

# تکیه گاه تونل در سنگ ضعیف

عبدالحسین حداد<sup>1</sup> ، محمد بزاز<sup>2</sup> ، زهرا عندلیب<sup>3</sup> ، راحله السادات کاظمی<sup>4</sup>

۱- استادیار دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه ، دانشگاه سمنان Mohammad\_bazzaz1362@yahoo.com

۳- کارشناس عمران ، دانشگاه سمنان Zahra\_andalib63@yahoo.com

۴- کارشناس عمران ، دانشگاه سمنان raheleh\_kz@yahoo.com

## خلاصه

پایداری تونل های موجود در سنگ های ضعیف به وسیله نسبت مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ به حداکثر تنش در جا ، کنترل می شود . این نسبت ما را به سمت تخمین اولیه ای از احتیاجات تکیه گاه راهنمایی می کند تا بتوان کرنش را تا سطح مشخصی کنترل کرد . پاسخ آنالیز عددی تونل به حفاری های متوالی و زدن تکیه گاه ، قابل قبول ترین روش برای بهینه ساختن طرح تکیه گاه می باشد . روند طرح تکیه گاه به وسیله یک سری مثال عملی توضیح داده شده است .

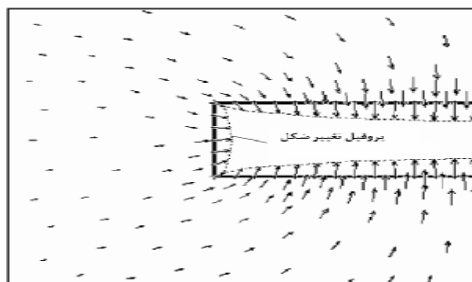
## مقدمه

حفاری تونل در سنگ های ضعیف چالش های خاصی را برای مهندس ژئوتکنیک به همراه دارد ، تاجایی که فضاوت نادرست در طرح سیستم های تکیه گاهی می تواند به مقادیر زیر حد استاندارد طراحی و خرابی های هزینه بردار یا مقادیر بالای حد استاندارد طراحی و افزایش هزینه های حفاری تونل منجر شود . به منظور فهمیدن موضوعات مبهمی که در فرآیند طراحی تکیه گاه این تونل ها وجود دارد ، لازم است یک سری مفاهیم اساسی بررسی شود ، از جمله این که توده سنگ اطراف تونل چگونه تغییر شکل می دهد و عکس العمل سیستم تکیه گاه برای کنترل این تغییر شکل چگونه است . سابقا این مفاهیم اساسی کشف شده اند ، در ادامه مثال های عملی طرح تکیه گاه برای شرایط گوناگون ملاحظه خواهند شد .

کلمات کلیدی : تونل ، سنگ ضعیف ، مقاومت توده سنگ ،

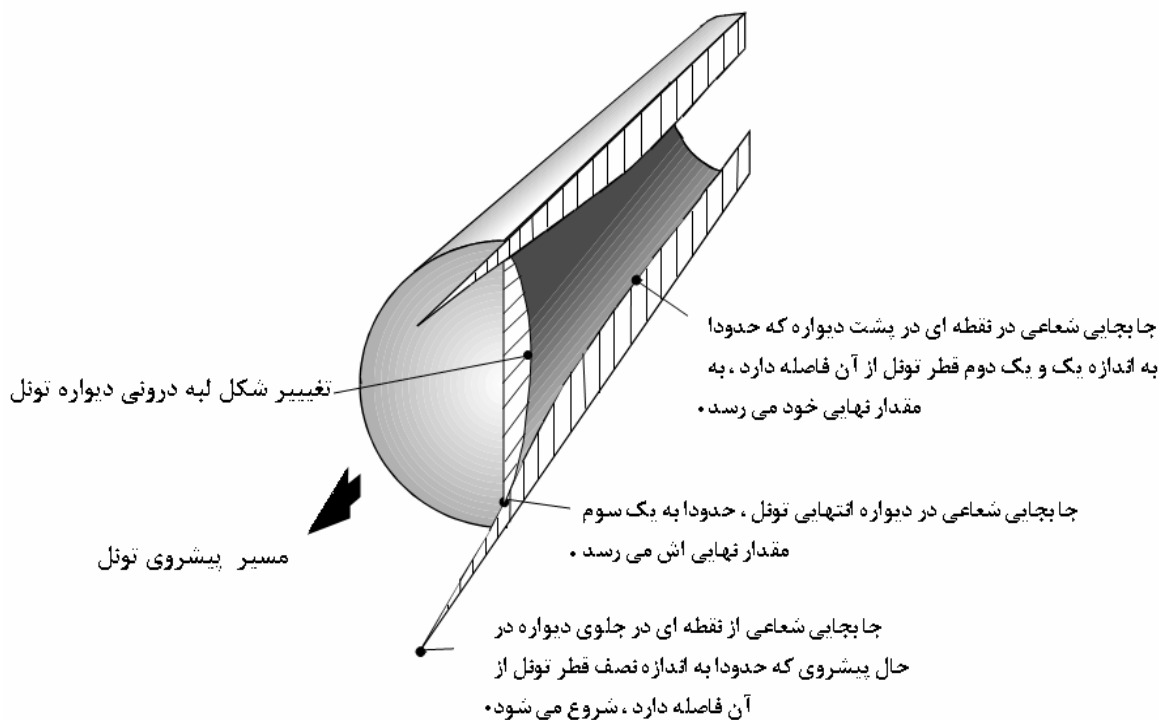
## تغییر شکل یک تونل در حال پیشروی

شکل ۱ نتایج آنالیز المان محدود سه بعدی تغییر شکل توده سنگ اطراف یک تونل دایره ای شکل در حال پیشروی از میان توده ضعیف سنگ که از همه جهات تحت تنش های مساوی قرار دارد را نشان می دهد . تصویر ، بردار جابجایی در توده سنگ را به همراه شکل مقطع تونل تغییر شکل یافته نشان می دهد .



شکل ۱: مقطع قائم از میان یک مدل المان محدود سه بعدی از گسیختگی و تغییر شکل دیواره اطراف توده سنگ یک تونل دایره ای در حال پیشروی

شکل ۲ خلاصه ای از مهم ترین ترکیبات این آنالیز را به صورت گرافیکی به ما می دهد . تغییر شکل توده سنگ از نقطه ای در جلوی دیواره در حال پیشروی که حدوداً به اندازه نصف قطر تونل از آن فاصله دارد، شروع می شود و در نقطه ای در پشت دیواره که حدوداً به اندازه یک و یک دوم قطر تونل از آن فاصله دارد ، به مقدار نهایی خود می رسد . در محل دیواره (انتهای تونل در حال پیشروی) حدود یک سوم محصورشدگی شعاعی نهایی تونل اتفاق می افتد و همانگونه که در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است لبه درونی تونل تغییر شکل می دهد . به هر حال این تغییر شکل ها در تونل مشکلاتی از نظر پایداری ایجاد می کند که بستگی به نسبت مقاومت توده سنگ به تنش در جا دارد .



شکل ۲: نمونه ای از تغییر شکل در اطراف یک تونل در حال پیشروی در توده سنگ

## بر آورد مقاومت توده سنگ

مشخصات توده سنگی که در این آنالیز استفاده شده است را می توان به کمک معیار هوک - براون به دست آورد . پارامترهای بحرانی توده سنگ برای این آنالیز عبارتند از : زاویه اصطکاک  $\phi$  ، ضریب چسبندگی  $c$  ، مدول الاستیسیته  $E$  ، و مقاومت فشاری تک محوری در محل  $\sigma_{cm}$  . این پارامترها را می توان از روی راهنمای مقاومت زمین شناسی ( GSI) به دست آورد . مقدار GSI در کارگاه از روی مشخصات توده سنگ که در شکل ۳ نشان داده شده است برآورد می شود . توجه داشته باشید که ، برای رسیدن به اهداف این مقاله که درباره " توده های ضعیف سنگ " می باشد ، مقادیر GSI از ۵ تا ۳۵ هدف توجه اصلی می باشند . برای این دسته از مقادیر ، می توان بین GSI و نسبت مقاومت فشاری تک محوری در جا به آزمایشگاهی رابطه ای تقریبی نتیجه گرفت ، که در شکل ۴ دیده می شود . این رابطه روش ساده ای برای برآورد مقاومت توده سنگ درجا  $\sigma_{cm}$  ، به ما می دهد که در ادامه آنالیز تغییر شکل تونل از آن استفاده می شود .

## آنالیز تغییر شکل تونل

به منظور رسیدن به مفهوم برهم کنش تکیه گاه سنگ به شکلی که به سهولت فهمیده شود ، می توان از یک مدل تحلیلی ساده استفاده کرد . این مدل شامل یک تونل دایره ای شکل می باشد که تحت تاثیر میدان فشار هیدرواستاتیکی قرار گرفته ، که تنش های افقی و عمودی با هم برابرند . وقتی که تنش های درجا از مقدار بحرانی تجاوز کنند ، در توده سنگ اطراف تونل ، یک منطقه گسیختگی پلاستیک پدید می آید .

آنالیز مونت کارلو استفاده می شود تا آنالیز را ۲۰۰۰ بار برای رسیدن به توزیع یکنواخت مشخصات توده سنگ ، شعاع تونل و میزان تنش درجا ، تکرار کند . مشخصات توده سنگ از مقدار نسبتا خوب (  $GSI=35$  ) تا مقدار بسیار ضعیف (  $GSI=5$  ) متغیر است ، نظیر مشخصات ماسه سنگ و سنگ رسی ضعیف تا موادی که تقریبا می توانند در رده خاک ها قرار بگیرند . تنش های درجا  $(p_0)$  از ۲ تا ۲۰ مگا پاسکال متغیرند، متناظر با آن عمق زیر سطح هم از ۷۵ تا ۷۵۰ متر و قطر تونل از ۴ تا ۱۶ متر متغیرند .

نتایج این آنالیز در شکل های ۵ و ۶ آمده است که قطر منطقه گسیختگی پلاستیک  $(d_p)$  و محصورشدگی تونل  $(\delta_i)$  را برای نسبت های مختلفی از مقاومت توده سنگ به تنش درجا و هم چنین فشارهای تکیه گاهی مختلف را به ما می دهد  $(p_i)$  .

این شکل ها نشان می دهند که ، وقتی که نسبت مقاومت توده سنگ به تنش درجا از مقدار بحرانی کمتر شود ، در قطر منطقه پلاستیک و محصورشدگی تونل تفاوت قابل ملاحظه ای به وجود می آید . وظیفه تکیه گاه تونل این است که این مقادیر بحرانی را کاهش دهد .

شکل ۳: جدول برآورد راهنمای مقاومت زمین شناسی  $GSI$  برای یک توده سنگ

<p style="text-align: center;"><b>راهنمای مقاومت زمین شناسی</b></p> <p>از مشخصات سازه ای و وضعیت سطح نوده سنگ ، گزینه مناسبی را در این جدول انتخاب کنید . متوسط مقدار راهنمای مقاومت زمین شناسی را از روی شکل ها به دست آورید . سعی نکنید خیلی مختصر باشد . در نظر گرفتن این مقدار در محدوده ۶۶ تا ۴۲ واقع گرایانه تر است از این که آن را ۶۸ بگیریم . هم چنین مهم است که تشخیص دهید که معیار هوک - براون فقط باید برای نوده های سنگی که اندازه بلوک ها یا قطعات متعلق به آن در مقایسه با اندازه حفاری مطرح شده کوچک است ، به کار برده شود . وقتی که سائز بلوک های متعلق به نوده های سنگی تقریباً بیش از یک چهارم قطر حفاری باشد ، عموماً از نظر ساختمانی گسختگی باید کنترل شود و معیار هوک-براون نباید استفاده شود .</p> <p style="text-align: center;"><b>ساختار</b></p>	<p><b>خیلی خوب</b></p> <p>سطوح کاملاً زبر ، تازه و هوا نژده</p>	<p><b>خوب</b></p> <p>سطوح زبر ، کمی هوازده با سطح برآق</p>	<p><b>نسبت خوب</b></p> <p>سطوح هموار ، تقریباً هوازده و دگرگون شده</p>	<p><b>بد</b></p> <p>سطوح سلبه شده ، بسیار هوازده با رویه به هم فشرده یا ترکهای پر شده یا قطعات زاویه دار</p>	<p><b>خیلی بد</b></p> <p>سطوح سلبه شده ، بسیار هوازده با رویه یا ترکهای پر شده از خاک ریزن نرم</p>
<b>کاهش کیفیت سطح</b>					
 <p><b>یکپارچه یا فشرده</b> - نمونه سنگ یکپارچه یا فشرده درجا ، با تعداد کمی ترک که ترک ها از هم فاصله زیادی دارند .</p>	90	80	N/A	N/A	N/A
 <p><b>بلوک بلوک</b> - نوده سنگی که قطعات آن که دست نخورده اند ، خیلی خوب به هم جفت و جور شده اند و شامل بلوکهای زاویه دار مکعبی می باشد که از برخورد ترکها در سه جهت عمود بر هم بوجود آمده اند .</p>	70	60	N/A	N/A	N/A
 <p><b>خیلی بلوک بلوک شده</b> - نوده سنگی که قطعات آن تقریباً به هم جفت و جور شده اند و میزان دست خوردگی آن ها از حالت قبل بیشتر می باشد و شامل بلوک های زاویه دار چند ضلعی می باشد که از برخورد ترک ها در چهار جهت یا بیشتر به وجود آمده اند .</p>	50	40	N/A	N/A	N/A
 <p><b>بلوکی دست خورد</b> - قطعات خم شده و ترک خورده که شامل بلوکهای زاویه داری می باشد ، که به وسیله مجموعه ای از ترک های متقاطع به وجود آمده اند .</p>	30	20	N/A	N/A	N/A
 <p><b>کاملاً خرد شده</b> - قطعات سنگی که خیلی ضعیف به هم جفت و جور شده اند و شامل سنگ های شکسته زیادی از ترکیبات قطعات زاویه دار و گرد گوشه می باشد .</p>	10	5	N/A	N/A	N/A
 <p><b>ورقه ای یا لایه ای</b> - سنگ ها کاملاً بریده شده اند و به صورت ورقه ورقه یا لایه لایه خم شده روی هم قرار دارند . لایه لایه ها روی هم فشرده شده اند ، به گونه ای که قطعات بلوکی در آن دیده نمی شود .</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A