

## نقش عناصر ساختاری تاقدیس اهواز در مخاطرات احتمالی زمین شناسی

### محدوده‌ی شبکه‌ی متروی شهری

ابراهیم محمدی<sup>1\*</sup>، علی اصغر مریدی فریمانی<sup>2</sup>، عباس چرچی<sup>3</sup>

1- کارشناس ارشد تکتونیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان

2- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

3- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران

[rockgeo1952@yahoo.com](mailto:rockgeo1952@yahoo.com)

#### چکیده

عناصر ساختاری تاقدیس اهواز نقش اساسی را در ایجاد مخاطرات احتمالی زمین شناسی محدوده‌ی شبکه‌ی مترو دارند. گسل معکوس اهواز پتانسیل ایجاد این نوع مخاطرات را دارد. در این تحقیق، شواهد صحرایی و شواهد ژئوتکتیکی گردآوری شده و همچنین مقاطع زمین شناسی به منظور تعیین موقعیت دقیق این گسل و نقاط تقاطع آن با خطوط مترو ترسیم گردیده است. فاصله‌ی بخش مرکزی تونل خط 1 تا گسل مذکور نیز مشخص نموده که در محدوده 100 تا 150 متری این گسل قرار می‌گیرد. در این تحقیق، تغییرات مشخصات هندسی لایه‌های گل سنگ و ماسه سنگ و صفحات دسته درزه‌ها نسبت به تغییرات روند صفحه‌ی مقطع تونل و محور آن تعیین گردیده است. نقش تغییرات مشخصات هندسی لایه‌ها در ایجاد مخاطراتی از قبیل: افزایش و یا کاهش مساحت چسبیدن (Adherence) پوسته (shield) دستگاه حفر تونل (TBM) با گل سنگ و ایجاد ریسک کنده‌شدگی (Clogging risk) در سرته این دستگاه، ایجاد سطح ناهمگنی از طریق افزایش و یا کاهش مساحت رخنمون ماسه سنگ به عنوان سنگ ترد (Brittle)، و گل سنگ به عنوان سنگ نرم و انعطاف پذیر (Ductile) در مقطع تونل و همچنین نقش تغییرات مشخصات هندسی صفحات دسته درزه‌ها و صفحات لایه‌بندی در ایجاد گسیختگی صفحه‌ای (planar failure) و گسیختگی گوه‌ای (wedge failure) در سقف و دیواره‌های تونل تعیین گردیده است. در این تحقیق از نرم افزارهای 14 Rockwork، 3.0 Unwedge و Dips استفاده شده است.

**کلمات کلیدی:** گسل اهواز، تاقدیس اهواز، گسیختگی گوه‌ای (Wedge Failure)، گسیختگی صفحه‌ای (Planer Failure).

#### 1- مقدمه:

پروژه قطار شهری یا مترو در کلان شهر اهواز در حال احداث است. مسیرهای خطوط این شبکه‌ی مترو که در زیر زمین به شکل تونل‌ها احداث می‌شوند، در محدوده تاقدیس اهواز قرار گرفته و با گسل معکوس اهواز و زون خرد شده‌ی آن در داخل محدوده‌ی شهری تقاطع دارند. سنگ‌های خرد شده در زون گسل پتانسیل تغییر شکل و ایجاد مخاطرات زمین شناسی را در محدوده محل‌های تقاطع با تونل‌های مترو، به خصوص در شرایط وقوع زمین لرزه را دارند. همچنین گسل مذکور از نوع فعال است و قابلیت لرزه زایی دارد.

با انجام پیمایش‌های صحرایی و ثبت مشخصات هندسی گسل معکوس اهواز و همچنین مطالعه‌ی نتایج عملیات حفاری ژئوتکتیک در طول مسیر خطوط شبکه‌ی مترو و تلفیق مقاطع زمین شناسی عرضی و طولی، محل‌های تقاطع این گسل با تونل‌های خطوط مترو مشخص گردیده است. همچنین در این پیمایش‌ها، تغییرات روند محور تاقدیس اهواز، روند و مقدار شیب صفحه محوری، روند و مقدار شیب لایه‌های دو یال این تاقدیس ثبت شده است. الگوی دسته درزه‌های موجود در لایه‌های دو یال تاقدیس مذکور و تغییرات صفحات این درزه‌ها نیز در این تحقیق تعیین گردیده است. با توجه به نوع لایه‌های تشکیل دهنده دو

یال تاقدیس که عمدتاً از نوع ماسه سنگ و گل سنگ می‌باشند و همچنین باتوجه به تغییرات روند محور تونل خط 1 مترو و تغییرات روند صفحه تونل این خط که در حال اجرا می‌باشد، مشخص گردیده که مخاطرات زمین‌شناسی از قبیل ایجاد کند شدگی و کاهش نرخ پیشروی ماشین حفر تونل و همچنین ایجاد گسیختگی صفحه‌ای و گوه‌ای در سقف و دیواره‌های تونل مذکور بوجود می‌آید.

## 2- زمین شناسی ساختگاه شبکه مترو

ساختگاه شبکه‌ی متروی شهری مورد مطالعه، تاقدیس اهواز است که این تاقدیس در جبهه دگرشکلی (Deformation Front) کمربند چین تراست زاگرس (Zagros Fold-Thrust Belt) قرار گرفته و در بخش شمالی فرورفتگی دزفول (Embayment Dezful) واقع می‌باشد (McQuarrie, 2004). تاقدیس مذکور آخرین تاقدیس از چین‌های زاگرس است که در ناحیه‌ی جنوب غربی ایران رخنمون دارد (شکل 1). این تاقدیس بر اساس طبقه‌بندی McClay (سال 2004) در رده‌ی چین‌های وابسته به گسل (Fault Related Folds) قرار می‌گیرد. رخنمون تاقدیس مذکور در محدوده شهر اهواز و نواحی پیرامون آن بشکل تپه‌های دراز و کم ارتفاع می‌باشند که رقوم آنها بین 40 تا 70 متر نسبت به سطح آب دریا است. بر اثر عملکرد گسل معکوس اهواز، فقط یال شمال شرقی این تاقدیس در تپه‌های مذکور رخنمون دارد (شکل 2). درحالی‌که یال جنوب غربی فقط در نقاط محدود و به شکل لایه‌های سنگی تیغه‌ای شکل و شیب دار دیده می‌شود. لایه‌های تشکیل دهنده تاقدیس اهواز شامل تناوبی از لایه‌های ماسه سنگ و گل سنگ متعلق به سازند آغاچاری است. سن این سازند میوسن بالایی تا پلیوسن می‌باشد (مطبعی، 1372).



شکل (2): یال شمال شرقی تاقدیس اهواز (منطقه‌ی حصیر آباد)



شکل (1): موقعیت تاقدیس اهواز در کمربند چین خورده و رانده شده زاگرس (McQuarrie, 2004)

## 3- عناصر ساختاری تاقدیس اهواز

در ابتدا، به منظور شناخت دقیقی از ساختگاه محل شبکه مترو، مشخصات هندسی لایه‌های دو یال تاقدیس اهواز را در پیمایش‌های صحرایی برداشت شده است. با استفاده از نرم افزار Dips، نمودار  $\pi$  ترسیم گردیده است. نتایج این برداشت‌ها نشان داده که تاقدیس اهواز از نوع نامتقارن بوده، سطح محوری آن دارای شیب بین 49 تا 68 درجه به سمت شمال شرق و محور آن دارای روند کلی N61W, 02 که دارای میل 2 درجه به سمت شمال غرب می‌باشد (شکل 3). زاویه بین یالی آن از 92 تا 53 درجه تغییر می‌کند. در بعضی از مناطق، یال جنوب غربی برگشتگی را نشان می‌دهد (شکل 3ب).



شکل (3): تصویر استریوگرافیک نمودار  $\pi$  تاقدیس اهواز. الف: محدوده کل تاقدیس ب: در محدوده منطقه صنایع فولاد (برگشتگی در بال جنوب غربی)

### 3-1-1 گسل معکوس اهواز (Ahvaz Reverse Fault)

به منظور تعیین محل‌های دقیق تقاطع این گسل با خطوط شبکه مترو مورد مطالعه، شواهد صحرایی و شواهد ژئوتکنیکی گردآوری شده به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

3-1-1-1 شواهد صحرایی: شامل قطع ناگهانی ساختار تاقدیس اهواز، سنگ گسل (Rock Fault) از نوع کاتاکلاستیک در زون گسل، خش لغز (Striation) در سطح گسل (شکل 4)، خردشدگی لایه‌های سنگی در زون گسل و تغییر الگوی دسته درزه‌ها است.



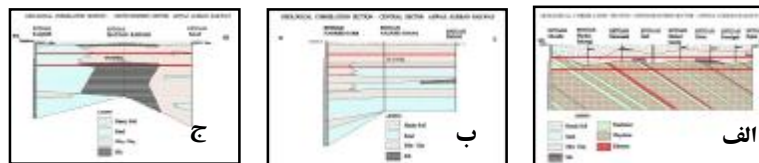
شکل (4): سنگ گسل از نوع کاتاکلاستیک و خش لغز در زون گسل اهواز - منطقه صنایع فولاد  
الف: سنگ کاتاکلاستیک سنگ گسل. ب: خش لغز سطح گسل

3-1-1-2 شواهد ژئوتکنیکی: نتایج مطالعات ژئوتکنیک که در طول مسیر 23 کیلومتری خط 1 مترو انجام شده است نشان داده که عمق سنگ بستر (Bed Rock) در بخش شمال شرقی تونل این خط بین 6/5 تا 12 متر نسبت به سطح زمین طبیعی قرار دارد. این

بخش شامل 10 کیلومتر از طول تونل (بین ایستگاه اقبال تا ایستگاه مصلی) می‌باشد. در حالیکه گمانه‌های ژئوتکنیک که در بخش‌های مرکزی و جنوب غربی حفر شده‌اند نشان داده که تا عمق 60 متری به سنگ بستر برخورد نشده است (شکل 5 و 6).



شکل (5): موقعیت تقاطع گسل معکوس اهواز با تونل خط 1 مترو



شکل (6): عبور تونل خط 1 مترو از بین لایه های سنگی و رسوبات آبرفتی  
الف: فرادیواره گسل اهواز (بخش شمال شرقی تونل)  
ب و ج: فرودیواره گسل (بخش‌های مرکزی و جنوب غربی تونل)  
خطوط قرمز رنگ افقی: مسیر تونل

#### 4- مخاطرات زمین‌شناسی

##### 4-1- تغییر شکل سنگ‌های خرد شده در محل تقاطع تونل خط 1 مترو با گسل معکوس اهواز:

بر اساس شواهد صحرایی و پیمایش‌های صورت گرفته در امتداد گسل و همچنین بر اساس شواهد ژئوتکنیکی و مقاطع طولی زمین‌شناسی که از روی لوگ گمانه‌ها تهیه شده است مشخص گردیده که تونل خط 1 مترو در محدوده خیابان سیروس واقع در بین ایستگاه مصلی و ایستگاه نادری شرقی با گسل اهواز تقاطع دارد (شکل 7).



شکل (7): تقاطع خطوط 1، 2 و 3 شبکه مترو با گسل معکوس اهواز

پژوهشگران زمین شناسی و تکتونیک این نظر را دارند که حداکثر تغییر شکل (Deformation) در سیستم‌های چین-تراست (Fault Propagation Fold) در فرود یواره (Footwall) گسل رخ می‌دهد لذا انتظار می‌رود محدوده‌ی جنوب گسل اهواز واقع در بین ایستگاه نادری شرقی و ایستگاه ساعت (به طول 2 کیلومتر) با بیشترین دگرشکلی مواجه باشد. بررسی‌های به عمل آمده از روی شواهد صحرایی و ژئوتکنیکی نشان داده که محدوده مذکور به‌طور موازی با تونل خط 1 مترو واقع شده و فاصله آن تا این خط بین 100 تا 150 متر می‌باشد (شکل 8).



شکل (8): موقعیت زون خردشده‌ی گسل اهواز نسبت به بخش مرکزی تونل خط 1 مترو

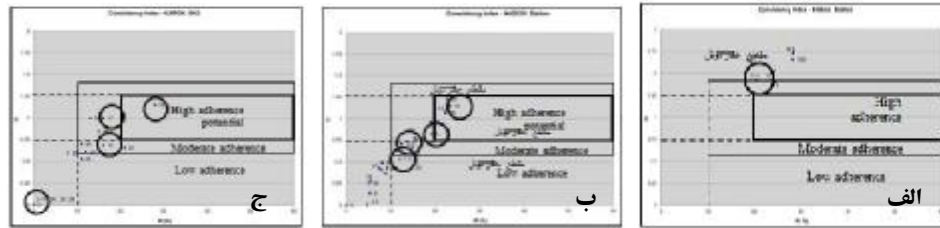
روند (Trend) محور تونل خط 1 مترو در بخش شمال شرقی NE-SW و در بخش مرکزی NW-SE یا متمایل به E-W می‌باشد که بطور موازی با روند صفحه گسل قرار می‌گیرد. تغییر شکل سنگ‌های خرد شده در زون گسل در هنگام وقوع زمین لرزه می‌تواند مخاطرات جدی برای پایداری پوشش بتنی تونل به وجود می‌آورد. لذا توصیه می‌شود در محل تقاطع تونل با گسل از پوشش انعطاف پذیر استفاده شود. محدوده مورد بررسی بر اساس تقسیم بندی توکلی (سال 1994) در استان لرزه زمین ساخت 13 واقع می‌شود و پتانسیل رخ دادن زمین لرزه‌ی با بزرگی 7 ریشتر در این استان وجود دارد. در تاریخچه زلزله خیزی شهر اهواز، زمین لرزه‌ای با بزرگی 6/5 ریشتر گزارش شده است. همچنین زمین لرزه‌های متعدد با بزرگی بین 4 تا 5 ریشتر در پیرامون شبکه مترو تاکنون رخ داده است (IISSE).

#### 4-2- مخاطرات چسبندگی (Adherens) و ایجاد ریسک کندشدگی (Clogging Risk):

این نوع مخاطرات در بین پوسته (Shield) دستگاه حفر تونل TBM و لایه‌های گل سنگ واقع در بخش شمال شرقی تونل خط 1 مترو رخ می‌دهد. Thewes در سال 1990 با استفاده از تجربیات حفر تونل‌های متعدد توسط دستگاه حفر تونل توانسته است مشکلات ناشی از خاصیت چسبندگی در رس را بررسی کند. ایشان به این نتیجه رسیده که اغلب مشکلات موجود در این زمینه متعلق به خاک‌های رس دارای حد خمیری (Plastic Limit) بین 20 تا 60 درصد و شاخص قوام رس (Consistency Index) بین 0/75 تا 1/30 می‌باشد. با استفاده از نتایج مطالعات ژئوتکنیک انجام شده در طول مسیر تونل خط 1 مترو ملاحظه می‌گردد که قطعه‌هایی از تونل مذکور در بعضی نقاط دچار این مشکلات می‌شود (شکل 9). شاخص قوام رس (Ic) از فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

$$I_c = (LL - W\%) / (LL - PI) \quad (1)$$

که در آن : LL حد خمیری خاک ، W% درصد رطوبت خاک و PI شاخص خمیری خاک می باشد.



شکل (9): قرار گیری مقطع تونل خط 1 مترو در محدوده پتانسیل چسبندگی بالا و متوسط

الف: ایستگاه اقبال، ب: ایستگاه نادری، ج: زیر بستر رودخانه کارون

مستطیل پر رنگ: زون چسبندگی بالا ، مستطیل کم رنگ : زون چسبندگی متوسط و دواپر سیاه : مقطع تونل

مخاطرات چسبندگی در هنگام حفر تونل توسط دستگاه TBM شامل جابجایی قطعه‌هایی از خاک رس یا سنگ رس که با پوسته استیل دستگاه چسبیده‌اند به سمت جهت پیشروی عملیات حفاری می‌شود که فضاهای خالی در قسمت عقبی این محل تشکیل می‌شوند و منجر به ریزش لایه‌های بالایی می‌گردد. این مشکلات به شکل فرورفتگی در سطح زمین در مسیر خط یک مترو رخ داده است. این نقاط در محدوده آسفالت خیابان‌ها صورت گرفته که در صورت رخ دادن آن در محدوده ساختمان‌های چند طبقه ممکن است تلفات جانی علاوه بر خسارات مالی به همراه داشته باشد. مشکلات دیگر در این زمینه شامل چسبندگی رس با کاتر دستگاه (Cutter Head)، اتاق مخلوط کننده (Mixing Chamber) و خطوط انتقال کلوخه‌های رس از سینه کار به خارج از تونل می‌باشد (Zimmik, 1990). نقش عناصر ساختاری تاقدیس اهواز در این مورد به شکل تغییر مقادیر شیب و امتداد لایه‌های سنگ رس می‌باشد. کاهش مقدار شیب این لایه‌های و تغییر روند آنها باعث افزایش مساحت محدوده چسبندگی بین پوسته دستگاه حفر تونل و لایه‌های مذکور می‌گردد. تغییرات شیب و امتداد این لایه‌ها بر اساس اندازه گیری‌های به عمل آمده بین N82W,20NE تا N55W,45NE می‌باشد. بررسی‌های به عمل آمده نشان داده که فقط بخش شمال شرقی تونل مذکور در بین لایه‌های سنگی متعلق به سازند آغاچاری حفر می‌شود. این بخش در یال شمال شرقی تاقدیس اهواز یا در فرادیواره گسل قرار دارد.

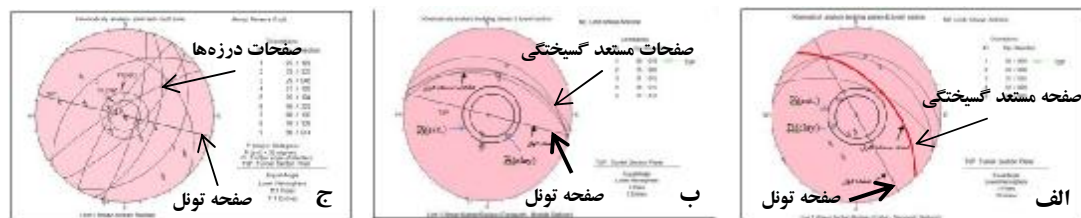
### 3-4- مخاطرات ایجاد جبهه کاری ناهمگن در کاتر دستگاه TBM و کاهش نرخ پیشروی دستگاه (Performance)

بخش شمال شرقی تونل خط 1 مترو در بین لایه‌های سنگی از نوع گل سنگ و ماسه سنگ حفر می‌شود. نتایج مطالعات ژئوتکنیک نشان داده که مقاومت فشاری (Unconfined Compression Strength) (qu) سنگ‌های مذکور در این بخش از تونل بین 4/68 تا 124/8 ، مقاومت چسبندگی بین 4/77 تا 13/77 و مقاومت برشی بین 0/01 تا 0/95 کیلوگرم بر سانتی متر مربع تغییر می‌کند. همچنین زاویه اصطکاک داخلی این سنگ‌ها بین 15/6 تا 57/3 درجه متغیر است. هرگونه تغییراتی در مشخصات هندسی عناصر ساختاری تاقدیس اهواز از جمله مقادیر شیب و امتداد لایه‌های سنگی واقع در مسیر تونل مذکور باعث ایجاد تغییراتی در مساحت رخنمون این لایه‌ها در مقطع تونل می‌گردد. تغییرات مشخصات هندسی لایه‌ها بین N82W,20NE تا

N55W,45NE می باشد. همچنین روند (Trend) محور تونل از محدوده ایستگاه اقبال تا ایستگاه مصلی N60E و از این ایستگاه تا محل تقاطع با زون گسل اهواز N14E است. لذا تغییرات مشخصات هندسی عناصر ساختاری تاقدیس اهواز نقش تعیین کننده‌ای را در افزایش و یا کاهش رخنمون لایه های سنگی مقاوم (ماسه سنگ) و انعطاف پذیر (گل سنگ) و ایجاد جبهه کاری ناهمگن در مقطع تونل دارند. رخنمون این دو نوع سنگ در مقطع تونل باعث ایجاد انحراف در کاتر دستگاه، جام کردن پوسته دستگاه، جام کردن تجهیزات بک آب، عدم همگرایی در مقطع حفر تونل و تخریب سیستم نگهداری تونل (Support) می گردد (Ramoni, 2010).

#### 4-4- مخاطرات گسیختگی صفحه‌ای (planar failure) و گوه‌ای (wedge failure) در مقطع، سقف و دیواره‌های تونل خط 1 مترو

در شرایطی که اختلاف بین روند صفحات لایه‌بندی و روند صفحه تونل دارای زاویه 20 درجه یا کمتر باشد، گسیختگی صفحه‌ای رخ می‌دهد. مقدار زاویه اصطکاک سطوح صفحات مذکور در این مورد تعیین کننده می‌باشد. در بررسی‌های به عمل آمده در این مورد ملاحظه گردیده که امکان رخ دادن گسیختگی صفحه‌ای در مقطع تونل خط 1 مترو محدوده ایستگاه اقبال تا ایستگاه دروازه که روند محور تونل N60E می باشد وجود دارد (شکل 10 الف). همچنین با تغییر روند محور تونل به N14E، پتانسیل گسیختگی افزایش می‌یابد (شکل 10 ب). گسیختگی گوه‌ای نیز که متاثر از دسته درزه‌ها است در محدوده زون خرد شده گسل اهواز تشدید می‌شود (شکل 10 ج). تحلیل گسیختگی صفحه‌ای و گوه‌ای با استفاده از نرم افزار Dips صورت گرفته است. تغییر مشخصات هندسی عناصر ساختاری تاقدیس اهواز از جمله مقادیر شیب و امتداد لایه‌ها و صفحات درزه‌ها، نقش تعیین کننده‌ای را در تشدید گسیختگی دارد. همچنین با استفاده از نرم افزار Unwedge3.0، علاوه بر تحلیل خطر سقوط گوه‌ها یا بلوک‌های کلیدی (Key Blocks) از سقف و دیواره‌های تونل (شکل 11 الف)، خطر قرارگیری تونل در محدوده ناپایدار در هنگام وقوع زمین لرزه نیز بررسی گردیده است (شکل 11 ب و ج).



شکل (10): تحلیل جنبشی گسیختگی صفحه‌ای و گوه‌ای در مقطع تونل خط 1 مترو اهواز

الف: محدوده ایستگاه اقبال تا ایستگاه دروازه، ب: محدوده ایستگاه دروازه تا ایستگاه مصلی، ج: محدوده تقاطع تونل با زون خرد شده گسل اهواز. دایره کوچک (مقدار زاویه اصطکاک داخلی ناپیوستگی‌های سنگ رس، دایره بزرگ (مقدار زاویه اصطکاک داخلی ناپیوستگی‌های ماسه سنگ) - نرم افزار Dips



شکل (11): الف: تشکیل بلوک کلیدی (Key Block) در سقف تونل، ب: قرارگیری تونل در محدوده پایدار در شرایط عادی، ج: قرارگیری تونل در محدوده ناپایدار در شرایط وقوع زمین لرزه (نرم افزار Unwedge3.0)

## 5- نتیجه گیری

- الف: تونل خط 1 مترو در محدوده تقاطع با زون خرد شده گسل اهواز در حین وقوع زمین لرزه، در شرایط ناپایداری قرار می گیرد. زمین لرزه تاریخی 6/5 ریشتری در شهر اهواز رخ داده است.
- ب: قرارگیری تونل خط 1 مترو در محدوده چسبندگی بین پوسته دستگاه TBM و لایه های گل سنگ باعث ایجاد ریسک کند شدگی (Clogging risk) می گردد.
- ج: رخنمون لایه های ماسه سنگ و گل سنگ با مقاومتهای برشی، چسبندگی و تک محوری متفاوت در مقطع تونل باعث انحراف کاتر دستگاه TBM و کاهش نرخ پیشروی (Performance) می گردد.
- د- امکان تشکیل گوه های مستعد لغزش در سقف و دیواره های تونل و کاهش ضریب اطمینان تا حد صفر وجود دارد.

## منابع

مطیعی، ه.، (1372). زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES).

McClay, K.R. (2004). "Analogue models of doubly convergent orogenes". Thrust tectonics and hydrocarbon systems. American Association of petroleum Geologists Memori, 82, in press

McQuarie, N. (2004). "Crustal scale geometry of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran". J. Struct Geol., Vol. 26, pp. 519-535.

Ramoni, M., and Anagnoston, G. (2010). "Tunnel boring machines under squeezing conditions". Tunneling and Underground Space Technology. Vol. 25, pp. 139-157.

Thewes, M. (1999). "Adhesion von Tonboden beim Tunnelvortrieb mit Flüssigkeitsschilden". Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, Bodenmechanik und Grundbau, No. 21.

Zimnik, A.R., et al. (1990). "The Adherence of clay to steel surfaces".