

ارائه مدل ریاضی جدید به منظور طراحی مسیر سیم نقاله های هوایی برای حمل و نقل مواد معدنی

بابک هوده
دانشجوی کارشناسی ارشد

حسن مدنی
استادیار

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در این مقاله نتایج تحقیقاتی که درباره شیوه طراحی مسیر سیم نقاله های هوایی معادن انجام گرفته، آمده است. برای این طراحی، دو مدل ریاضی مختلف عرضه شده است که مدل اول تعداد دکل های لازم برای هر مسیر، محل استقرار و ارتفاع آنها را تعیین می کند. مدل دوم نیز تعداد دکل ها و فاصله متوسط دهانه ها را در بین دو نقطه حدی مسیر، مشخص می سازد. یک برنامه کامپیوتری تحت عنوان ROPEX نوشته شد که کلیه محاسبات مربوط به تعیین مشخصات مسیر را انجام می دهد. برای اینکه برنامه ارائه شده در عمل ارزیابی شود، مسیر سیم نقاله دو معدن دره کاشان و انگوران زنجان به کمک آن طراحی شد که نتیجه، در حد جالبی با آنچه که قبلاً به روش های دیگر طراحی شده بود، مطابقت دارد.

A New Mathematical Model for Planning the Aerial Ropeway Routes in Mines

H. Madani
Assistant Professor

B. Hoodeh
M.Sc. Student

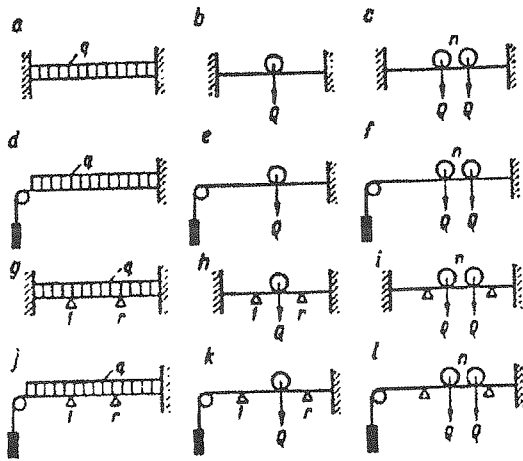
Colledge of Mines and Metallurgy Amir kabir
University of Technology

Abstract

In this paper, the results of the research about the planning of aerial ropeway, is discussed. In order to design the route of the system, two mathematical models are developed. In the first model, the number of trestles, as well as their locations and heights, can be determined. The second model, is able to determine the number of trestles and their span between two successive extreme points. Based on the second model a computer program was written which is able to determine the characteristics of the route.

۱- معادلات کابل های آویخته

یکی از مسائل اساسی در ساختمان سیم نقاله، شکل و معادله کابل حامل بار و محاسبه نیروهای وارد بر آن است. کابل فولادی تحت تأثیر نیروهای کشش ناشی از وزنه های تعادلی، وزن صندوقه ها، وزن کابل، نیروی اصطکاک قرقره ها و تکیه گاه ها، اینرسی کابل در لحظه حرکت و توقف، نیروی باد و غیره قرار دارد. معادله کابل، تحت برآیند این نیروها به چگونگی تثبیت کابل، تعداد دهانه ها، ماهیت بار متحرک و توپوگرافی مسیر بسنگی دارد. الگوهای مختلف سیم نقاله ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲) الگوهای مختلف تثبیت کابل و سیستم بارگذاری آنها [۱].

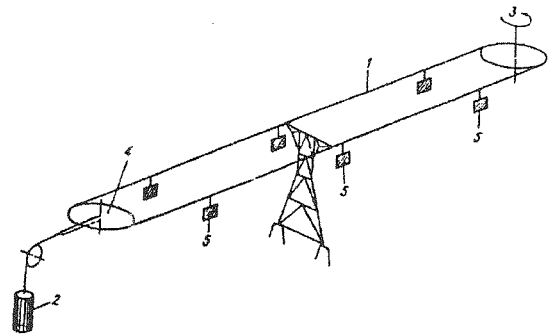
آرایش های a, b, c, g, h و I به ندرت و فقط در سیم نقاله های کم ظرفیت با طول کمتر از ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر مورد استفاده قرار می گیرند. آرایش های d, e, و f برای مناطق کوهستانی که اختلاف ارتفاع ایستگاه ها در آنها زیاد است، به کار می رود. آرایش های z, k, و I متداولترند. آرایش های z و k برای سیم نقاله های رفت و برگشتی و آرایش های z و I برای سیم نقاله های با گردش دائم در نظر گرفته می شوند [۲].

هنگامی که کابل در یک دهانه افقی یا شیبدار معلق می ماند، شکل یک منحنی زنجیر وار را به خود می گیرد. حتی اگر بارهای منفردی در فاصله دهانه، از کابل آویزان باشند، کابل شکل مجموعه ای از منحنی های زنجیروار را به خود می گیرد [۳]. در چنین حالتی برای سادگی محاسبات و افزایش ضریب اطمینان می توان توزیع وزن آنها را به صورت بار گسترده فرض کرد [۴].

سیم نقاله های هوایی از جمله قدیمی ترین سیستم های حمل و نقل مواد و افراد است. این سیستم، نوعی سیستم حمل نیمه پیوسته است که در آن مواد مورد نظر، در صندوقه هایی آویخته از کابل، جا به جا می شوند. حرکت صندوقه ها نیز به وسیله کابل انجام می گیرد.

سیم نقاله هوایی از ایستگاه بارگیری، مسیر و ایستگاه تخلیه تشکیل می شود. مسیر سیم نقاله دارای یک خط رفت و یک خط برگشت است که این دو خط با هم موازی اند و کابل های آنها در خلاف جهت هم حرکت می کند. کابل ها در طول مسیر بر فراز دکل هایی قرار می گیرند. نیروی رانش صندوقه ها به وسیله موتوری که در یکی از ایستگاه های بارگیری و یا تخلیه مستقر است، تأمین می شود.

سیم نقاله ها به دو نوع تک کابله و دو کابله تقسیم می شوند. در سیستم تک کابله، در هر خط فقط یک رشته کابل متحرک وجود دارد که هم وزن صندوقه ها را تحمل می کند و هم حرکت آنها را سبب می شود (شکل ۱). در سیستم دو کابله، یک کابل ثابت موسوم به کابل حامل، وزن صندوقه ها را تحمل می کند و کابل دیگری که متحرک است و به صورت یک حلقه بسته به طور مداوم بین ایستگاه های بارگیری و تخلیه رفت و آمد می کند، حرکت صندوقه ها را سبب می شود (شکل ۱).



شکل (۱) نمودار ساده سیم نقاله هوایی [۱].

یکی از مسائل مهم طراحی سیم نقاله ها، طراحی مسیر آن است که طی آن باید موقعیت و فاصله پایه ها به گونه ای محاسبه شود که سیستم در تمام حالات، کارآیی لازم را داشته باشد. هدف از این مقاله نیز ارائه مدل ریاضی جدید برای طراحی مسیر است.

$$\tan\alpha = \frac{(4y_c - h)}{s} \quad (2)$$

$$\tan\theta = \frac{(4y_c + h)}{s} \quad (3)$$

کشش کابل در هر یک از دو انتهای آن خواهد شد:

$$T_1 = \frac{t}{\cos\theta} \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{t}{\cos\alpha} \quad (5)$$

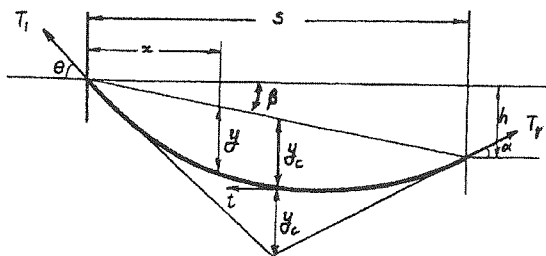
افت کابل در هر نقطه از دهانه به فاصله x از دکل اول براساس رابطه زیر تعیین می شود:

$$y = \frac{wx(s-x)}{2t} \quad (6)$$

و طول کابل برابر خواهد شد با:

$$L = \left[1 + \left(\frac{8y_c^2}{3s^2} \right) \right] \sqrt{(s^2 + h^2)} \quad (7)$$

لازم به توضیح است که با فرض $h = 0$ ، کلیه روابط یاد شده برای حالت دهانه افقی، ساده خواهند شد [۴].



شکل (۳) دهانه مایل با توزیع بار یکنواخت بر کابل زنجیره وار.

طبق تعریف w ، نیروی کشش T_2 خواهد شد [۶]:

$$T_1 = T_2 + wh \quad (8)$$

۱-۲- دهانه مایل با بار نقطه ای

در این حالت هنگامی که بار نقطه ای p در وسط دهانه باشد، افت کابل به بیشترین مقدار خود می رسد و برابر است با [۴]:

$$y_c = \frac{s(2p + wl)}{8t} \quad (9)$$

عملاً در بیشتر موارد، زمانی که نسبت افت کابل به طول دهانه کم باشد، می توان معادله کابل را سهمی فرض کرد. روابطی که در زیر خواهد آمد، براساس فرضیه های یاد شده نتیجه شده اند. در ضمن هنگامی که تکیه گاه های کابل مهاردار باشند، فرض براین است که هیچ جا به جایی انجام نمی گیرد. اگرچه در صورت بروز جا به جایی، خطای حاصل از عدم احتساب آن باعث افزایش ضریب اطمینان نتایج محاسبات خواهد شد.

بارباد عامل مهمی است که باید در محاسبات کابل منظور شود. فشار بادی با سرعت 150 کیلومتر در ساعت معادل 0.01 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بر بزرگترین سطح مقطع طولی کابل در نظر گرفته می شود. در فصل یخبندان ممکن است پوشش یخی به ضخامت حداکثر 15 میلیمتر بر روی کابل بنشیند که باتوجه به وزن مخصوص $9/0$ گرم بر سانتیمتر مکعبی یخ، باید هم در محاسبه بار یکنواخت کابل و هم بار ناشی از فشار باد به آن توجه داشت. در شکل هایی که از این پس در مقاله خواهد آمد، از علایم و تعاریف زیر استفاده خواهند شد:

s = طول افقی دهانه بر حسب متر.

l = طول وتر دهانه که برابر است با $\sqrt{s^2 + h^2}$ بر حسب متر.

y = فاصله قائم کابل تا وتر دهانه بر حسب متر.

w = وزن واحد طول افقی بار گسترده یکنواخت وارد بر دهانه، بر حسب کیلوگرم بر متر.

t = مؤلفه افقی کشش کابل بر حسب کیلوگرم.

T = کشش کابل بر حسب کیلوگرم.

L = طول کابل زنجیره وار در حالت آویخته در دهانه بر حسب متر.

θ و α = زوایای برخورد کابل با تکیه گاه های دو دکل در دهانه بر حسب درجه.

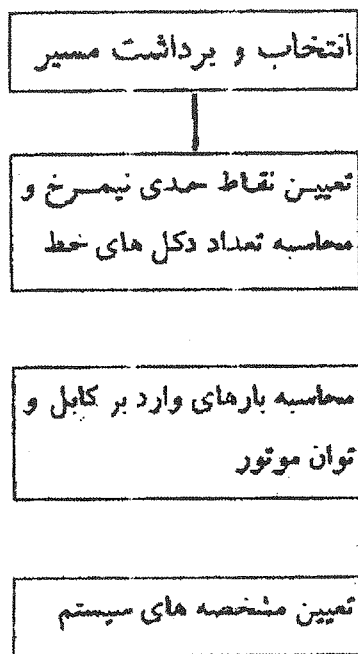
P = وزن بار نقطه ای بر روی کابل بر حسب کیلوگرم.

۱-۱- دهانه مایل با توزیع بار یکنواخت

باتوجه به شکل ۳، افت کابل چه در دهانه افقی و چه دهانه مایل، همواره در وسط دهانه به حداکثر مقدار خود می رسد و برابر است با [۵]:

$$y_c = \frac{ws^2}{8t} \quad (1)$$

تانژانت زوایای θ و α برابر است با:



شکل (۵) روند کلی طراحی خط سیم نقاله های هوایی.

در طراحی مسیر یک سیم نقاله هوایی باید تعداد و فاصله بین دکل ها محاسبه و تعیین شود. تعداد دکل ها تابعی از شرایط توپوگرافی مسیر است. هر چه مسیر نامنظم تر و ناهموارتر باشد، تعداد دکل های لازم زیادتر است.

برای طراحی مسیر روش های مختلفی وجود دارد. در گذشته پس از ترسیم نیمرخ زمین روی یک نقشه بزرگ مقیاس، ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ نقاط حدی^۱ (مینیمم و ماکزیمم) نسبی آن را توسط سنجاق هایی علامت گذاری می کردند و یک رشته نخ ابریشمی را به دور سنجاق ها می تابیدند تا موقعیت نخ نسبت به نیمرخ زمین مشخص شود. سپس با افزودن تدریجی تعداد سنجاق ها و جابه جا کردن آنها در نقاط مناسب سعی می کردند که نخ، مسیر ملایمی را در طول خط نیمرخ زمین طی کند. این سنجاق ها در واقع در حکم نقاط راس وترها و نخ ابریشمی در حکم وتر کابل سیم نقاله بود. بعد از تثبیت، منحنی کابل بارگذاری شده بر روی همان نیمرخ رسم می شد تا با توجه به آن، محل مناسب استقرار دکل ها تعیین شود [۶].

روش دیگر، استفاده از منحنی های کابل رسم شده بر روی طلق های مخصوصی است که شکل منحنی کابل را در وضعیت های مختلف نشان می دهد. این منحنی ها

مطابق شکل ۴ اگر بار نقطه ای p به فاصله افقی m نسبت به دکل اول از کابل آویزان باشد، تانژانت زوایای α و θ خواهد شد:

$$\tan \alpha = \frac{pm}{st} + \frac{wl}{2t} - \frac{h}{s} \quad (10)$$

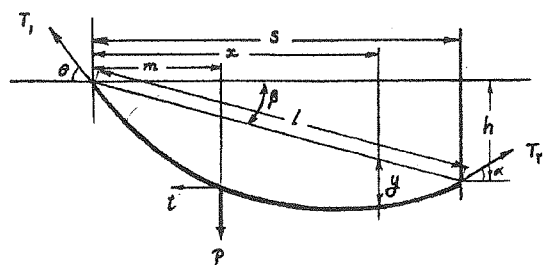
$$\tan \theta = \frac{p(s-m)}{st} + \frac{wl}{2t} + \frac{h}{s} \quad (11)$$

کشش کابل در هر یک از دو انتهای کابل مطابق روابط ۴ و ۵ است.

افت کابل در هر نقطه از دهانه به فاصله افقی x از دکل اول عبارت است از:

$$y = (wlx + 2pm) \frac{(s-x)}{2ts} \quad (12)$$

و طول کابل با استفاده از مقدار y_c حاصل از رابطه ۹، براساس رابطه ۷ به دست می آید [۶].



شکل (۴) دهانه مایل با بار نقطه ای وارد بر کابل زنجیره وار.

۲ - اصول طراحی مسیر سیم نقاله ها

منظور از طراحی یک سیستم سیم نقاله هوایی، محاسبه و تعیین کلیه مشخصه های فنی یک خط حمل و نقل سیم نقاله است. این مشخصه ها شامل تعداد صندوقه ها، تعداد دکل ها، فاصله زمانی بین صندوقه ها، فاصله طولی بین صندوقه ها، بار باد، بار یخ، نیروهای اصطکاکی مسیر رفت، نیروهای اصطکاکی مسیر برگشت، نیروی کشش کابل، قطر کابل، توان مورد نیاز موتور و نظایر آن است.

روند کلی طراحی یک سیم نقاله هوایی مطابق شکل ۵ است.

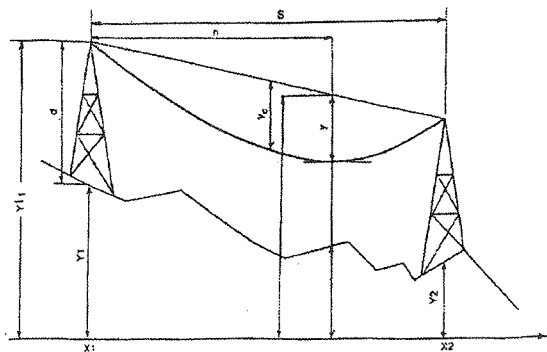
با اعمال فرض اول، مخرج رابطه ۱ در عدد ۱/۵ ضرب می شود و آفت کابل در وسط دهانه براساس رابطه زیر به دست می آید:

$$y_c = \frac{ws^2}{8 \times 1.5 \times t} \quad (۱۳)$$

روابط مشابه دیگر نیز به همین صورت تغییر می یابند تا منحنی کابل بر روی نیمرخ رسم شود.

۳- مدل های ریاضی طراحی خط

در این تحقیق، برای تعیین تعداد دکل های خط، دو مدل مختلف ریاضی پیشنهاد و بررسی شده است. مدل ریاضی اول علاوه بر تعیین تعداد دکل های خط، محل استقرار و ارتفاع دکل را نیز مشخص می کند. مدل ریاضی دوم فقط تعداد دکل ها را برآورد کرده و فاصله متوسط دهانه ها را در بین دو نقطه حدی تعیین می کند. مدل ریاضی دوم پیچیدگی مدل اول را ندارد و در آن با استفاده از مختصات نیمرخ در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ به سهولت می توان به نتایج لازم برای انجام بررسی فنی و اقتصادی پروژه سیم نقاله هوایی دست یافت، در حالی که مدل ریاضی اول ضمن اینکه نیاز به برداشت نیمرخ با مقیاس بزرگتر دارد، برای طراحی مسیر پس از اتمام مطالعات بررسی فنی و اقتصادی، مناسب تر است. علایم به کار رفته در این مدل ها مطابق شکل ۷ است.



شکل (۷) علایم به کار رفته در مدل های ریاضی

۳-۱- مدل ریاضی اول

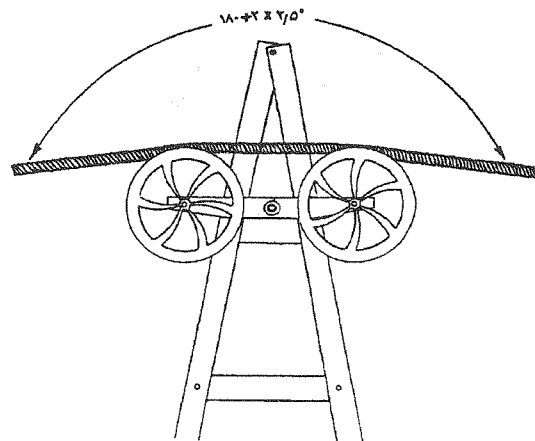
براساس این مدل اگر بخواهیم موقعیت دکل $i + 1$ را روی نیمرخ تعیین کنیم، رأس دکل $i + 1$ باید در زون هاشور خورده شکل ۸ قرار گیرد تا مقدار زاویه α از

که الگو^۲ نامیده می شوند، در مقیاسی برابر با مقیاس نیمرخ مسیر رسم می شوند تا بر روی نیمرخ تطبیق یابند. با تطبیق مرحله به مرحله این منحنی بر خط نیمرخ، محل استقرار دکل ها و مسیر عبور کابل ها تعیین می شود [۷]. این روش به طور عمده در طراحی خطوط انتقال انرژی به کار می رود.

امروزه روش های جدیدی مبتنی بر برنامه های کامپیوتری وجود دارد که فقط در اختیار طراحان و سازندگان بزرگ سیم نقاله ها است.

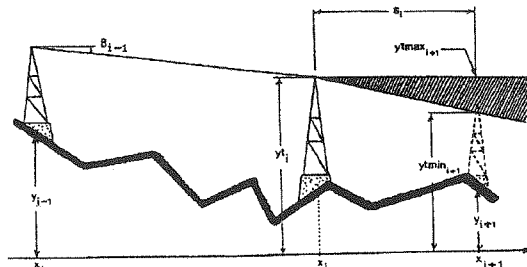
روشی که در اینجا برای طراحی مسیر سیم نقاله هوایی پیشنهاد شده، یک روش عددی بر مبنای محاسبات کامپیوتری است. این روش برای ارزیابی فنی و اقتصادی یک پروژه حمل به وسیله سیم نقاله هوایی بسیار مناسب و سریع است. محاسبات این روش به طور کلی توسط کامپیوتر انجام می شود و نیازی به استفاده از روش های ترسیمی نیست. بدین منظور مختصات نقشه برداری نیمرخ مسیر به صورت x و y به کامپیوتر داده می شود و کامپیوتر تعداد دکل ها و طول دهانه متوسط آنها را در بین دو نقطه حدی نیمرخ با توجه به وضعیت توپوگرافی مسیر، تعیین می کند.

طراحی خط در روش های ترسیمی، بر دو فرض تجربی زیر استوار است: اولاً نقاط رأس دکل ها باید بر روی منحنی سهمی ای قرار بگیرند که کشش کابل آن در عمل ۱/۵ برابر کشش طراحی کابل است. ثانیاً زاویه میل^۳ وترها (α) ، به ازای هر چرخ قرقره دکل نباید از ۲/۵ درجه تجاوز کند [۱ و ۶]. در شکل ۶ فرض دوم، به خوبی مشخص است. در اینجا به خاطر وجود دو چرخ قرقره در رأس دکل، امکان انحراف کابل تا میزان حداکثر $\alpha = 2 \times 2/5$ درجه مسیر است.



شکل (۶) انحراف کابل تا میزان حداکثر $2 \times 2/5$ درجه.

۲/۵ درجه آزادی به ازای هر چرخ قرقره دکل i تجاوز نکند.



شکل (۹) ارتفاع مجاز دکل $i + 1$.

باتوجه به روابط یادشده ارتفاع مجاز دکل $i + 1$ باید بین دو مقدار زیر باشد:

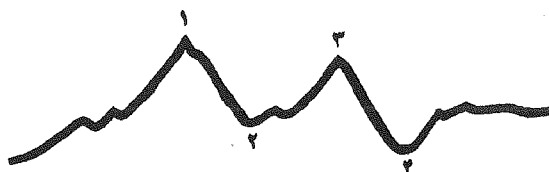
$$d_{\max i+1} = y_{t_{\max i+1}} - y_{i+1} \quad (18)$$

$$d_{\min i+1} = y_{t_{\min i+1}} - y_{i+1} \quad (19)$$

در این مدل تعیین مقدار s_i در روابط ۱۵ و ۱۶ به طوری که مقدار y_e حاصل از روابط ۱ و ۹ در حد مجاز باقی بماند، مستلزم دسترسی به یک نیمرخ مسیر بزرگ مقیاس است و باید دست کم یک نیمرخ به مقیاس ۱:۵۰۰ از مسیر تهیه شود. نتیجه این که مدل اول پیشنهادی برای طراحی خط سیم نقاله هوایی، پس از قطعیت تصمیم در مورد اجرای پروژه مناسب خواهد بود.

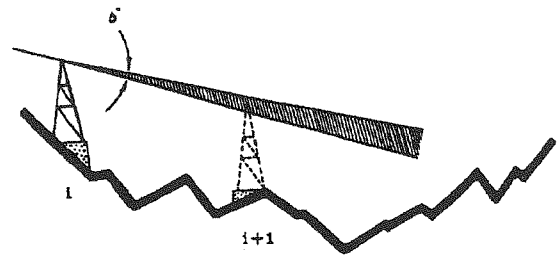
۴-۲-۴ مدل ریاضی دوم

در این مدل نخست نقاط ماکزیمم و مینیمم نسبی نیمرخ تعیین شده و آنگاه تعداد دکل های بین دو نقطه حدی نسبی مشخص می شود (شکل ۱۰).



شکل (۱۰) نقاط حدی نسبی نیمرخ.

در این مدل نقاط حدی مهم و عمده نیمرخ تعیین شده و مختصات هر یک از نقاط مشخص می شود. نقطه حدی مهم به نقطه ای اطلاق می شود که تغییرات ارتفاع آن نقطه بر روی نیمرخ از حد معینی مثلاً ۵ متر تجاوز کند (بیشتر یا کمتر شود).



شکل (۸) موقعیت صحیح رأس دکل $i + 1$ نسبت به دکل i .

بسته به اینکه دکل $i + 1$ در چه فاصله ای نسبت به دکل i واقع باشد، یک ارتفاع حداقل d_{\min} و یک ارتفاع حداکثر d_{\max} خواهد داشت. اگر زاویه وتر بین دو دکل i و $i - 1$ برابر β_{i-1} باشد، برای اینکه رأس دکل $i + 1$ در زون هاشور خورده باقی بماند، باید زاویه وتر بین دو دکل i و $i + 1$ برابر مقدار زیر باشد.

$$\beta_i = \beta_{i-1} \pm r k_i \times 2.5^\circ \quad (14)$$

که در آن k_i تعداد چرخ قرقره های دکل i و r یک عدد حقیقی بین ۰ و ۱ است. باتوجه به شکل ۹، اگر دکل $i + 1$ به فاصله s_i از دکل i روی نیمرخ واقع باشد، رأس آن باید در ارتفاع بین $y_{t_{\min i+1}}$ و $y_{t_{\max i+1}}$ باشد که مقدار آنها از روابط زیر به دست می آید:

$$y_{t_{\max i+1}} = y_{t_i} + q s_i \tan(\beta_{i-1} - r k_i \times 2.5) \quad (15)$$

$$y_{t_{\min i+1}} = y_{t_i} + q s_i \tan(\beta_{i-1} + r k_i \times 2.5) \quad (16)$$

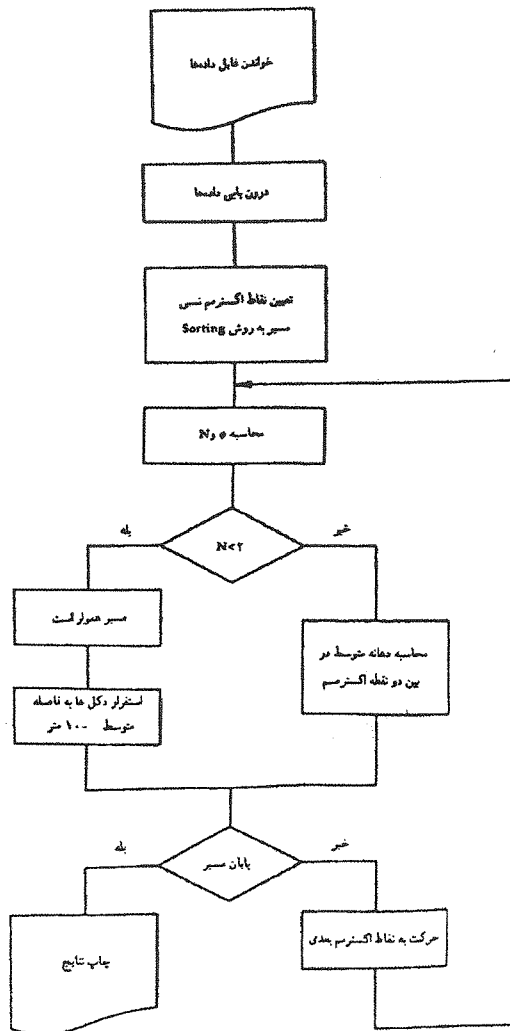
در روابط یاد شده y_{t_i} ارتفاع رأس دکل i نسبت به مختصات محلی نیمرخ مربوطه است و q پارامتری است که وضعیت شیب نیمرخ را از لحاظ سرازیر یا سربالا بودن تعیین می کند و مقدار آن از رابطه زیر تعیین می شود:

$$q = \text{SGN}(y_{i+1} - y_i) \quad (17)$$

در رابطه بالا SGN تابع ریاضی علامت 1 و y_i ارتفاع نقطه i از نیمرخ مسیر است.

۴- شرح برنامه کامپیوتری ROPEX

اصول محاسبات برنامه کامپیوتری ROPEX که برای طراحی خط سیم نقاله هوایی نوشته شده، مبتنی بر مدل ریاضی دوم پیشنهادی است. این برنامه پس از خواندن فایل داده های برداشت نیمرخ و درون یابی نقاط، ابتدا نقاط حدی نسبی مسیر را شناسایی کرده و در آرایه ای ذخیره می کند. سپس مطابق آنچه که گفتیم، تعداد دکل ها و طول دهانه متوسط آنها را در بین دو نقطه حدی نسبی محاسبه کرده و در نهایت، تعداد کل دکل های مسیر، طول متوسط دهانه دکل ها در کل خط، کمترین و بیشترین طول دهانه در مسیر را تعیین می کند. برنامه ROPEX براساس اطلاعات زیر، مسیر سیم نقاله را طراحی می کند:



شکل (۱۲) روند محاسبات برنامه ROPEX برای طراحی خط سیم نقاله هوایی.

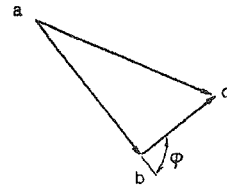
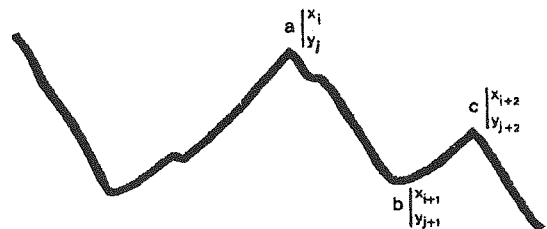
به عنوان مثال شکل ۱۱ را در نظر می گیریم و می خواهیم تعداد دکل ها را در فاصله نقطه a تا c تعیین کنیم. امتداد وتر دکل ها در نقطه a در امتداد بردار ab و امتداد وتر دکل ها در نقطه c در امتداد بردار bc خواهد بود. پس در فاصله بین نقاط a تا c امتداد خط سیم نقاله هوایی از بردار ab به بردار bc تغییر خواهد کرد. مقدار تغییر امتداد برابر زاویه ϕ خواهد شد که کسینوس آن از ضرب داخلی دو بردار به صورت زیر حاصل می شود:

$$\cos \phi = \frac{\vec{ab} \cdot \vec{bc}}{|\vec{ab}| \cdot |\vec{bc}|} \quad (20)$$

هر دکل در صورتی که فقط یک چرخ قرقره داشته باشد می تواند خط را به اندازه حداکثر ۲/۵ درجه در صفحه قائم منحرف سازد. پس اگر بخواهیم خط را به اندازه ϕ در جهه تغییر جهت دهیم، نیاز به N دکل خواهیم داشت:

$$N = \frac{\phi}{2.5} \quad (21)$$

فاصله متوسط دکل ها در بین دو نقطه حدی از تقسیم فاصله بین دو نقطه حدی بر تعداد دکل ها در آن فاصله به دست خواهد آمد.



شکل (۱۱) نقاط حدی نسبی نیمرخ و ارتباط زاویه ϕ با آنها.

برنامه کامپیوتری ROPEX براساس مدل ریاضی دوم نوشته شده است که شرح آن در زیر خواهد آمد.

کامپیوتری محک زده شود، مسیر سیم نقاله معدن باریت دره کاشان طراحی و با نتایج حاصل از طراحی سیستم توسط یک شرکت اطریشی مقایسه شد که نتیجه در حد بسیار خوبی با هم مطابقت داشت. همچنین مسیر سیم نقاله معدن انگوران زنجان نیز که در حال حاضر به کار مشغول است، دوباره با این برنامه طراحی شد که در این مورد نیز نتایج با وضعیت موجود مطابقت کامل دارد. البته برای تعیین سایر ویژگی های سیستم سیم نقاله، برنامه های دیگری نیز نوشته شد که امید است طی مقالات جداگانه ای تشریح شود.

زیر نویس ها

- 1 - extreme
- 2 - template
- 3 - deflection angle
- 4 - sign function

۵- نتیجه گیری

براساس تحقیقات انجام شده که شرح آن در این مقاله آمده است، دو مدل ریاضی ارائه و براساس آنها یک برنامه کامپیوتری برای طراحی مسیر سیم نقاله هوایی عرضه شد. برای آنکه کارایی این مدل ها و برنامه

- طول کل مسیر.
 - بخشی از طول مسیر که قرار است طراحی شود.
 - حداکثر و حداقل ارتفاعی که نقاط حدی آن قابل صرف نظر باشد.
 - فایل داده های برداشت مسیر.
 روند محاسبات برنامه ROPEX در شکل ۱۲ مشخص است.
 جدول (۱)، خروجی برنامه ROPEX در مورد طراحی مسیر سیم نقاله هوایی معدن باریت دره کاشان را نشان می دهد.

جدول (۱) خروجی برنامه ROPEX برای طراحی مسیر سیم نقاله هوایی باریت معدن دره کاشان.

NO.	DISTANCE (m)	MAXIMUM (m)	MINIMUM(m)	NO. of TRESTLES	AVG. SPACING
1	0	2120	1670	12	80 m.
2	960			3	90 m.
3	1230	1720	1700	8 sh.s.	8 m.
4	1300			7	11 m.
5	1380	1730	1710	1	60 m.
6	1440			14	71 m.
7	2440	2020	1390	14	98 m.
8	3820			1	100 m.
9	3920	1410	1280	15	100 m.
10	5460			0	0 m.

- [1] Schneigert Z. (1968), Aerial Ropeways and Funicular Railways, Pergamon Press, ch. 1-7.
- [2] مدنی حسن، هوده بابک، عبدی پور پروین، قهرمان نژاد بهروز، گزارش مطالعات طرح استفاده از سیم نقاله هوایی در معدن دره کاشان، جلد یک و دو، انتشارات شرکت درین کاشان، ۱۳۷۲.
- [3] Bridon Catalogues (1994), 1280/7.90/4M, 1276/8.92/2m, Doncaster.
- [4] Walker S.C. (1988), Mine Winding and Transport, Elsevier, Ch. 2, 4, 11.
- [5] هوده، بابک (۱۳۷۲)، تحقیقی پیرامون معادلات کابل‌ها در سیم نقاله‌های هوایی، انتشارات شرکت درین کاشان.
- [6] Peele Robert (1941), Mining Engineering's Handbook, Wiley, New York, section 26.
- [7] جاویدی دشت بیاض محمد حسین (۱۳۶۸)، طرح خطوط هوایی انتقال انرژی، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۱۶۱.