

# مدل ریاضی تعیین حداکثر تنش برای افزایش ایمنی کابل در بالابرهای معدن

دکتر کاظم اورعی<sup>۱</sup>، آرش گودرزی<sup>۲</sup>، بهاره عاصی<sup>۳</sup>

## چکیده

بالابرهای یکی از مهمترین سیستمهای حمل و نقل در معادن زیرزمینی می‌باشند. استفاده از بالابرهای این گروه از معادن بویژه معادن عمیق، کاربرد گسترده‌ای دارد. از طرف دیگر حوادث ناشی از این گونه سیستمها، خسارات جانی و مالی زیادی به همراه دارد. علت اصلی بروز حوادث در بالابرهای ایجاد گسیختگی در کابل فولادی نگهدارنده ماشین است. آنالیز ریاضی و ارزیابی تنش‌های ایجاد شده بر اثر بار در کابل فولادی در مراحل طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری این گروه از ماشین‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین ساخت مدل حاکم بر عملکرد کابل فولادی بالابر و شرایط بهره‌برداری، می‌تواند در بهبود ایمنی و پیش‌بینی شرایط مفید باشد. ظرفیت کابل‌های بالابری در معادن بر اساس تنش‌های کششی و معمولاً در حالت سکون محاسبه می‌شود و از محاسبه تنش‌های دینامیکی که در اثر ترمز و یا شتاب در آنها تولید می‌شود صرف‌نظر می‌شود. اصولاً غیر از تنش‌های استاتیکی که محاسبه و تعیین آنها نسبتاً ساده است تعیین سایر تنش‌های ایجاد شده در کابل بالابر پیچیده و مشکل است و سعی می‌شود اثر آنها در محاسبات با اعمال ضرایب ایمنی بزرگ تامین شود. در این تحقیق با استفاده از اصول مقاومت مصالح و مکانیک مهندسی، مدلی برای پیش‌بینی حداکثر مقدار تنش در کابل فولادی بالابر ارائه می‌شود. این مدل ریاضی، ابزاری دقیق برای مهندسین معدن و کارشناسان ایمنی است تا از آن در تعیین حداکثر تنش در کابل بالابر استفاده نموده و سپس برای بررسی میزان پایداری، مقاومت کابل را با لحاظ ضریب ایمنی مناسب با حداکثر تنش کششی مقایسه کنند. یکی دیگر از کاربردهای چنین مدل‌های ریاضی می‌تواند کنترل محاسبات سایر روش‌ها از جمله روش‌های عددی در آنالیزهای مکانیکی باشد.

کلید واژه: ایمنی معادن زیرزمینی، بالابر، حداکثر تنش، کابل فولادی

---

<sup>۱</sup> - استاد دانشگاه استرلینگ انگلستان، آدرس الکترونیکی: sko1@stir.ac.uk

<sup>۲</sup> - کارشناس ارشد مهندسی معدن، کارشناس حفاظت کار مرکز تحقیقات، تعلیمات حفاظت و بهداشت کار، وزارت کار و امور اجتماعی، آدرس الکترونیکی: arash\_good@yahoo.com

<sup>۳</sup> - کارشناس ارشد مهندسی معدن، شرکت مهندسین مشاور کاوشگران، آدرس الکترونیکی: basi56@yahoo.com

## ۱. مقدمه

استفاده از بالابر با کابل فولادی در باربری معادن از سال ۱۸۳۴ میلادی، ۳۴ سال قبل از استفاده از نوار نقاله (سال ۱۸۶۸ میلادی) و ۴۴ سال قبل از استفاده از لوکوموتیو در معادن زیرزمینی (سال ۱۸۷۸ میلادی) معمول شد [۱].

امروزه استفاده از بالابرهای در بیشتر معادن بخصوص معادن عمیق زیرزمینی کاربرد دارد. در بسیاری از موارد استفاده از بالابر تنها روش باربری اقتصادی در معادن زیرزمینی است. همچنین علاوه بر حمل مواد معدنی و باطله در بسیاری از معادن از این ماشین برای ورود و خروج کارگران از معدن نیز استفاده می‌شود.

شدت حوادث چه از نظر خسارت‌های اقتصادی و چه از نظر تلفات انسانی در حوادث بالابرهای در صورت عدم رعایت نکات فنی و ایمنی در طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری به حدی زیاد است که جای هیچ گونه خطایی را در مراحل فوق باقی نمی‌گذارد. عامل کلیدی در بهره‌برداری ایمن از بالابرهای، استفاده از مکانیک مهندسی برای ارزیابی عملکرد آنها است. در مکانیک مهندسی تعیین تنش‌ها برای آنالیز عملکرد ماشین‌ها و پیش‌بینی رفتار آنها تحت بار مشخص و همچنین طراحی ماشین‌آلات جدید به منظور اجرای بهینه صورت می‌گیرد.

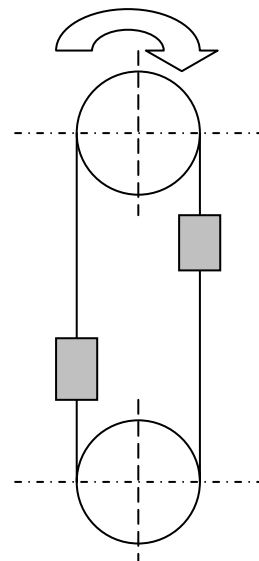
کابل‌های بالابر دارای وزن نسبتاً زیادی هستند که در چاه‌های عمیق وزن آنها نیز در محاسبات باید منظور شود [۲]. امروزه نیروی محرکه بالابرهای در اکثر موارد از طریق موتورهای الکتریکی جریان مستقیم تامین می‌شود. هر چند که در گذشته نه چندان دور استفاده از موتورهای دیزلی و قبل از آن موتورهای بخار مرسوم بود. کابل‌های مورد استفاده در چنین سیستم‌های بالابری در طول مدت بهره‌برداری از بالابر نیاز به تعویض دارند و هزینه‌بر هستند. لذا برآورد تنش‌های ایجاد شده در رشته‌های کابل ضروری است. در صورت عدم توجه به این موضوع، ریسک گسیختگی نابه‌هنگام کابل و تمام خطرات بعدی آن وجود دارد.

## ۲. انواع سیستم‌های بالابر

سیستم‌های گوناگونی برای بالابری در معادن وجود دارد. مرسوم‌ترین روش برای دسته‌بندی این گروه ماشین‌ها، نحوه انتقال قدرت به کابل بالابر است. بالابری که یک سر کابل آن به طبلک و سر دیگر آن به اسکیپ یا کیج وصل باشد (drum hoist)، ساده‌ترین و از طرفی معمول‌ترین گونه بالابر است.

نوع دیگر سیستم بالابر، بگونه‌ای است که انتقال نیروی محرکه از گرداننده به کابل صرفاً توسط اصطکاک انجام می‌شود (friction sheave hoist). در این سیستم، کابل از دور قرقره عبور می‌کند ولی دور آن نمی‌پیچد و هر یک از دو سر کابل به کیج یا اسکیپ و یا وزنه تعادل متصل است. دوران بر اثر وجود اصطکاک بین محیط خارجی قرقره با کابل بوجود می‌آید [۳]. بعضاً این روش برای یادبود مخترعش، اصطلاحاً "کوپ" (Koepe) نامیده می‌شود [۴]. برای اطمینان از میزان اصطکاک محرك کافی، از یک کابل تعادل که دو سر آن در چاه معدنی به زیر کیج یا اسکیپ و وزنه تعادل متصل است، استفاده می‌شود.

در شکل (۱)، نوع ساده بالابر اصطکاکی شامل قفس، وزنه تعادل، کابل و قرقره متحرک و هرزگرد نشان داده شده است.



شکل ۱: شکل شماتیک بالابر اصطکاکی [۴]

## ۲. تئوري مدل

از نظر فیزیکی، کشش حالتی از تنش است که بر اثر آن، ذرات ماده از هم دور می‌شوند. کشش یکی از حالات بنیادی تنش در هر جسم است. تنش کششی نوعی از تنش عمودی است و در جسمی که تحت اثر کشش قرار گرفته در امتداد نیرو وجود می‌آید [۵]. به طور مثال کابل بالابری که در امتداد محوریش به آن نیروی وزن کیچ یا اسکیپ وارد می‌شود، در هر مقطع از کابل که عمود بر محور است، تنش کششی تولید می‌شود. تنش کششی سبب ایجاد تغییر شکل‌هایی در ماده می‌شود که در صورت بیشتر بودن مقدار آن از مقاومت ماده می‌تواند سبب گسیختگی در آن شود. حداکثر تنش در یک کابل در زمان توقف ناگهانی بالابر در آن بوجود می‌آید. تنش ایجاد شده در کابل در شرایط معمول صرفاً متناسب با وزن بالابر، وزن بار و وزن کابل موثر از نقطه تعلیق است. در زمان توقف ناگهانی، انرژی جنبشی سیستم (انرژی که سیستم به علت حرکت خود دارا است) تبدیل به انرژی پتانسیل (انرژی که سیستم به علت موقعیتش در یک میدان دارد) شده و سبب اضافه شدن تنش بیشتر به کابل می‌شود. تنش توأم در کابل، تابعی از سرعت دوران قرقره یا طبلک، موقعیت بالابر در چاه معدنی، مجموع وزن کابل، بالابر و بار، سطح مقطع کابل و مدول الاستیسته کابل است.

## ۴. فرضیات مدل‌سازی

### فرض‌های مطلق

فرض‌های مطلق در این مدل‌سازی به شرح زیر می‌باشند:

- حرکت اجزاء سازنده سیستم بر اساس قوانین نیوتن است.
- صرف‌نظر کردن از اثرات نسبیت؛
- در نظر گرفتن نیروی جاذبه به عنوان تنها نیروی موثر خارجی؛
- خطی، الاستیک، هموژن (متجانس) و ایزوتروپ (همسانگرد) بودن تمامی مواد؛

### فرض‌های صریح

علاوه بر فرضیات مطلق در مدل‌سازی حرکت سیستم و تعیین تنش‌های ایجاد شده در کابل بعد از توقف بالابر، فرضیات صریحی نیز در نظر گرفته شده است که عبارتند از:

- از همه منابع اصطکاک شامل کشش آیرودینامیک، اصطکاک داخلی بین رشته‌های کابل و اصطکاک بین کابل و شیار قرقره یا طبلیک بالابر صرف‌نظر شده است.
- در زمان چرخش قرقره یا طبلیک، کابل روی آن نمی‌لغزد.
- در زمان توقف چرخش قرقره یا طبلیک، سرعت آن فوراً صفر می‌شود. با این فرض سرعت بالابر بلافاصله بعد از توقف، برابر  $r \cdot \omega$  در نظر گرفته می‌شود که در آن  $r$  شعاع قرقره یا طبلیک و  $\omega$  سرعت زاویه‌ای آن است.
- جرم قفس، وزنه متعادل کننده، بار و کابل‌ها در نقطه تعلیق، متمرکز فرض می‌شود.
- حداکثر سرعت کابل بعد از دوره حرکت شتاب‌دار آن و ثابت ماندن سرعت کابل در یک مسافت معین است. این مسافت حائز اهمیت است زیرا در هر توقف ناگهانی بالابر، حداکثر تنش در کابل در آن مسافت بوجود خواهد آمد. بزرگی مقدار تنش با توجه به موقعیت بالابر در چاه معدنی متفاوت خواهد بود.
- چند رشته کابل تنیده شده در یکدیگر بعنوان یک کابل در نظر گرفته می‌شود و قطر و وزن نهایی کابل، متناسب با قطر و وزن آن رشته‌ها است.

## ۵. مدل‌سازی

قانون پایه در این مدل‌سازی، معادله مکانیکی "کار-انرژی" است که شکل کامل شده قانون نیوتن است. هدف از بکارگیری این قانون و فرضیات مطلق و صریح ذکر شده، رسیدن به اصل بقای انرژی است.

بمنظور تعیین حداکثر تنش ایجاد شده در کابل فولادی، دو حالت [۶] مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- وضعیت سیستم در لحظه بلافاصله بعد از توقف قرقره یا طبلیک (حالت ۱)؛
- وضعیت سیستم در زمانی که حداکثر تنش در کابل رخ می‌دهد (حالت ۲).

با توجه به این که برآورد سرعت زاویه‌ای قرقره یا طبلك بالا بر ساده‌تر از سرعت خطی سیستم می‌باشد، با جایگزینی سرعت زاویه‌ای (رابطه ۲) در معادله انرژی جنبشی (رابطه ۱)، انرژی جنبشی سیستم در حالت ۱ براساس سرعت زاویه‌ای بدست می‌آید (رابطه ۳):

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1) \\ v = r\omega \quad (2) \end{array} \right\} \longrightarrow T_1 = \frac{1}{2} \times m \times r^2 \times \omega^2 \quad (3)$$

که در آن:

$T_1$ : انرژی جنبشی سیستم در حالت ۱؛  $m$ : جرم قسمت‌های متحرک سیستم؛

$r$ : شعاع قرقره یا طبلك؛  $\omega$ : سرعت زاویه‌ای قرقره یا طبلك؛

سیستم دو گونه انرژی پتانسیل ثقلی و کرنشی دارد. خط مبنا برای محاسبه انرژی پتانسیل، موقعیت کیچ یا اسکپ بلافاصله بعد از توقف قرقره یا طبلك فرض می‌شود. انرژی پتانسیل ثقلی در حالت ۱، صفر فرض شده و انرژی پتانسیل ثقلی در حالت ۲، از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$T_2 = -mg\Delta \quad (4)$$

$\Delta$ : جابه‌جایی سیستم بین حالت‌های ۱ و ۲ بر اثر تنش‌های وارده به آن؛

طبق اصل بقای انرژی، مجموع محتوای انرژی در حالت‌های ۱ و ۲ با هم برابر است، بنابراین می‌توان نوشت:

$$T_1 + S_1 = T_2 + S_2 \quad (5)$$

$S$ : انرژی کرنشی؛

با جایگزینی مقادیر  $T_1$  و  $T_2$  در رابطه ۵، معادله ۶ بدست می‌آید:

$$\frac{1}{2} m r^2 \omega^2 + S_1 = -mg\Delta + S_2 \quad (6)$$

### معادلات اصلی سیستم

رابطه "تنش - کرنش" با توجه به فرض الاستیک بودن کامل مصالح کابل، خطی است و از رابطه هوک پیروی (رابطه ۷) می‌کند:

$$\delta = E \times \varepsilon \quad (7)$$

$\delta$ : تنش؛

$E$ : مدول الاستیسیته؛

$\varepsilon$ : کرنش؛

در مدل‌سازی، کابل به عنوان یک عضو تحت بار محوری فرض می‌شود. زمانی که بالا بر متوقف می‌گردد در کابل بر اثر وزن کیچ (قفس) تنش بوجود می‌آید. تنش محوری ناشی از وزن بار و کابل در حالت ۱، مطابق رابطه ۸ می‌باشد:

$$\delta_1 = \frac{mg}{A} \quad (۸)$$

A: سطح مقطع کابل؛

بر اساس اصول مقاومت مصالح [۷]، تغییر شکل محوری برابر با خارج قسمت نیرو محوری (وزن) بر حاصلضرب سطح مقطع (A) و مدول الاستیسیته کابل (E) است.

در زمان توقف ناگهانی (حالت ۲)، طول قائم کابل (l) برابر مجموع طول کشیده نشده (z) بعلاوه طول کشیده شده بر اثر وزن کیچ (قفس) یا وزنه تعادل، بار و کابل است که در رابطه ۹ نشان داده شده است.

کمیت EA سختی محوری کابل است و از حاصلضرب دو کمیت E (مدول الاستیسیته) که معرف خواص مادی جسم و A (سطح مقطع) که از خصوصیات هندسی کابل است، حاصل می‌شود.

$$l = z \times (1 + \frac{mg}{AE}) \quad (۹)$$

انرژی کرنشی به ازای واحد حجم (e) بر اثر تنش عمودی (δ) از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$e = \frac{\delta^2}{2E} \quad (۱۰)$$

انرژی کرنشی کل (S) در کابل برابر است با:

$$S = e \times z \times A \quad (۱۱)$$

تنش عمودی ایجاد شده در کابل در حالت ۲ برابر مجموع تنش عمودی ایجاد شده در حالت ۱ و تنش ناشی از توقف است که از رابطه ۱۲ بدست می‌آید:

$$\delta_2 = \frac{mg}{A} + \frac{\Delta E}{z} \quad (۱۲)$$

### محدودیت‌های مدل

با جانشینی مقادیر  $\delta_1$  (رابطه ۸) و  $\delta_2$  (رابطه ۱۲) در معادله انرژی کرنشی کلی (رابطه ۱۱) و سپس جانشینی در معادله اصل بقای انرژی (رابطه ۵)، رابطه ۱۳ بدست می‌آید:

$$\frac{1}{2} m r^2 \omega^2 + \frac{m^2 g^2 z}{2 A E} = - m g \Delta + \frac{z A}{2 E} \left( \frac{m g}{A} + \frac{\Delta E}{z} \right)^2 \quad (13)$$

از حل معادله ۱۳ بر حسب  $\Delta$ ، مقدار آن برابر خواهد بود با:

$$\Delta = r \omega \sqrt{\frac{m z}{A E}} \quad (14)$$

با توجه به مقدار  $\Delta$  (رابطه ۱۴) و جایگزینی مقدار آن در رابطه ۱۲، حداکثر تنش کششی کابل فولادی بالابر از رابطه ۱۵ قابل محاسبه می‌باشد:

$$\delta_{\max} = \delta_2 = \frac{m g}{A} + r \omega \sqrt{\frac{m E}{A l} \left( 1 + \frac{m g}{A E} \right)} \quad (15)$$

با جایگزینی مقادیر عددی و در صورت معلوم بودن مقدار حداکثر تنش مجاز، می‌توان حداقل سطح مقطع لازم کابل فولادی برای بالابری را از رابطه حداکثر تنش مجاز (رابطه ۱۵) تعیین کرد. تعیین سطح مقطع از رابطه ۱۵ نیاز به یک حل بر هم کنشی دارد.

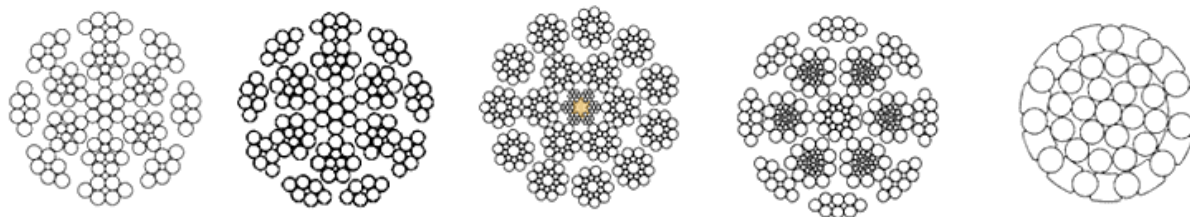
شایان ذکر است از آنجا که مقدار مدول الاستیسیته برای فلزاتی نظیر فولاد، مقداری بسیار زیاد و در حد گیگانیوتن بر مترمربع است لذا در شرایط معمول،  $\frac{m g}{A E}$  مقداری بسیار کوچکتر از یک و قابل صرف نظر کردن است. بنابراین یک تقریب خوب برای محاسبه

حداکثر تنش و تعیین حداقل سطح مقطع کابل فولادی از رابطه ۱۶ بدست می‌آید:

$$\delta_{\max} = \frac{m g}{A} + r \omega \sqrt{\frac{m E}{A l}} \quad (16)$$

## ۶. عوامل موثر در انتخاب کابل‌های فولادی بالابری

کابل‌های فولادی باربری، ساختمان پیچیده‌ای دارند (شکل ۲). در طراحی سیستم بالابر، دو ویژگی وزن واحد طول کابل و مقاومت در برابر گسیختگی آن از اهمیت خاصی برخوردارند. ضریب ایمنی در انتخاب میزان ظرفیت باربری با کابل عاملی مهم و کلیدی است. در آیین‌نامه ایمنی [۸] معادن ایران قید شده است که ضریب ایمنی کابل باید حداقل ۶ باشد و در صورت افزایش عمق چاه از ۵۰۰ متر برای هر یکصد متر اضافی می‌توان یک دهم از این ضریب را کسر نمود. ولی در هر حال میزان تنش نباید از یک پنجم مقاومت کابل تجاوز کند. در بالابرهای اصطکاکی باید برای اعماق کمتر از ۵۰۰ متر ضریب اطمینان ۷ و برای اعماق بیش از ۵۰۰ متر این عدد ۶ در نظر گرفته شود. یعنی میزان تنش ناشی از بار مفید، بار مرده و کل وسیله باربری نباید از یک هفتم مقاومت کابل بالابر اصطکاکی در اعماق کمتر از ۵۰۰ متر و یک ششم مقاومت کابل بالابر اصطکاکی در اعماق بیش از ۵۰۰ متر تجاوز کند.



شکل ۲- مقاطعی از ساختمان داخلی کابل‌های فولادی

خستگی در فلزات، عامل گسیختگی بر اثر تنش‌های دوره‌ای و مداوم اعمالی بر آنها است. هر چه رشته‌های فولادی کابل در هم تنیده‌تر باشند و میزان طول تاب آنها کمتر باشد، میزان الاستیسیته کابل افزایش می‌یابد و کابل ساختاری مقاوم‌تر و مناسب‌تر برای عملیات استخراج معادن خواهد داشت. از طرف دیگر هر چه طول تاب کابل افزایش یابد، مقاومت کششی آن افزایش می‌یابد. به طور کلی می‌توان گفت: طول تابی ۶ تا ۷ برابر قطر کابل، طولی مناسب برای تاب کابل‌های فولادی در عملیات معدنکاری است.

## ۷. مطالعات موردی

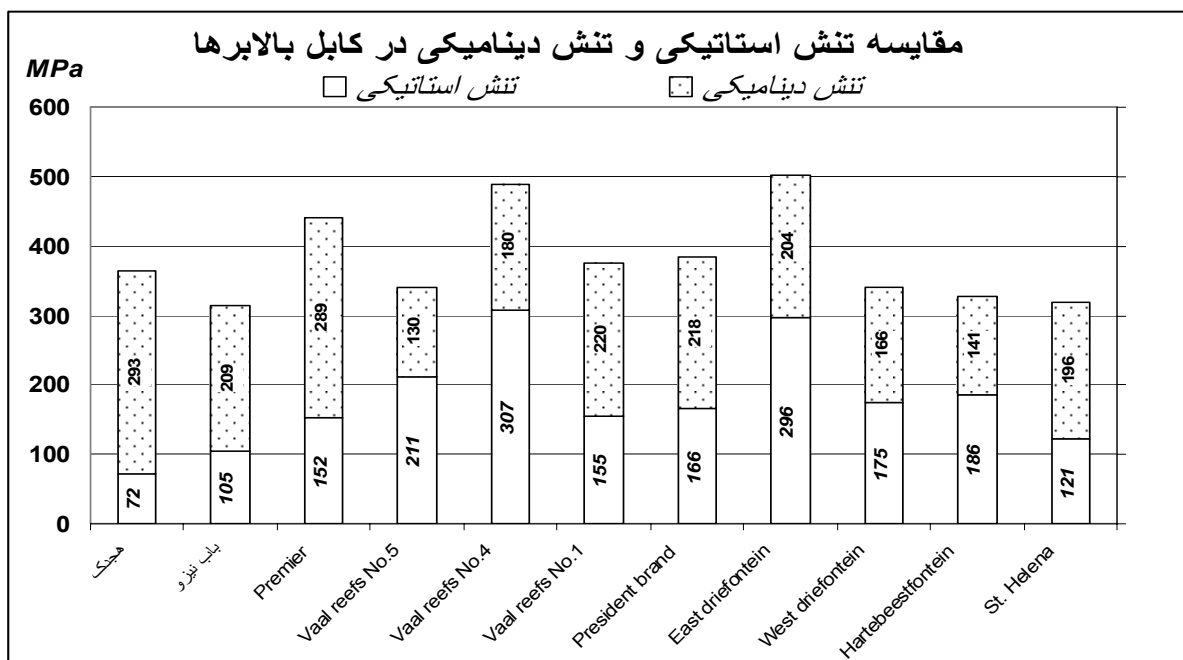
در ادامه بر پایه اطلاعات معادن زیرزمینی نیمه عمیق و عمیق آفریقای جنوبی و معادن زغالسنگ باب نیزو و هُجدک ایران که مجهز به سیستم بالابر هستند مواردی از کاربرد مدل ریاضی (رابطه ۱۶) ارائه می‌شود (جدول شماره ۱). در این محاسبات، مدول الاستیسیته کابل فولادی بالابر ۲۰۰ گیگا پاسکال و شتاب ثقل ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه فرض می‌شود. در شکل ۳، نمودار مقایسه‌ای تنش کششی استاتیکی (تنشی که صرفاً ناشی از جرم‌های بار، اسکوپ یا کیچ و کابل بالابر) با تنش کششی دینامیکی (تنشی که بر اثر توقف بالابر، در لحظه ترمز کردن در کابل بالابر بوجود می‌آید و باید به تنش استاتیکی نظیرش اضافه شود) با فرض سرعت باربری معادل ۸ متر بر ثانیه در معادن مختلف رسم شده است. در شکل ۴، همان نمودار با فرض‌های جدول ۱، فقط با نصف شدن سرعت باربری (۴ متر بر ثانیه) رسم گردیده است. با مقایسه نمودار شکل‌های ۳ و ۴ مشخص می‌شود که هر چه سرعت باربری کابل بیشتر باشد میزان تنش دینامیکی ایجاد شده در کابل زیادتر خواهد بود.

بدیهی است در مواردی که میزان تنش دینامیکی در کابل بالابر بیشتر از تنش استاتیکی آن است انجام محاسبات پایداری، فقط بر اساس تنش استاتیکی و بدون توجه به تنش دینامیکی می‌تواند خطر گسیختگی کابل بالابر را در پی داشته باشد. به عنوان مثال در مطالعه موردی معدن باب نیزو، در صورتی که سرعت باربری ۴ متر بر ثانیه باشد، تنش دینامیکی ایجاد شده در کابل معادل ۱۰۴ مگاپاسکال است. در حالی که اگر سرعت باربری به ۸ متر بر ثانیه برسد، تنش دینامیکی ۲۰۹ مگاپاسکال و تقریباً دو برابر حالت اول خواهد بود. تنش استاتیکی در هر دو حالت ثابت و برابر ۱۰۵ مگاپاسکال است.

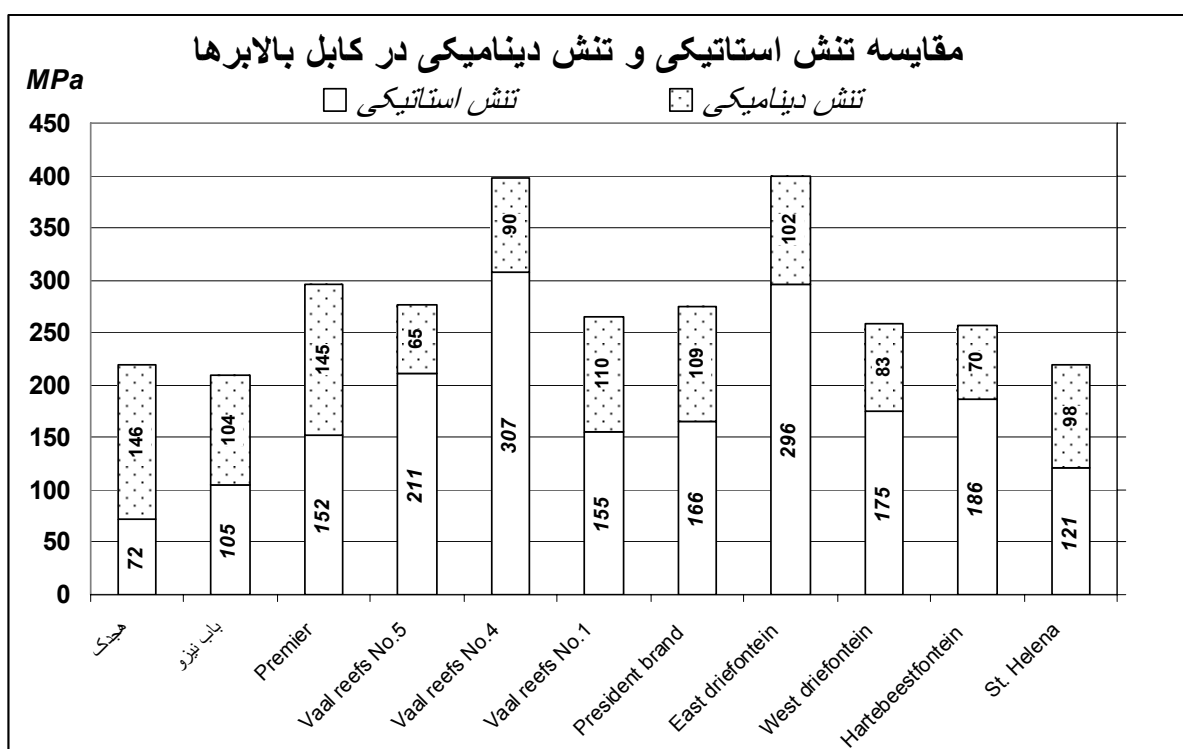


**جدول ۱- مطالعات موردی برای تعیین تنش کششی استاتیکی و دینامیکی ایجاد شده در کابل فولادی بالابرهای معادن زیرزمینی مختلف [۹]**

نام معدن	جرم بار	جرم اسکپ	جرم واحد طول کابل	طول کابل	جرم کابل از نقطه تعلیق	جرم کلی سیست	قطر کابل	سطح مقطع کابل	سرعت باربری	شعاع قرقه یا طبلک	سرعت زاویه-ایی	تنش دینامیکی	تنش استاتیکی	مجموع تنش‌ها	مقاومت کششی کابل	ضریب ایمنی
	ton	ton	kg/m	m	ton	ton	mm	m <sup>2</sup>	m/s	m	rpm	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	
St. Helena	۷/۷۲	۵/۰۴	۸/۶	۹۰۷	۷/۸۰	۲۰/۵۶	۴۶	۰/۰۰۱۷	۸	۲/۱۳	۳/۸	۱۹۶/۲	۱۲۱/۳	۲۱۷/۵	۱۷۶۵	۵/۶
Hartebeestfontein	۱۰/۹	۸/۳۰	۱۱/۸	۲۰۶۴	۲۴/۳۶	۴۳/۵۶	۵۴	۰/۰۰۲۳	۸	۲/۴۴	۳/۳	۱۴۰/۸	۱۸۶/۵	۲۳۷/۳	۱۷۶۵	۵/۴
West driefontein	۹	۷/۱۹	۹/۲	۱۴۵۳	۱۲/۵۱	۲۹/۷۰	۴۶	۰/۰۰۱۷	۸	۲/۳۹	۳/۳	۱۶۶/۱	۱۷۵/۲	۲۴۱/۳	۱۷۵۰	۵/۱
East driefontein	۱۷/۳	۱۳/۰۲	۸/۷	۲۰۴۳	۱۷/۷۷	۴۸/۰۴	۴۵	۰/۰۰۱۶	۸	۲/۱۳	۳/۸	۲۰۴/۴	۲۹۶/۵	۵۰۰/۹	۱۸۰۰	۳/۶
President brand	۸/۵	۵/۴۶	۷/۲	۱۱۵۸	۸/۳۴	۲۲/۳۰	۴۱	۰/۰۰۱۳	۸	۱/۹۸	۴	۲۱۸/۳	۱۶۵/۶	۲۸۳/۹	۱۹۰۰	۴/۹
Vaal reefs No.1	۹/۰۷	۴/۶۰	۷/۷	۱۰۶۷	۸/۲۲	۲۱/۸۹	۴۳	۰/۰۰۱۴	۸	۱/۹۸	۴	۲۱۹/۹	۱۵۴/۹	۳۷۴/۸	۱۸۰۰	۴/۸
Vaal reefs No.4	۱۶/۸	۱۲/۸	۸/۲	۲۰۷۳	۱۷/۰۰	۴۶/۶۰	۴۳/۵	۰/۰۰۱۵	۸	۲/۴۴	۳/۳	۱۸۰/۴	۳۰۷/۴	۴۸۷/۸	۱۸۰۰	۳/۷
Vaal reefs No.5	۱۱/۵	۶	۹/۹	۲۱۶۱	۲۱/۳۹	۳۸/۸۹	۴۸	۰/۰۰۱۸	۸	۲/۷۴	۲/۹	۱۳۰/۳	۲۱۰/۷	۲۴۱/۰	۱۹۵۰	۵/۷
Premier	۱۱/۸	۹/۴۶	۹,۴	۶۰۸	۵/۷۲	۲۷/۰۰	۴۷	۰/۰۰۱۷	۸	۱/۹۸	۴	۲۸۹/۰	۱۵۲/۴	۴۴۱/۵	۲۰۰۰	۴/۵
باب نیزو	۹	۶	۸	۳۵۰	۲/۸	۱۷/۸	۴۶	۰/۰۰۱۷	۸	۳/۰	۲/۷	۲۰۸/۷	۱۰۵/۰	۳۱۳/۷	۱۸۰۰	۵/۷
هجدک	۴	۴	۸	۲۷۵	۲/۲۰	۱۰/۲۰	۴۳	۰/۰۰۱۴	۸	۲	۴	۲۹۲/۸	۷۲/۲	۳۶۵/۰	۱۸۰۰	۴/۹



شکل ۳- تنش‌های کششی ایجاد شده در کابل بالابرهای معادن نمونه (سرعت باربری: ۸ متر بر ثانیه)



شکل ۴- تنش‌های کششی ایجاد شده در کابل بالابرهای معادن نمونه (سرعت باربری: ۴ متر بر ثانیه)

## ۸. نتیجه‌گیری

هر چند که امروزه استفاده از بسته‌های نرم افزاری برای اجرای تحلیل‌های مهندسی، عملاً جایگزین مدل‌سازی ریاضی شده است، ولی در بسیاری موارد، بخصوص در ارزیابی‌هایی که به ایمنی در معادن مربوط است، داشتن روشی به عنوان آلترناتیو و جایگزین روش‌های عددی و انجام محاسبات موازی، می‌تواند برای کنترل نتایج، مفید و کاربردی باشد. تکیه بیش از اندازه به روش‌های عددی در بسیاری موارد می‌تواند منجر به بروز خطاهایی بزرگ در محاسبات و تصمیم‌گیری‌ها شود. با اطمینان می‌توان گفت: علی‌رغم تمام پیشرفت‌هایی که در روش‌های عددی مانند المان‌های محدود، تفاضلات محدود، المان‌های مرزی و ... بوجود آمده است هنوز هیچ جایگزینی برای بینش مهندسی و درک صحیح فنی وجود ندارد. در همین راستا، هدف از نگارش این تحقیق، آشنایی هر چه بیشتر مهندسين معدن و کارشناسان ایمنی با روابط مکانیکی و مدل ریاضی حاکم بر کابل‌های فولادی بالابرها در معادن زیرزمینی برای بهبود شرایط ایمنی است.

## ۹. مراجع

- [1] Walker S.C., 1988, Mine winding and transport, Elsevier science publishers.
- [۲] بصیر سید حسن، ۱۳۷۷، ترابری در معادن، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [3] Hustrulid W.A., 1982, Underground mining methods handbook, Society of mining engineers of America.
- [4] Hartman L.Howard & Mutmanský Jan M., 2002, Introductory mining engineering, John Wiley and Sons.
- [۵] بیر فردینالد و جانسون راسل، مقاومت مصالح، ۱۳۷۲، انتشارات آشینا.
- [6] Khadzhikov R., Butakov S., 1988, Mining mechanical engineering, Mir.
- [۷] فرشاد مهدی، ۱۳۶۸، مقاومت مصالح، انتشارات پژوهش.
- [۸] آیین‌نامه‌های حفاظت و بهداشت کار، ۱۳۸۱، موسسه کار و تامین اجتماعی.
- [9] Hecker G.F.K., Kroonstuiver J., 1996, The safe use of mine winding ropes, CSIR.

# Assessment of maximum stress for improving safety in winder rope by mathematical model

Prof. Kazem Oraee<sup>1</sup>, Arash Goodarzi<sup>2</sup>, Bahareh Asi<sup>3</sup>

## Abstract

Application of winders is normal practice in many underground mines, especially in deep workings. On the other hand, winder accidents are usually serious and entail financial losses. Often, accidents occur due to breaking of winder ropes.

Mechanical analyses and stress investigations generated in consequence of loads in rope is important and serious in design, making installation and exploitation of such machines feasible.

Building a model that governs on machine and conditions, can be helpful not only for improving the safety but also for estimating other variables such as load, strength etc.

Materials science and engineering mechanics are used in modeling and these fore, the model presents for these purposes. Presented model can predict maximum stress that occurred on rope.

**Key words:** Safety in underground mines, Winder, Maximum stress, Rope

---

<sup>1</sup> Faculty of Stirling University, UK, E-mail: sko1@stir.ac.uk

<sup>2</sup> Msc Graduate, Center of research and training for occupational safety and health, Ministry of labor and social affairs, E-mail: arash\_good@yahoo.com

<sup>3</sup> Msc Graduate, Kavoshgaran Consulting engineers, E-mail: basi56@yahoo.com