد. از تکنولوژی های نوین حفاری در مناطق شهری حفاری مکانیزه می باشد. حفاری مکانیزه در مناطق شهری، معمولاً به فشاری برای نگهداری جبهه کار در پشت آن، برای جلوگیری از ریزش زمین به داخل تونل و کمینه کردن نشست سطح زمین، نیاز دارد. در این بین استفاده از ماشین حفاری EPB نقش حیاتی ایفا می کند.</p> <p>در روش حفاری EPB خاک حاصل از حفاری با قرار گرفتن در محفظه ای در جبهه حفاری، به سطح حفاری شده تکیه داده و فشار ایجاد شده در جبهه کار را به تعادل می رساند. برای ایجاد چنین شرایطی خاک باید خصوصیات خاصی داشته باشد، از جمله: فشار پذیری بالا، مقاومت برشی پایین و نفوذ پذیری مناسب برای جایی که آب زیرزمینی وجود دارد. برای رسیدن به این خصوصیات از اصلاح گرهایی استفاده می شود. فوم ها از جمله این اصلاح گرها می باشند.</p>	

ادامه چکیده پایان نامه

وجود فوم در عملیات حفاری با ماشین EPB بسیار موثر و لازم می باشد به طوری که در اکثر حفاری های شهری از این اصلاح گر استفاده می شود، بدین منظور بررسی تأثیر فوم بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاکها امری بسیار حیاتی است.

در این پایان نامه اثر فوم بر برخی از خصوصیات خاک های رسی از جمله مقاومت برشی زهکشی نشده و خواص پلاستیک آنها مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور دو نوع خاک رسی با خواص متفاوت مورد استفاده قرار گرفته اند و محلول های فوم ساز از شرکت تامین کننده آنها در عملیات احداث تونل مترو شهر تبریز، تهیه گردیده اند.

پس از انجام آزمایشات، اثر اصلاحی خاک های رسی بدین ترتیب نتیجه گیری شد که با افزودن فوم به خاک رسی مقاومت برشی زهکشی نشده آن به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. این کاهش مقاومت منجر به عملکرد بهتر ماشین حفاری EPB می شود.

ضمناً با انجام آزمایشات برای تعیین خواص پلاستیک خاک های اصلاح شده با فوم، این نتیجه حاصل شد که با افزودن فوم به خاک رسی شاخص پلاستیک آن کاهش می یابد. کاهش شاخص پلاستیک خاک تصدیقی بر کاهش مقاومت خاک بر اثر افزودن فوم می باشد.

1.....	مقدمه
4.....	فصل 1- بررسی منابع (پیشینه پژوهش و پایه های نظری)
4.....	1-1- تونل زنی و انواع روش ها
6.....	2-1- مروی بر حفاری با TBM
6.....	1-2-1- آشنایی با TBM
7.....	1-1-2-1- چرخ یا سرحفار
7.....	1-2-1-2-1- سیستم پیشران
8.....	1-2-1-3-1- تنش اطراف TBM
8.....	1-2-1-4-1- فشار تعادلی
9.....	2-2-1- انواع TBM
12.....	3-2-1- عملکرد TBM
12.....	1-3-2-1- سنگهای سخت TBM
13.....	2-3-2-1- هوای فشرده TBM
14.....	3-2-2-1- سپرهای هیدرولیکی
15.....	4-2-2-1- ماشین حفاری فشار تعادلی زمین
18.....	5-2-2-1- ماشین حفاری Universal TBM/Mixed face shield
19.....	4-2-1- مقایسه روش حفاری به شیوه سنتی و روش تونل زنی با TBM
23.....	3-1- اصلاح خاک برای ماشین حفاری EPB
26.....	4-1- اصلاح گره های خاک
26.....	1-4-1- گل های بنتونیتی
27.....	2-4-1- پلیمر ها
29.....	3-4-1- فوم ها
36.....	4-4-1- سایر اصلاح گرها

36.....	5-1- خواص فوم.....
39.....	1-5-1- آزمایشات فوم.....
40.....	1-1-5-1- آزمایشات بر روی فوم.....
41.....	2-1-5-1- آزمایشات بر روی مخلوط خاک و فوم.....
41.....	1-2-1-5-1- آزمایش نفوذ فوم.....
42.....	2-2-1-5-1- آزمایش اختلاط.....
42.....	3-2-1-5-1- آزمایش اسلامپ.....
42.....	4-2-1-5-1- آزمایش نفوذپذیری.....
43.....	5-2-1-5-1- آزمایش اصطکاک یا چسبندگی.....
43.....	6-2-1-5-1- آزمایش نفوذ مخروط.....
43.....	7-2-1-5-1- آزمایش برش پره.....
44.....	6-1- تجربیات اخیر استفاده از فوم در تونل سازی.....
44.....	1-6-1- نکات مهم در ارتباط با استفاده از فوم در ماشین حفاری EPB.....
47.....	7-1- مطالعات موردی.....
49.....	فصل 2- مواد و روش ها.....
49.....	1-2- مقدمه.....
50.....	2-2- آزمایشات خاک و فوم.....
50.....	1-2-2- خصوصیات و آزمایشات مشخصه فوم.....
50.....	1-1-2-2- غلظت.....
51.....	2-1-2-2- آزمایش نسبت انبساط (FER).....
52.....	3-1-2-2- آزمایش مدت زمان پایداری فوم ها (T50%).....
52.....	2-2-2- اصلاح گره های مورد استفاده.....
52.....	1-2-2-2- اصلاح گره های فوم ساز.....
53.....	1-1-2-2-2- اصلاح گر فوم ساز MEYCO SLF30.....

- 54.....MEYCO SLF41(A&D) ساز گر فوم اصلاح گر فوم 2-1-2-2-2
- 56..... اصلاح گرهای پلیمری 2-2-2-2-2
- 56.....RHEOSOIL143 اصلاح گر پلیمری 1-2-2-2-2
- 57.....RHEOSOIL211 اصلاح گر پلیمری 2-2-2-2-2
- 58..... دستگاه فوم ساز 3-2-2-2-2
- 62..... نحوه تولید فوم و شرایط استاندارد تولید 4-2-2-2-2
- 64..... آزمایشات مشخصه خاک و فوم 3-2-2-2-2
- 64..... آزمایش مخروط افتان مقیاس بزرگ 1-3-2-2-2
- 67..... آزمایش برش پره 2-3-2-2-2
- 69..... آزمایش های حدود اتربرگ 3-3-2-2-2
- 70..... خصوصیات خاک 4-2-2-2-2
- 70..... دانه بندی و مشخصات اولیه نمونه خاک رسی اول 1-4-2-2-2
- 71..... دانه بندی و مشخصات اولیه نمونه خاک رسی دوم 2-4-2-2-2
- 72..... تهیه نمونه آزمایشی 3-4-2-2-2
- 74..... فصل 3- نتایج و بحث
- 74..... 1-3- نتایج آزمایشات بر روی فوم
- 74..... 1-1-3- داده های حاصل از آزمایشات
- 78..... 2-1-3- تحلیل نتایج آزمایشات
- 84..... 2-3- نتایج آزمایشات مخروط افتان مقیاس بزرگ و برش پره بر روی مخلوط خاک و فوم
- 84..... 1-2-3- داده های حاصل از آزمایشات
- 89..... 2-2-3- تحلیل نتایج آزمایشات
- 94..... 3-3- نتایج آزمایشات حدود اتربرگ
- 94..... 1-3-3- داده های حاصل از آزمایشات

101.....	3-3-2- تحلیل نتایج آزمایشات.....
104.....	3-4- خلاصه نتایج و پیشنهادات.....
104.....	3-4-1- خلاصه نتایج حاصل شده از آزمایشات بر روی فوم.....
105.....	3-4-1- خلاصه نتایج حاصل شده از آزمایشات بر روی مخلوط خاک و فوم.....
106.....	3-5- پیشنهادات برای تحقیقات بعدی.....
107.....	پیوست.....
107.....	1- نتایج آزمایشات بر روی نمونه های خاک رسی اول.....
112.....	2- نتایج آزمایشات بر روی نمونه های خاک رسی دوم.....
	3- نتایج آزمایشات مخروط افتان مقیاس بزرگ و برش پره بر روی خاک های
117.....	رسی.....
133.....	4- نتایج اثر اصلاح بر PI خاک های رسی.....
139.....	منابع مورد استفاده.....

مقدمه

پیشرفت روز افزون جهان و نیازهای فزاینده به ارتباطات و همچنین ایجاد مشکلاتی همچون اتلاف وقت در ترافیک شهری، استفاده از خطوط ارتباطی زیر سطحی را اجتناب ناپذیر می سازد. در راستای ایجاد چنین ارتباطاتی نیاز به ساخت تونل کاملاً مشهود است. به دلیل حساسیت بسیار زیاد اماکن شهری استفاده از تکنولوژی های به روز دنیا برای حفر تونل ضروری به نظر می رسد. از تکنولوژی های نوین حفاری در مناطق شهری حفاری مکانیزه می باشد. حفاری مکانیزه در مناطق شهری، معمولاً به فشاری برای نگهداری جبهه کار در پشت آن، برای جلوگیری از ریزش زمین به داخل تونل و کمینه کردن نشست سطح زمین، نیاز دارد. در این بین استفاده از ماشین حفاری EPB نقش حیاتی ایفا می کند.

در روش حفاری EPB خاک حاصل از حفاری با قرارگرفتن در محفظه ای در جبهه حفاری، به سطح حفاری شده تکیه داده و فشار ایجاد شده در جبهه کار را به تعادل می رساند. برای ایجاد چنین شرایطی خاک باید خصوصیات خاصی داشته باشد، از جمله: فشار پذیری بالا، مقاومت برشی پایین و نفوذ پذیری مناسب برای جایی که آب زیرزمینی وجود دارد. برای رسیدن به این خصوصیات از اصلاح گرهایی استفاده می شود. فوم ها از جمله این اصلاح گرها می باشند.

وجود فوم در عملیات حفاری با ماشین EPB بسیار موثر و لازم می باشد به طوری که در اکثر حفاری های شهری از این اصلاح گر استفاده می شود، بدین منظور بررسی تأثیر فوم بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاکها امری بسیار حیاتی است.

ابعاد و اهداف تحقیق

اصلاح رفتار برای یک خاک خاص با بهره گیری از اصلاح گرها و با توجه به متغیرهای زیاد و از طرفی با توجه به تنوع مختلف اصلاح گرها در صنعت حفاری، می تواند مشکلاتی به همراه داشته باشد. خواص اصلاح گرهای مختلف و اثر متفاوت آنها بر رفتار خاک، تا کنون کمتر به طور پایه ای و جامع مورد مطالعه قرار گرفته است. اصلاح گرهای مناسب و دامنه پارامترهای آن ها برای اصلاح خاک های مختلف معمولاً در طول تجربیات کارهای عملی به دست آمده اند و آزمایش های آزمایشگاهی متفاوتی برای اندازه گیری خواص خاکهای اصلاح شده، پیشنهاد شده اند.

مطالعات موردی درباره آزمایشات خاک و فوم نشان می دهد که اثر اصلاح خاکهای ماسه ای با فوم بیشتر مورد توجه بوده و به اثر اصلاح خاکهای رسی، نسبتاً توجه کمتری شده است. بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر اصلاح گر فوم بر خواص فیزیکی و مکانیکی خاک های رسی پرداخته شده است.

هدف اصلی انجام پایان نامه بررسی اثر فوم بر مقاومت برشی زهکشی نشده خاک های رسی و خواص پلاستیک آن ها می باشد. در این تحقیق اثر پارامترهای تاثیر گذار بر خواص فوم نیز به عنوان هدفی فرعی مورد توجه بوده است.

بیکر بندی پایان نامه

فصل 1- بررسی منابع ، در این فصل ابتدا انواع روش های حفر تونل بیان می شود. سپس روش حفر تونل مکانیزه با TBM و انواع آن معرفی می شوند که یکی از جدیدترین تکنولوژی های حفر تونل، استفاده از ماشین حفاری EPB می باشد. در ادامه و با توجه به نیاز روش حفاری با ماشین حفاری EPB به اصلاح خاک، انواع اصلاح گرهای خاک و خصوصیات آنها

بیان می شوند. پس از معرفی انواع اصلاح گر به بیان خصوصیات فوم پرداخته می شود که پرکاربردترین اصلاح گر در روش حفاری با ماشین حفاری EPB است.

در انتهای فصل انواع آزمایشات موجود برای تعیین خواص فوم و مخلوط خاک و فوم آورده شده است.

فصل 2- مواد و روش ها ، این فصل از دو بخش کلی تشکیل شده است. بخش اول شامل توضیحات آزمایشات انجام شده بر روی فوم و شرح انواع مواد اصلاح گر به کار برده شده برای انجام آزمایشات، می باشد و در انتهای این بخش مشخصات دستگاه فوم ساز استفاده شده در این پایان نامه بیان می شود. در بخش دوم دستگاه ها، روش ها و مصالح به کار گرفته شده برای انجام آزمایشات بر روی مخلوط خاک و رس شرح داده می شود.

فصل 3- نتایج و بحث ، در بخش اول این فصل ابتدا نتایج آزمایشات بر روی فوم در جداولی آورده شده است و سپس به بررسی و تحلیل نتایج پرداخته شده است. در بخش بعدی نتایج آزمایشات بر روی مخلوط خاک و فوم در جداولی آورده شده است و سپس به بررسی و تحلیل نتایج پرداخته شده است.

فصل 1- بررسی منابع (پیشینه پژوهش و پایه های نظری)

1-1- تونل زنی و انواع روش ها

تقاضای بسیار زیاد برای انجام عملیات در فضای زیر زمین در دهه های اخیر منجر به ایجاد نوآوری بسیاری در صنعت تونل سازی شده است که در پی آن روآوری به تکنولوژی های پیشرفته اجتناب ناپذیر است.

روش های تونل سازی و تکنولوژی حفر تونل بسته به شرایط زمین شناسی، موقعیت تونل، طول و شکل هندسی آن تغییر می کند .

سه روش ساخت در تونل سازی وجود دارد:

1- روش حفای سطح باز^۱

2- روش حفاری کند و پوش^۲

3- روش حفاری سطح بسته^۳

در روش حفاری سطح باز ابتدا کار با حفاری به طور قائم از سطح زمین تا کف مقطع حفاری انجام می شود و حفاری در زیر زمین به طور افقی در سطح واقعی تونل انجام شده و در نهایت چاله اولیه کنده شد پر می شود. حفاری سطح باز در زمین هایی که دارای خاصیت خودپایداری هستند و همچنین مکان هایی که نشست سطح پس از حفاری مورد توجه نباشد، امکان پذیر است.

^۱ Open-Cut

^۲ Cut-and-Cover

^۳ Closed-Face

در پروژه های نزدیک به سطح زمین اقتصادی است که برای انجام عملیات تونل سازی تمام خاک بالای تونل را برداشته سپس تونل و پوشش آن را ایجاد کرد و در نهایت روی پوشش تونل را با خاک تا رسیدن به تراز مورد نظر پوشانند. این روش به حفاری کند و پوش معروف است . روش کند و پوش شامل نصب دیوارهای موقت برای پایدارسازی دیوارهای محل حفاری، نصب سیستمهای نگهدارنده، کنترل سطح آب زیرزمینی و زیر بندی^۱ سازه های اطراف می باشد در روش حفاری سطح بسته تونل به طور افقی از محور ابتدایی حفر می شود. این روش عموماً در مناطق شهری و یا جاهایی که نشست سطح ناشی از حفاری مورد توجه است، انجام می شود. در این روش با ایجاد فشار تعادلی در جبهه حفاری نشست سطح، کمینه می شود .

با توجه به روش های نامبرده، استفاده از ماشین آلات مکانیزه مختلفی در احداث تونل امکان پذیر می باشد. از جمله ماشین آلاتی که در احداث تونل مورد استفاده قرار می گیرد به شرح زیر می باشد :

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1-دندانه های خراش دهنده ^۲ | 2- بازوهای هیدرولیکی ^۳ |
| 3-حفار های کله گاوی ^۴ | 4- انواع مختلف TBM ^۵ |

که این وسایل در نهایت حفاری تمام سطح را انجام می دهند. از پرکاربرد ترین وسایل حفاری مکانیزه نامبرده می توان انواع TBM ها را نام برد. برای آشنایی بیشتر با این وسایل در زیر توضیح مختصری ارائه می شود.

^۱ Under Pinning

^۲ Ripper Teeth

^۳ Hydraulic Rams

^۴ Road Headers

^۵ Tunnel Boring Machines (TBM)

2-1- مروی بر حفاری با TBM1-2-1- آشنایی با TBM

TBM ها ماشین های مکانیکی کم و بیش اتوماتیکی هستند که حفاری تونل، تامین نگهدارنده موقت حین حفاری (در صورت لزوم) و نصب نگهدارنده های دائم را انجام می دهند. مواد حفاری شده حین حفاری با استفاده از کامیون ها، تسمه نقاله و واگن به خارج تونل انتقال داده می شوند.

TBM ها از نظر شکل مقطع حفاری تونل، وجود تنوع ساختار زمین شناسی در مسیر تونل و ایجاد پیچ های قائم و افقی انعطاف پذیری لازم را ندارند. به همین دلیل معمولاً برای هر پروژه منحصرأ طراحی می شوند. [7]

قسمت های مختلف یک TBM عبارتند از :

- چرخ یا سر حفار^۱، جایی که خاک با ابزارآلات مخصوص حفاری می شود.
- سیستم پیشران برای حرکت به جلو.
- سیستم تخلیه مواد حفاری شده .
- ابزارآلات نصب نگهدارنده های موقت (میخ سنگ^۲، شاتکریت و تزریق) یا تجهیزات مطالعات اولیه .
- تجهیزات نصب نگهدارنده دائم.
- سیستم تزریق^۳ در فضای بین سطح حفاری شده و نگهدارنده دائم.

از جمله معایب TBM ها هزینه اولیه زیاد و همچنین افزایش هزینه ها در صورت انتخاب نادرست نوع TBM می باشد. مثال های متعددی از تاخیر زیاد و افزایش هزینه های پروژه به علت عدم مطالعات اولیه کافی و انتخاب نادرست TBM وجود دارد. همچنین تعدادی از TBM ها

^۱ Cutter head or Cutting wheel

^۲ Rock Bolt

^۳ Grouting

وجود دارند که در مسیر حفاری تونل گیر افتاده و نتوانستند اند کار حفاری را خاتمه دهند. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، کارایی TBM ها افزایش یافته، به طوری که می توان از یک TBM در شرایط متنوع ساختار زمین شناسی استفاده کرد.

1-1-2-1- چرخ یا سرحفار

چرخ یا سرحفار وسیله ای است که ابزارآلات حفاری بر روی آن نصب می شوند. این وسیله با توجه به نوع زمینی که در آن حفاری انجام می شود، تنظیم می گردد. در مصالح نرم از جمله رس، ابزار برش بیشتر شبیه چاقو یا دندان است که تکه های زمین را می کند. در زمین های سخت تر همچون سنگ، ابزار برش می تواند دندانه خراشیدنی^۱ و یا رنده های صفحه ای^۲ باشد. صفحه حفار اگر کاملاً بسته باشد، می تواند بعنوان صفحه نگهدارنده عمل کند. نازل های پاشش آب^۳ ممکن است بر روی ابزارآلات برش نصب شوند تا به روند حفاری و یا سهولت حمل مصالح شکسته کمک کنند.[8]

1-2-1-2- سیستم پیشران^۴

TBM توسط سیستم های جک فشاری نصب شده، بین سپر TBM و لاینینگ تونل در داخل زمین به جلو پیشروی می کند.

برای تونل های کوتاه، جک ها می توانند بین سپر تونل و تاسیسات بتونی خارج از تونل، در داخل چاله فشار^۵ جای بگیرند. جک ها لاینینگ نگهدارنده تونل را همراه با سپر، به داخل

^۱ Drag-Tooth

^۲ Disc-Bit

^۳ Water-jet

^۴ Jacking System

^۵ Thrust Pit

زمین فشار می دهند^۱. اصطکاک بین سپرو لاینینگ باید کمینه باشد. فضای خالی بین سگمنت های بتونی لاینینگ با تزریق ملات پر می شود. فوم های مختلفی برای سهولت حفاری در زمین و یا افزایش پایداری جبهه حفاری، می توانند مورد استفاده قرار گیرند. [8]

3-1-2-1- تنش اطراف TBM

فضای حفر شده در زمین در جهت تنش های اصلی زمین دست نخورده، بیشترین تغییر شکل را می دهد. این مورد تا زمانی که تغییر شکل ها از حدود مجاز فراتر نرود در بیشتر روش های حفاری مشکلی ایجاد نمی کند. برای TBM این مسئله متفاوت است زیرا حتی تغییر شکل های نسبتاً کوچک در حد سانتیمتر نیز باعث می شود که TBM گیر کند و یا اینکه اجزای آن تغییر شکل دهد. مخصوصاً تغییر شکل در سپر ممکن است باعث ایجاد مشکلات اساسی مانند محصور شدن سپر در داخل زمین تغییر شکل یافته شود. [8]

4-1-2-1- فشار تعادلی

برای مقاومت در برابر فشارهای زمین سپر فشار تعادلی زمین^۲ می تواند مورد استفاده قرار گیرد. اگر جبهه حفاری پایدار نباشد، باعث می شود که مواد بسیار زیادی وارد TBM شده و فرو نشست در تراز زمین رخ دهد. وجود یک سر حفار تقریباً بسته ممکن است، از این امر جلوگیری کند و اگر این هم کافی نباشد، برای مثال اگر توده خاک به راحتی فرو بریزد و یا اینکه فشار آب زیاد باشد، ضروری است که از سپر بسته (که دارای سر توخالی عمودی در پشت چرخ حفار می باشد) استفاده گردد. در این صورت برای پایداری بهتر جبهه حفاری و کنترل فشار آب، فضای خالی پشت جبهه حفاری باید تحت فشار قرارگیرد تا فشار تعادلی برای پایداری خاک اعمال

^۱ Jacked Tunnel

^۲ Earth Pressure Balance (EPB)

شود. بسته به اینکه فشار تعادلی به چه صورت به جبهه حفاری اعمال شود، سپرمی تواند سپر بتونیتی، سپر هیدرولیکی و یا سپر تعادلی فشار زمین (EPB) باشد.

1-2-2- انواع TBM

دستگاه های حفار خودکار را به صورت ریز طبقه بندی می شود: [9]

- سپرهای هیدرولیکی / سپرهای ترکیبی¹

- سپرهای فشار تعادلی زمین

- TBM برای حفاری در سنگ

• سپر تکی / دو تایی²

• سپر چنگکی³

- سپرهای حفاری به صورت جزئی

- ریز حفارها⁴

دامنه قطر TBM های ساخته شده توسط شرکت Herrenknecht در جدول (1-1) نشان داده

شده است. بزرگترین TBM استفاده شده تا کنون در تونل راه آهن گرون هارت 5 در کشور هلند

¹ Hydro shield/Mix shield

² Single /double shield




³ Gripper Shield

⁴ Micro Machines

° Groene Hart

2000 الی 2004 بوده که قطر آن برابر 14/87 متر می باشد. این رکود اخیراً با یک ماشین

EPBTBM به قطر 15/2 متر ساخته شده توسط همان شرکت شکسته شده است.

Diameter		0mm -> 1,000mm	-> 2,000mm	-> 16,000mm
	Auger Drilling Machines	DN 150 - DN800		
	AVN Micromachines	DN 250 - DN 2000		
	Pipe Jacking		DN 1200 - DN 3500	
	Segmental Lining		DN 1800 - DA 12000	
	Pipe Jacking		DN 1200 - DN 3000	
	Segmental Lining		DN 1800 - DA 16000	
	Pipe Jacking		DN 1600 - DN 3000	
	Segmental Lining		DN 1800 - DA 15060	
	Hard Rock-TBM		DN 1200 - DA 12500	
	Hard Rock Gripper-TBM			DN 2200 - DN 10000

جدول (1-1) محدوده قطرانواع مختلف TBM (Rehm,2006)[9]

طبقه بندی دیگری از انواع TBM و روش های استفاده در جدول (2-1) آمده است.