

طراحی خطوط انتقال انرژی

بخش دوم.

محاسبات مکانیکی در طراحی خطوط انتقال

مهدی داورپناه

دانشکده برق و کامپیوتر-دانشگاه تهران

نکات مهم در مسیر یابی

مسیر یابی

۱. مسیری که خط انتقال انرژی از آن می گذرد باید حتی الامکان به خط مستقیمی که دو نقطه ابتدا و انتهای را به هم وصل می کند نزدیک باشد.
۲. از ایجاد زوایای بی مورد در مسیر خط انتقال انرژی اجتناب شود.
۳. از مناطق کوهستانی خیلی سخت و هم چنین از دامنه های با شیب تند عبور نشود. و به مناطق شهری و توسعه آنها در آینده (فرودگاه، اتوبان، مناطق مسکونی با تراکم زیاد، شهرک ها و غیره) توجه شود.
۴. باید قبل از انتخاب مسیر توجه شود که خط انتقال انرژی با عبور از مناطقی که تفریحگاه مردم است چشم انداز نامناسبی ایجاد نکند و یا مناظر زیبا را از بین نبرد.
۵. در عبور از مناطق نظامی، میدان های رزمی و یا سایر مناطقی که نیروهای مسلح دولتی مستقیم و یا غیر مستقیم در آن فعالیت دارند، مسائل ایمنی کاملاً رعایت شود.

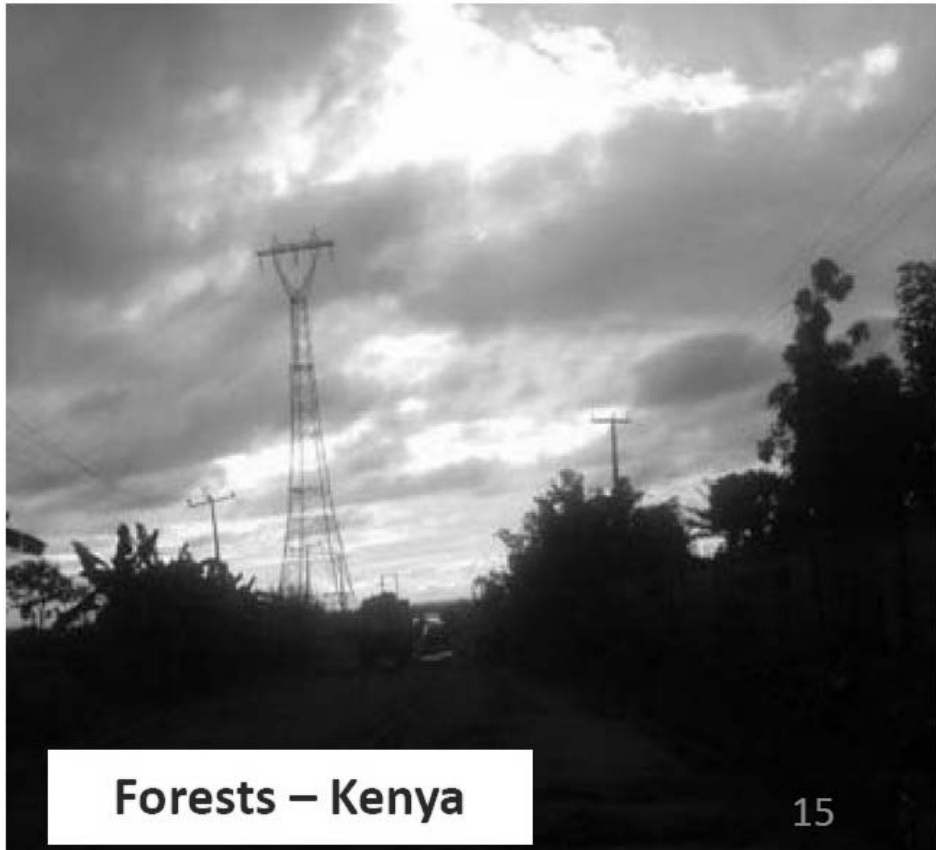






Snowfields - Algeria/Kazak





Forests – Kenya



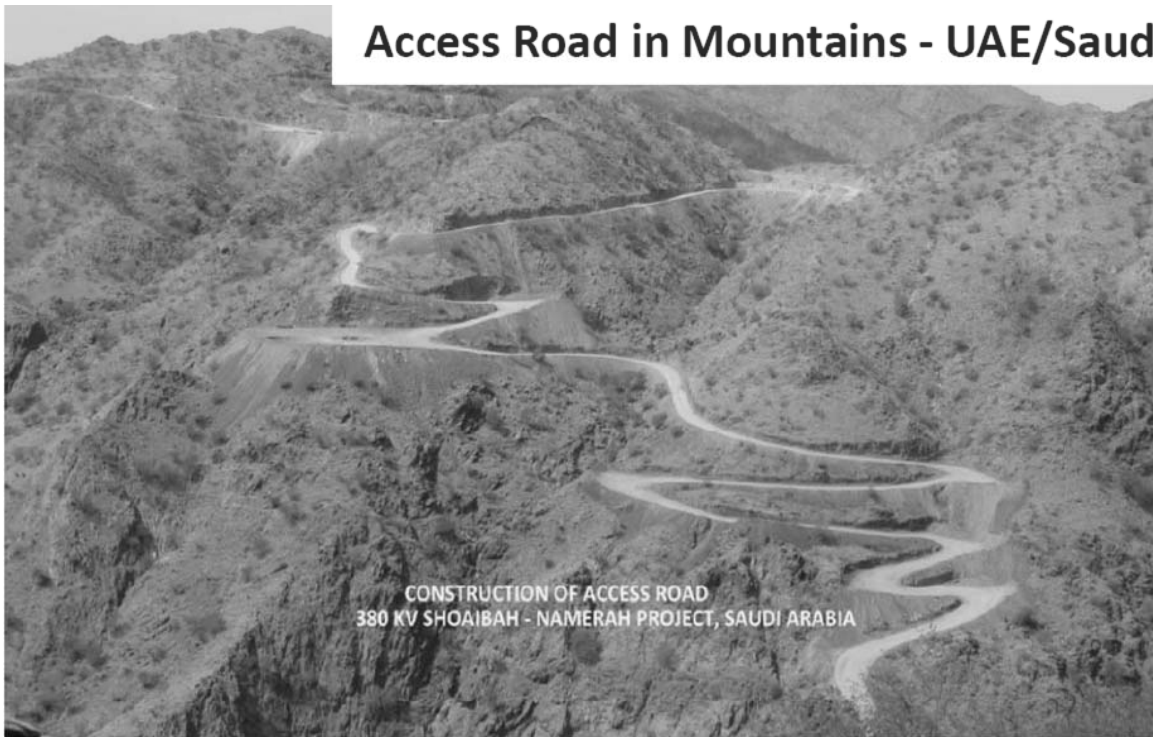
مسیر یابی

۵. راه آهن، لوله آب، گاز، نفت و روغن با زاویه مناسب (حتی الامکان نزدیک به ۹۰) قطع شود تا علاوه بر عدم القاء ولتاژ از به کار بردن پایه های بلند اجتناب شود.

۶. در صورت موازی بودن مسیر خط انتقال انرژی با راه آهن، لوله آب و نفت و گاز و خطوط تلفن و تلگراف، طول مسیر موازی و فاصله از لوله ها کنترل شود تا القاء ولتاژ بیشتر از مقدار مجاز نشود. لازم به ذکر است که انتخاب مسیر خط انتقال انرژی به موازات مسیر های خطوط راه آهن و با رعایت فاصله مناسب نیز مطلوب می باشد زیرا در مجاورت این مسیرها درختان قبلاً قطع شده اند و بنابراین هزینه مجدد چندانی نخواهد داشت.

۷. حتی الامکان مسیر خط انتقال انرژی به موازات بزرگراه های موجود باشد. این امر سبب تسهیل امور مربوط به نصب و تعمیرات خط انتقال انرژی بوده و حمل تجهیزات به میزان قابل ملاحظه ای ارزان تر تمام خواهد شد. ضمناً نزدیکی به جاده ها سبب از بین رفتن کمتر زمین های زراعی و قطع درختان جنگلی خواهد شد.

Access Road in Mountains - UAE/Saudi



فواصل هوایی مجاز خطوط انتقال هوایی بر اساس استاندارد وزارت نیرو

ردیف ولتاژ بر حسب کیلوولت								شرح	ردیف
۴۰۰		۲۳۰		۱۳۲		۶۳			
پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد		
								ساختمانهای مسکونی، تجارتی، تأسیسات صنعتی :	۱
۸/۷۴	۵/۰	۷/۰	۳/۸۰	۶/۰	۳/۱۵	۵/۳۱	۳/۰	عمودی سقفهای محکم	
۷/۲۱	۱۴/۰	۵/۴۸	۱۲/۸۰	۴/۵۰	۱۲/۱۵	.	۱۲/۰	سقفهای نرم	
۶/۶۰	۵/۰	۴/۸۸	۳/۸۰	۳/۸۸	۳/۱۵	۳/۱۸	۳/۰	افقی	
۶/۶۰	۳/۵۰	۴/۸۸	۲/۳۰	۳/۸۸	۱/۶۵	۳/۱۸	۱/۵	آنتن نصب شده روی ساختمانها	۲
۱۰/۷	۹/۰	۹/۷	۷/۸۰	۸/۶۵	۷/۱۵	۷/۹۳	۷/۰	جاده، خیابان اصلی: عمودی	۳
.	۹/۰	.	۷/۸۰	.	۷/۱۵	.	۷/۰	افقی	

فواصل هوایی مجاز خطوط انتقال هوایی بر اساس استاندارد وزارت نیرو

ردیف	شرح	ردیف و تناژ برحسب کیلوولت									
		۴۰۰		۲۳۰		۱۳۲		۶۳			
		پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد		
۱۳	خطوط مخابرات:	تقاطع	۴/۴۰	۴/۰	۴/۵	۲/۸۰	۳/۴۰	۲/۱۵	۲/۷۰	۲/۰	
		موازی	۴/۴۱	۴/۰	۳/۱۲	۲/۸۰	-	۲/۱۵	-	۲/۰	
۱۴	سایر خطوط انتقال نیرو ۱ الی ۲۰ کیلوولت	۶۳ کیلوولت:	تقاطع	۵/۸۰	۴/۰	۳/۹۰	۲/۸۰	۲/۸۰	۲/۱۵	۲/۱۰	۲/۰
			موازی	۳/۸۰	۴/۰	۲/۵۱	۲/۸۰	۱/۶۷	۲/۱۵	-	۲/۰
		۱۳۲ کیلوولت:	تقاطع	۶/۲۰	۴/۰	۴/۴۰	۲/۸۰	۳/۳۰	۲/۱۵	-	-
			موازی	۴/۲۵	-	۲/۹۶	-	۲/۱۲	-	-	-
		۲۳۰ کیلوولت:	تقاطع	۷/۰	۴/۰	۴/۴۰	۲/۸۰	-	-	-	-
			موازی	۵/۰۴	-	۳/۸۰	-	-	-	-	-
		۴۰۰ کیلوولت:	تقاطع	۸/۰	۴/۰	-	-	-	-	-	-
			موازی	۶/۳۹	-	-	-	-	-	-	-

فواصل هوایی مجاز خطوط انتقال هوایی بر اساس استاندارد وزارت نیرو

ردیف	شرح	ردیف و تناژ برحسب کیلوولت							
		۴۰۰		۲۳۰		۱۳۲		۶۳	
		پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد	پیشنهادی	استاندارد
۱۵	لوله نفت و گاز:								
		- فاصله افقی لوله نادیماره بیرونی فونداسیون در مسیرهای موازی خارج شهرها							
		۶۰		۵۰		۴۰		۳۰	
- فاصله افقی لوله نازدیگترین فونداسیون پایه در محل تقاطع									
۳۰		۳۰		۳۰		۳۰			
- فاصله عمودی خط هوایی بالوله های گاز در محل تقاطع									
۱۲		۱۱		۱۰		۹			

مسیر یابی

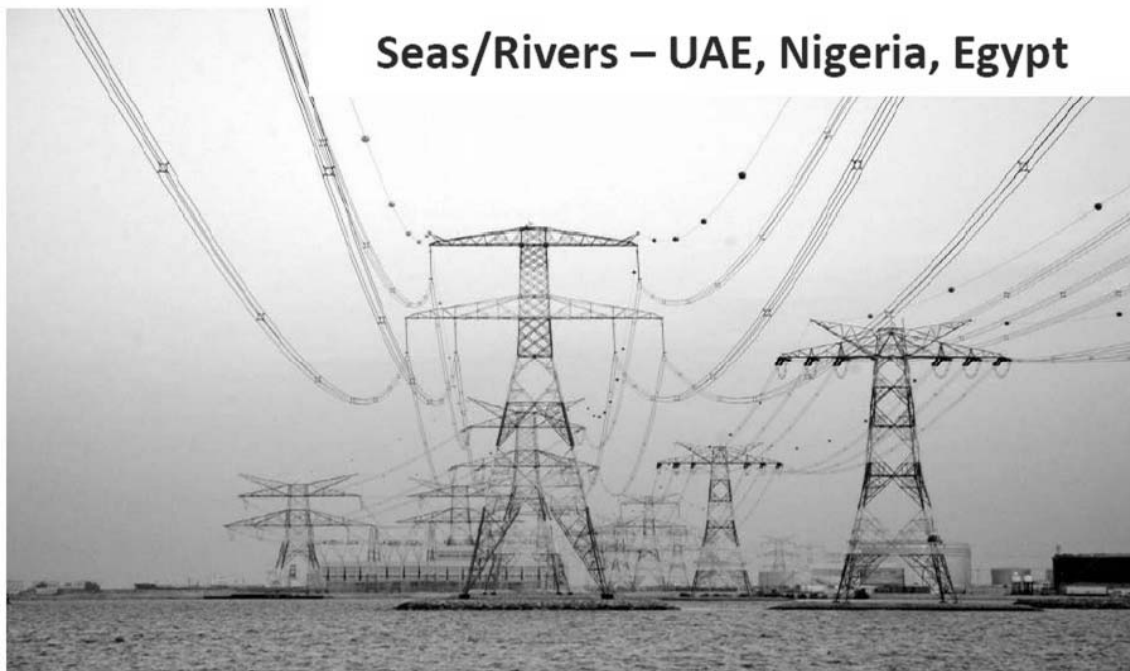
۸. دره ها یا رودخانه ها و مسیل ها در نقاط کم عرض و با زاویه مناسب (حتی الامکان نزدیک به ۹۰ درجه) قطع شود تا در اثر سیلاب ها خطراتی برای خط انتقال انرژی وجود نداشته باشد.

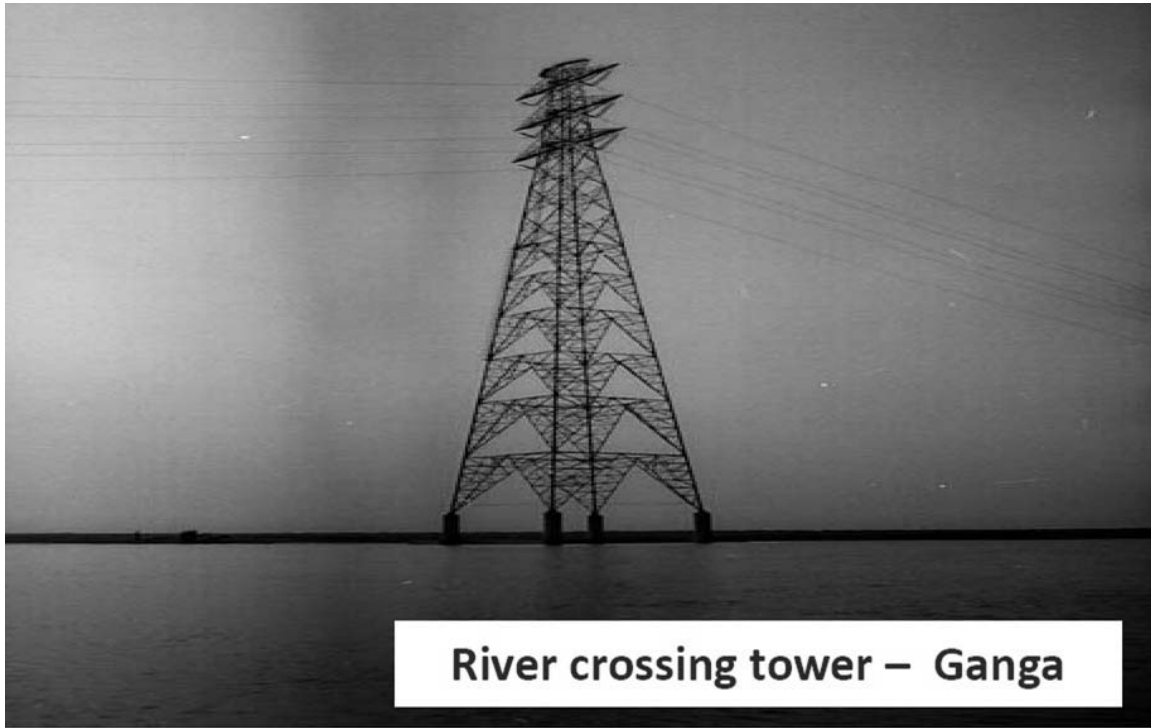
۹. محل ورود خط انتقال انرژی به پست ها مناسب باشد تا در توسعه آینده پست و اضافه نمودن خطوط دیگر راحت تر بوده و خطوط همدیگر را قطع نکنند.

۱۰. طرح های توسعه آینده که در مسیر ممکن است از نظر خطوط انتقال انرژی و یا پروژه های دیگر ایجاد شود بررسی گردد.

۱۱. در نزدیکی روستا ها برای اجتناب از وارد کردن خسارت به کشاورزان و منابع طبیعی سعی شود خط انتقال انرژی تلاقی کمتری با باغ ها، جنگلها، روستاها و غیره داشته باشد. (پروژه خط انتقال تمام می شود ولی ظلم به دیگران در حین انجام پروژه در ذهنها می ماند).

۱۲. جنس خاک و نوع زمین و مقاومت مکانیکی آن بررسی شود.





River Crossing Tower - Australia



مسیر یابی

۱۳. در مناطق کوهستانی به مسئله ریزش سنگ، بهمن و سیل توجه شود و در صورت امکان از بخش آفتاب گیر عبور نموده و در صورت نیاز زه کش یا سیل بند در اطراف پایه ها در نظر گرفته شود.

۱۴. از عبور بر روی تپه ها، قله ها، مرداب ها، باتلاق ها، شالیزارها، و دره های عمیق خودداری گردد. بدیهی است که تپه ها و قله های بلند، خط انتقال انرژی ما را در معرض رعد و برق قرار می دهند. و عبور خط انتقال انرژی از دره های عمیق سبب مشکلات ناشی از طغیان رودخانه، عبور آب های سطحی و up-lift شدن پایه در زمستان می گردد. علاوه بر این حمل تجهیزات مربوط به خط انتقال انرژی مناطق مذکور، مشکل و دارای هزینه های سنگینی می باشد.

۱۶- مسیر خط انتقال انرژی تا حد امکان از مناطقی که دارای هوای آلوده بوده و یا باعث آلودگی زیاد مقرره ها می شود عبور نکند.

مسیر یابی

۱۷. در صورت تلاقی دو خط انتقال به نکات زیر توجه شود:

- خط با ولتاژ بالاتر در ارتفاع بالاتری نصب می شود تا خطای احتمالی در سطح ولتاژ کمتر باعث بی برقی ولتاژ بالا نشود. البته با این کار در صورت پاره شدن سیم و سقوط هادی برق دار در خط با ولتاژ پایین ممکن است منجر به بروز آسیب به تجهیزات خط و پست شود. بنابراین از تلاقی پایه های دو سطح ولتاژ بایستی تا حد امکان اجتناب شود.
- به منظور کاهش ارتفاع، می توان سیم شیلد پایه پایینی را در اسپن محل تقاطع باز کرد و در صورت استفاده از کابل OPGW آن را روی پایه جداگانه ای با ارتفاع کم عبور داد.
- می توان در پایه پایینی به طول یک اسپن از کابل فشار قوی استفاده نمود. البته این روش به دلیل مشکلات اجرایی و هزینه زیاد در کشور چندان مورد توجه نمی باشد.

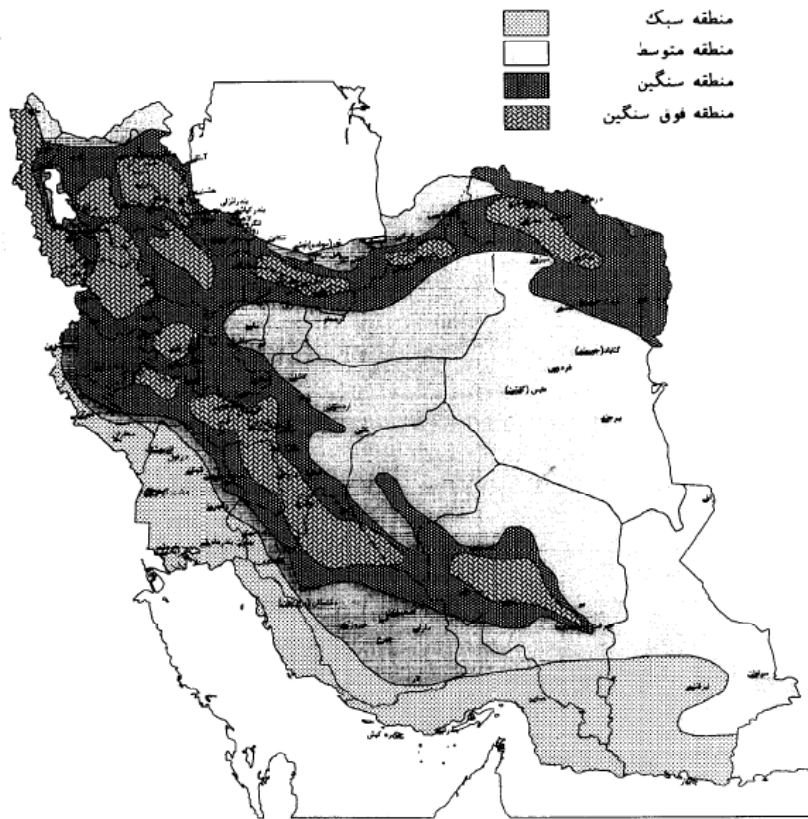
مسیر یابی

پیشنهاد چندین گزینه برای مسیر خط انتقال

انتخاب مسیر نهایی با همکاری کارفرما و شروع عملیات نقشه برداری و تهیه نقشه های پلان و پروفیل بر مبنای مسیر نهایی

محاسبه نیروهای مکانیکی وارد بر هادی

نقشه پهنه بندی مناطق چهارگانه
آب و هوایی کشور



مقدار ثابت kg/m	باد m/(kg/m³)	بخ ضخامت شعاعی mm	درجه حرارت	نوع بارگذاری		نوع منطقه
				استاندارد	حدی	
-	۲۸(۵۰)	-	۱۵	باد متوسط	بارگذاری متعادل	سبک (۱)
۰٫۰۷	۲۶٫۵(۴۴)	-	-۱	NESC-LIGHT		
-	۴۵(۱۲۶)	-	۰	باد شدید		
-	۲۲(۳۰)	۶	-۵	بخ و باد		
-	۴۵(۱۲۶)	-	-	بار طولی نامتعادل - بارگی سیم در باد شدید	بارگذاری	غیر متعادل
-	۲۲(۳۰)	۶ - ۰	-۵	بار طولی متعادل: - بخ و باد در یکطرف اسپان - باد بدون بخ در طرف دیگر	غیر متعادل	
-	-	-	۲۵	شرایط EDS		
-	-	-	-۵	حداقل درجه حرارت		
-	-	-	۵۰-۵۵*	حداکثر درجه حرارت		
-	۲۵(۴۰)	۷	-۱۰	بخ و باد متوسط	بارگذاری متعادل	متوسط (۲)
۰٫۲۵	۱۷٫۸(۲۰)	۶٫۵	-۱۰	NESC-MEDIUM		
-	۴۰(۱۰۰)	-	۱۵	باد شدید		
-	-	۱۵	-۵	بخ سنگین		
-	-	۱۵	-۵	بار طولی نامتعادل - بارگی سیم در بخ سنگین	بارگذاری	غیر متعادل
-	۲۵(۴۰)	۷ - ۰	-۱۰	بار طولی متعادل: - بخ و باد در یکطرف اسپان - باد بدون بخ در طرف دیگر	غیر متعادل	
-	-	-	۲۰	شرایط EDS		
-	-	-	-۲۰	حداقل درجه حرارت		
-	-	-	۴۵-۵۰	حداکثر درجه حرارت		

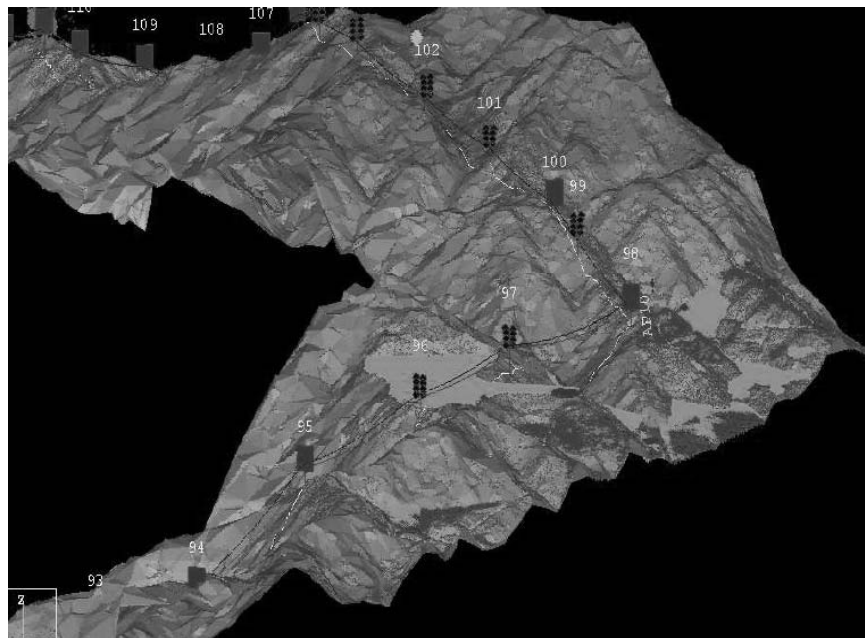
* دمای ۵۵ درجه سانتیگراد برای جزایر جنوبی و حاشیه خلیج فارس و جنوب استان خوزستان در نظر گرفته می شود.

مقدار ثابت kg/m	باد m/(kg/m ³)	بُخ (شعاع شعاعی) mm	درجه حرارت	نوع بارگذاری			نوع منطقه
				استاندارد	بارگذاری	متعادل	
-	۲۰(۲۵)	۱۵	-۲۰	باد متوسط	استاندارد	بارگذاری	سنگین (۳)
۰٫۴۵	۱۷٫۸(۲۰)	۱۲٫۵	-۲۰	NESC-HEAVY			
-	۴۰(۱۰۰)	-	۱۵	باد شدید	حدی	متعادل	
-	-	۲۰-۲۵*	-۵	بُخ و باد			
-	-	۲۰-۲۵*	-۵	بار طولی نامتعادل-بارگی سیم در باد شدید	بارگذاری	بارگذاری	
-	۲۰ (۲۵)	۱۵-۰	-۲۰	بار طولی متعادل: - بُخ و باد در یکطرف اسپان - باد بدون بُخ در طرف دیگر	بارگذاری	غیر متعادل	
-	-	-	۱۸	شرایط EDS			
-	-	-	-۲۵	حداقل درجه حرارت			
-	-	-	۳۵-۴۰	حداکثر درجه حرارت			
-	۲۰(۲۵)	۲۰	-۲۰	بُخ و باد متوسط	استاندارد	بارگذاری	
-	-	-	-	-			
-	۴۰(۱۰۰)	-	۱۵	باد شدید	حدی	بارگذاری	
-	-	۳۰-۵۰**	-۵	بُخ سنگین			
-	-	۳۰-۵۰**	-۵	بار طولی نامتعادل-بارگی سیم در بُخ سنگین	بارگذاری	بارگذاری	
-	۲۰(۲۵)	۲۰-۰	-۲۰	بار طولی متعادل: - بُخ و باد در یکطرف اسپان - باد بدون بُخ در طرف دیگر	بارگذاری	غیر متعادل	
-	-	-	۱۵	شرایط EDS			
-	-	-	-۳۰	حداقل درجه حرارت			
-	-	-	۳۰	حداکثر درجه حرارت			

* ارتفاع از سطح دریا ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر ۲۰ mm
 ** ارتفاع از سطح دریا ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر ۳۰ mm
 * ارتفاع از سطح دریا ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر ۲۵ mm
 * ارتفاع از سطح دریا ۴۰۰۰-۳۵۰۰ متر ۴۰ mm
 * ارتفاع از سطح دریا ۴۵۰۰-۴۰۰۰ متر ۵۰ mm

الگوریتم روش سنتی برج گذاری

طراحی مکانیکی خط انتقال



Spotting: تعیین محل، نوع و ارتفاع هر برج بر روی نقشه پروفیل به نحوی که محدودیتهای الکتریکی و مکانیکی رعایت شده و تا حد امکان اقتصادی باشد.

طراحی مکانیکی خط انتقال

۱. محاسبه نیروی کل وارد بر هادی (W_T) در رژیمهای آب و هوایی مختلف
۲. محاسبه اسپن طراحی بهینه (اسپن اقتصادی) در محدوده اسپن مجاز الکتریکی و مکانیکی بدون در نظر گرفتن عوارض طبیعی یا مصنوعی زمین
۳. در نظر گرفتن کشش اولیه هادی در یکی از رژیمهای آب و هوایی (معمولا فرض کشش هادی معادل $0.2UTS$ در رژیم استقرار)
۴. محاسبه کشش سیم در سایر رژیمهای آب و هوایی مورد نظر بر اساس فرض اولیه بند ۳ با کمک معادله تغییر وضعیت برای تعیین رژیم بحرانی
۵. اگر نسبت کشش محاسبه شده در رژیمهای مختلف به UTS کمتر از ضریب اطمینان مورد نظر است به مرحله ۷ بروید، در غیر اینصورت مرحله ۶ انجام شود.

طراحی مکانیکی خط انتقال

۶. فرض اولیه کشش هادی، به ازاء رژیم بحرانی (رژیمی که در آن حداکثر انحراف از ضریب اطمینان مجاز ایجاد شده است) تغییر داده شود.

۷. رسم templet (شابلون) شامل منحنیهای گرم، سرد و فاصله مجاز سیم از زمین بر روی یک صفحه شفاف (رسم معادله سیم به ازاء پارامترهای سیم (a) مختلف) با مقیاس عمودی ۱:۵۰۰ و مقیاس افقی ۱:۲۰۰۰

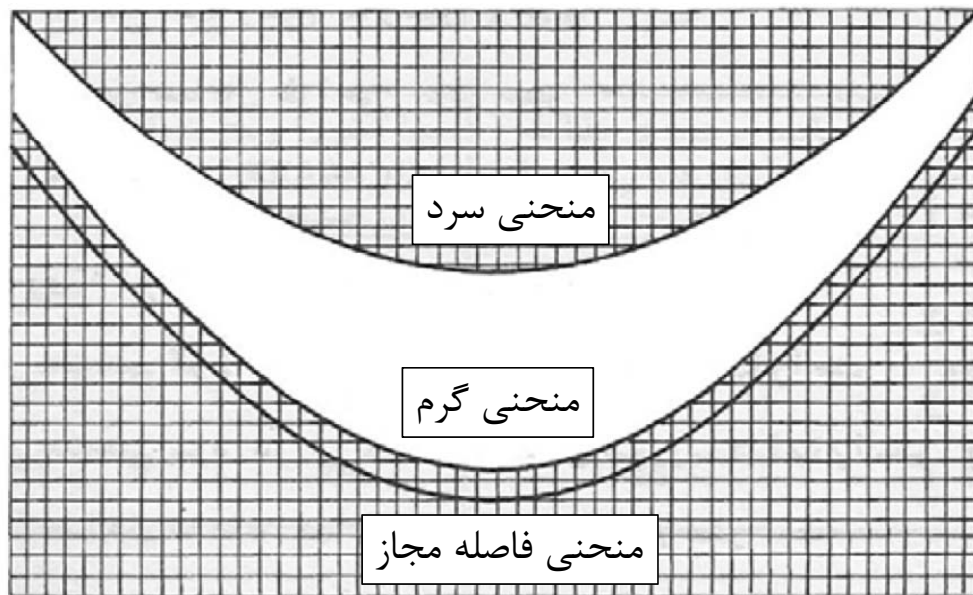
۱-۷. محاسبه کشش سیم در رژیم تابستان (به ازاء حداکثر دمای هادی محاسبه شده از معادله تعادل حرارتی و با در نظر گرفتن اثر پیری سیم - پدیده خزش - بدون باد و با در نظر گرفتن ضریب الاستیسیته نهایی هادی) و رسم Hot Curve یا منحنی گرم

۲-۷. رسم منحنی های Clearance یا منحنیهای فاصله مجاز سیم از زمین بر مبنای پارامتر سیم محاسبه شده از بند ۱-۷ و با رعایت فاصله از منحنی گرم

۳-۷. محاسبه کشش سیم در رژیم حداقل دما (در حداقل دمای محیط، بدون در نظر گرفتن باد و یخ و با استفاده از ضریب الاستیسیته اولیه هادی) و رسم Cold Curve یا منحنی سرد

طراحی مکانیکی خط انتقال

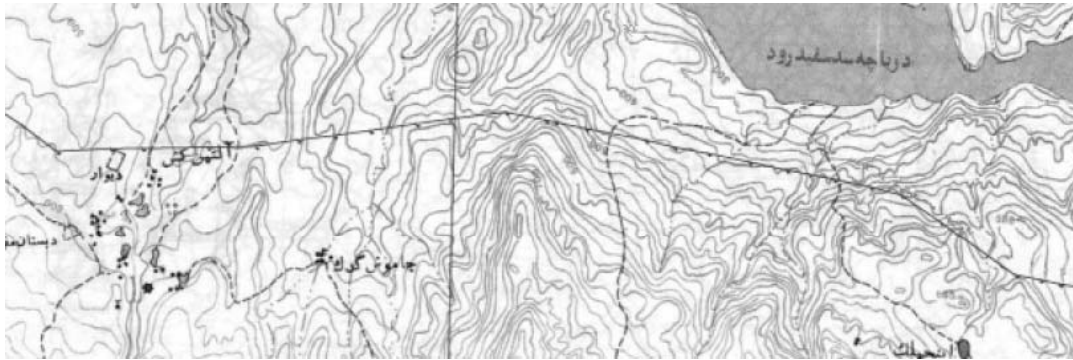
رسم تمپلت با مقیاسهای افقی و عمودی مشابه نقشه های پلان-پروفیل



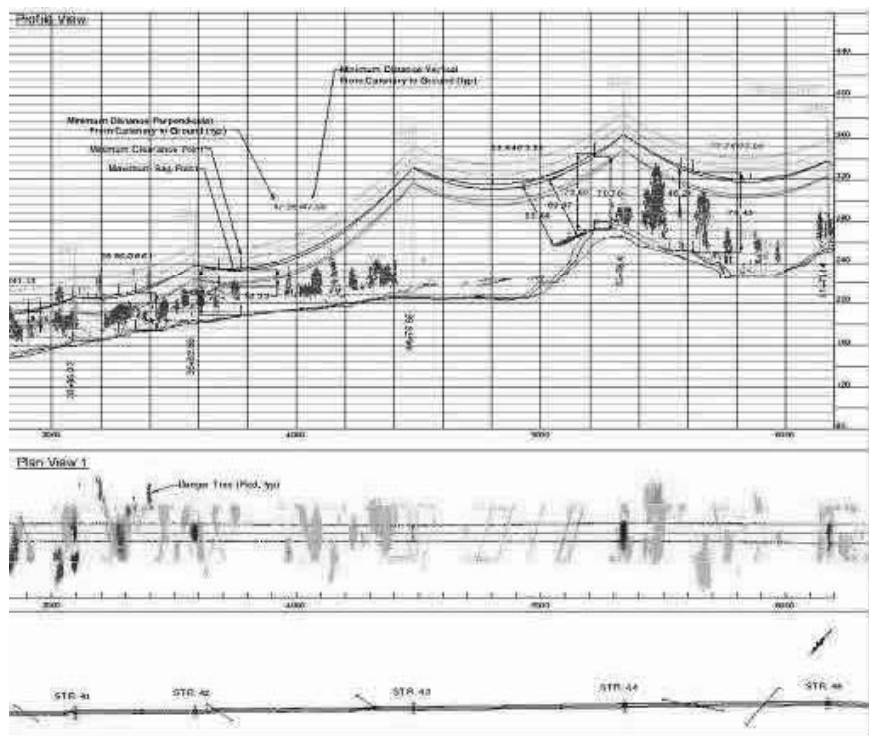
طراحی مکانیکی خط انتقال

۸. انجام برج گذاری (پایه گذاری-Spotting) بر روی نقشه پلان-پروفیل به نحوی که برجگذاری با استفاده از templet بر روی نقشه profile انجام شده و عدم تلاقی با برخی عوارض و مناسب بودن محل پایه، بر روی نقشه plan نیز چک می شود.

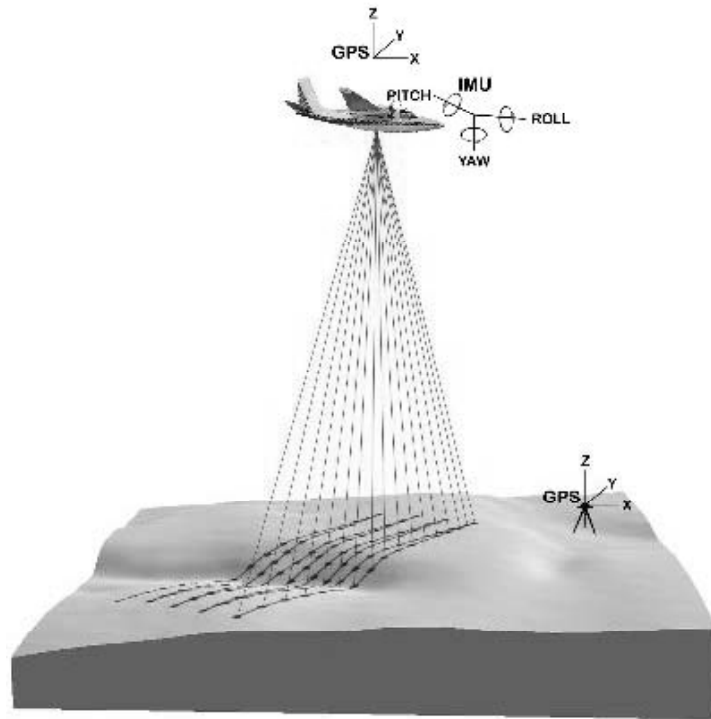
۸-۱. پس از انجام مسیریابی و نهایی شدن مسیر عبور خط انتقال، نقشه های پروفیل (دید از روبروی مسیر خط انتقال که نشان دهنده عوارض زمین است) و پلان (دید از بالای خط انتقال که نشان دهنده وضعیت زمین و عوارض جانبی است و معمولا به عرض ۳۰ تا ۵۰ متر - حداقل به میزان حریم خط انتقال - از دو طرف مسیر خط انتقال انجام می شود) تهیه می شود.



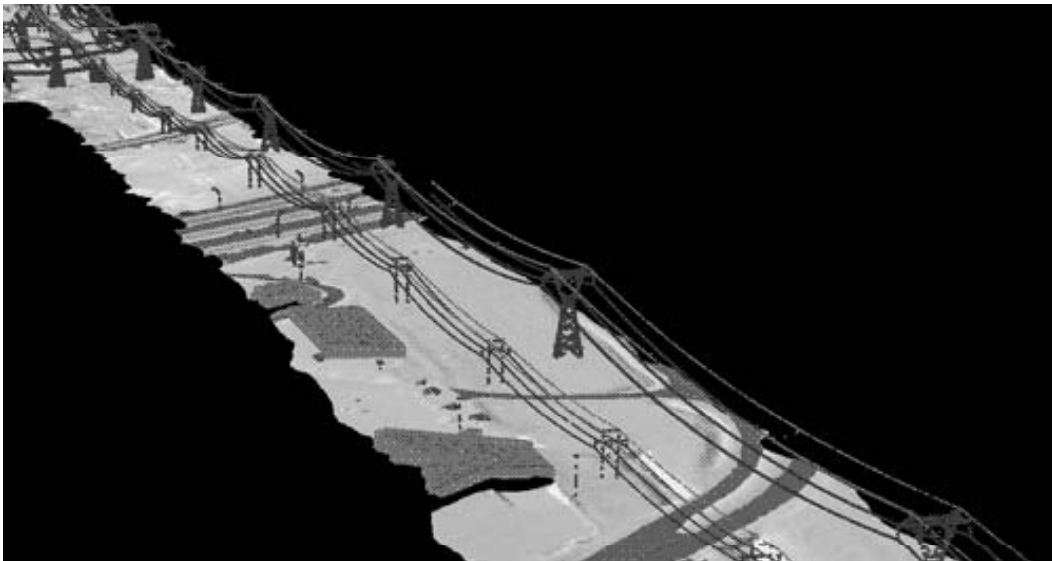
Conventional Plan-Profile Map



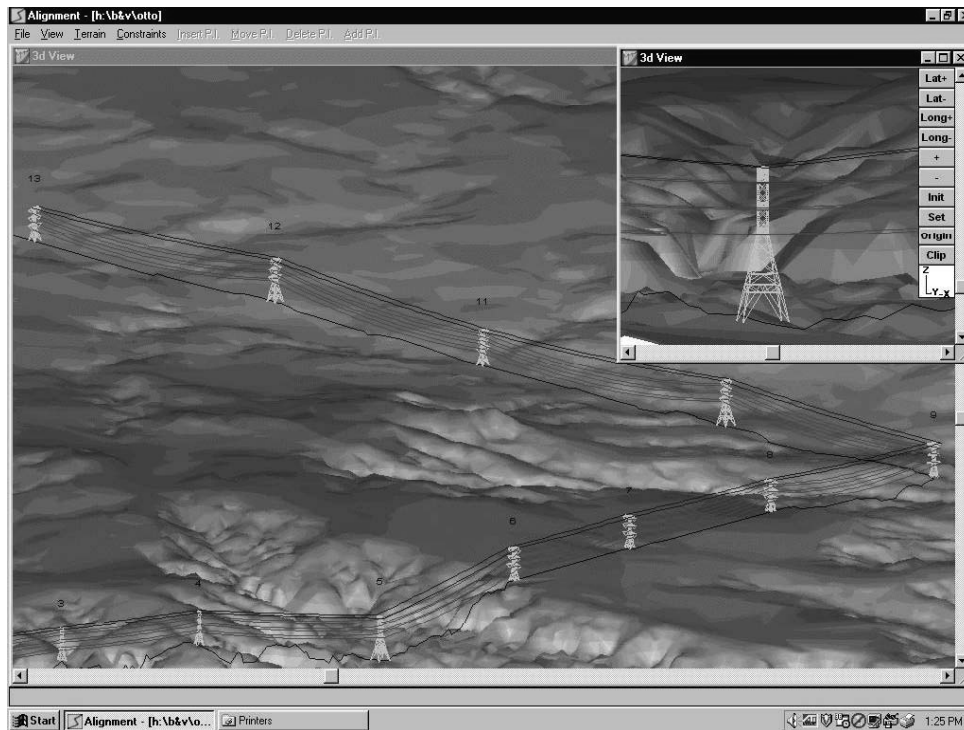
Transmission Line LiDAR Surveys



Transmission Line LiDAR Surveys

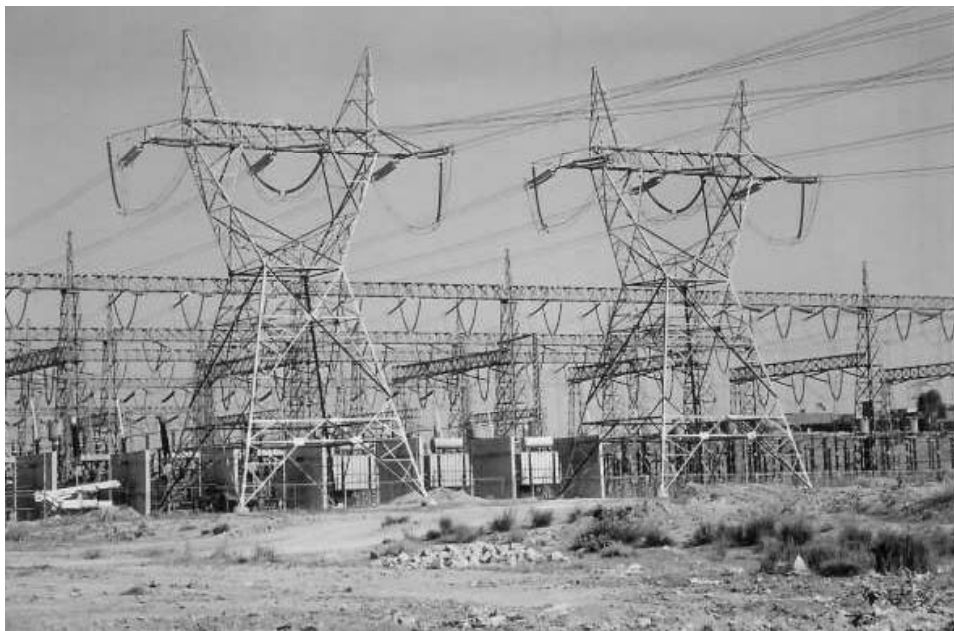


Digitized Transmission Line Routing



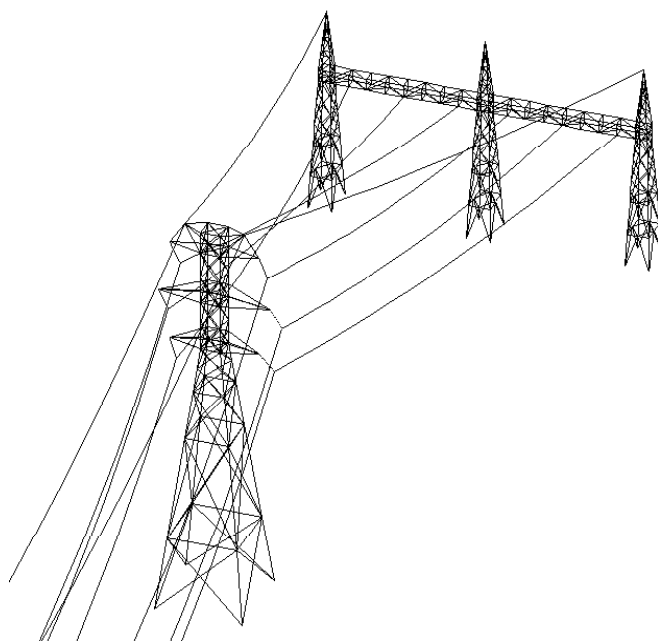
طراحی مکانیکی خط انتقال

اتصال برج انتهایی به گنتری پست



طراحی مکانیکی خط انتقال

اتصال برج انتهایی به گنتری پست



طراحی مکانیکی خط انتقال

نکات برج گذاری

۸-۱. اولین پایه منتهی به پست به terminal tower (برج انتهایی) معروف است که برج گذاری از آن شروع می شود.

- برای جلوگیری از انتقال نوسانات خط به گنتری پست که معمولا سازه ضعیفتری از برج است، حتما بایستی از برج کششی استفاده شود.

- به دلیل تحمل کمتر نیروهای مکانیکی توسط گنتری، بایستی فاصله بین برج انتهایی و گنتری محدود باشد و در غیر اینصورت نیاز به طراحی گنتری مقاوم تری می باشد. معمولا فاصله حدود ۳۰ تا ۷۰ متر مناسب می باشد.

- به دلیل کاهش هزینه برج انتهایی و همچنین کاهش نیروی بالارونده وارد بر گنتری، سعی می شود با در نظر گرفتن سایر محدودیتهای طراحی مکانیکی، تا حد امکان ارتفاع برج انتهایی کم باشد.

- با توجه به زاویه خط، نوع برج انتهایی انتخاب می شود. بدیهی است که این برج بایستی توانایی تحمل کشش سیم از یک طرف را دارا باشد.

طراحی مکانیکی خط انتقال

نکات برج گذاری

۸-۲. برای تعیین محل برج بعدی، تمپلت را بصورت موازی با نقشه پلان-پروفیل قرار داده و پس از مماس کردن منحنی clearance با عوارض زمین، ارتفاع برج بعدی با استفاده از منحنی گرم به نحوی تعیین می شود که فاصله تا برج قبلی نزدیک به اسپن طراحی باشد.

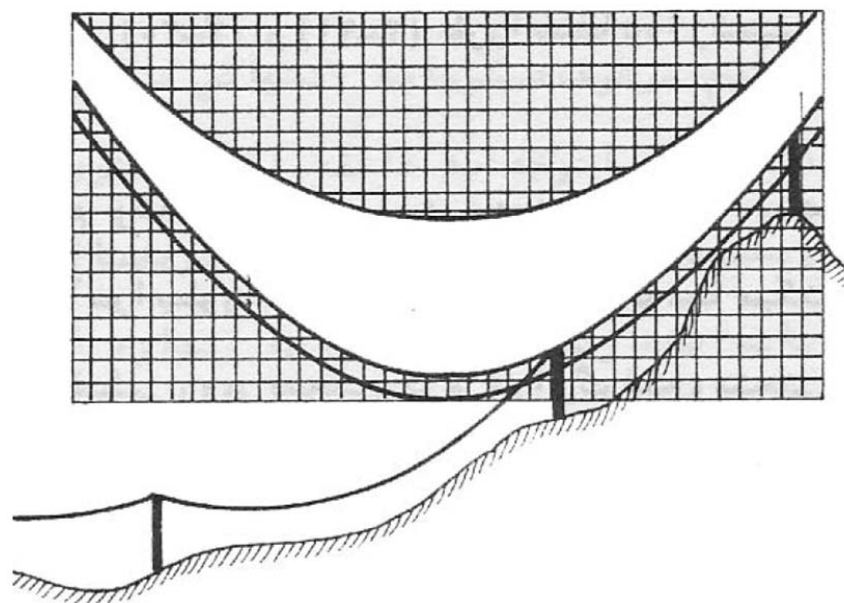
ضمنا بایستی فاصله ایمنی از عوارض طبیعی (نظیر پستی و بلندی زمین، رودخانه ای که در آن عایق تردد می کند) یا مصنوعی (نظیر جاده با نوع تردهای مختلف) رعایت شود. برای این منظور از منحنی های Clearance مختلف استفاده می شود.

در صورت وجود مانع بایستی :

- محل پایه عوض شود.
- ارتفاع پایه (ها) تغییر نماید (معمولا افزایش زیاد ارتفاع پایه ها، غیر اقتصادی است)
- مانع مربوطه از بین برود.
- مسیر خط انتقال عوض شود.

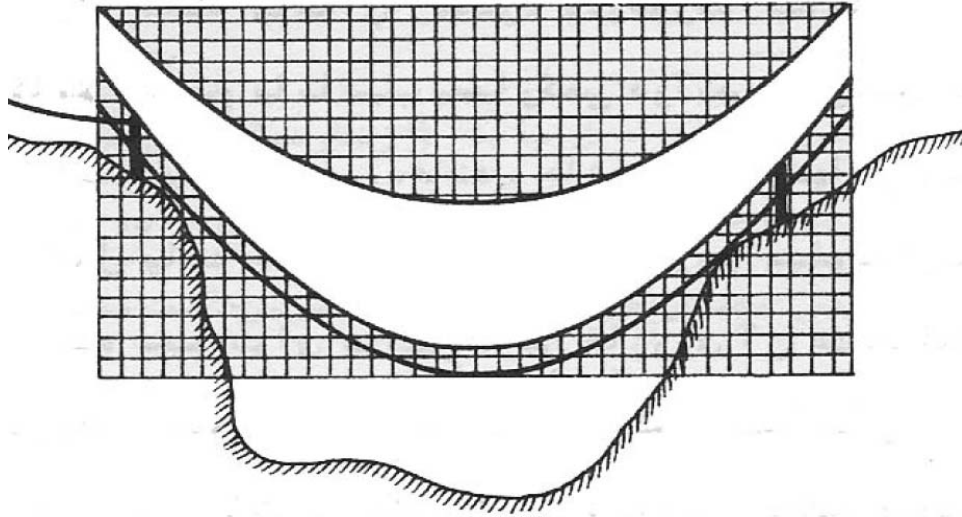
طراحی مکانیکی خط انتقال

استفاده از تمپلت برای تعیین محل و ارتفاع برج



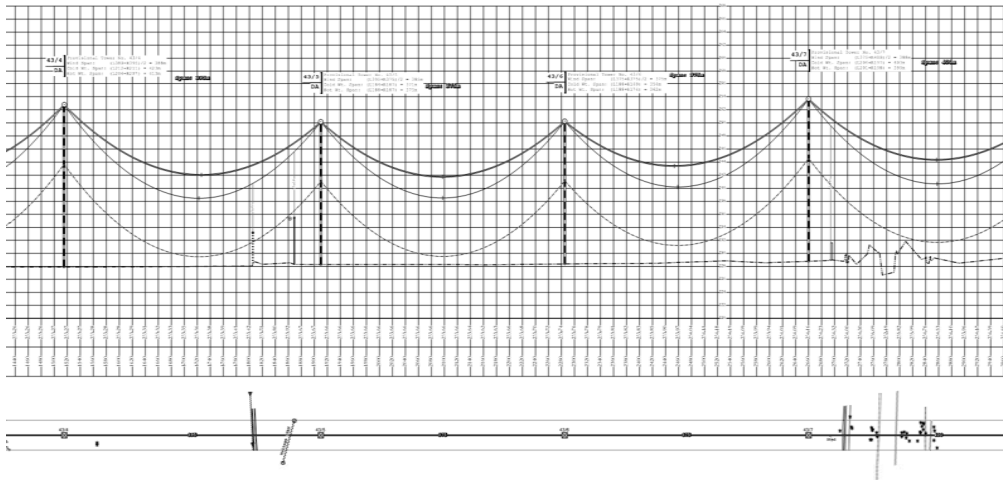
طراحی مکانیکی خط انتقال

استفاده از تمپلت برای تعیین محل و ارتفاع برج



طراحی مکانیکی خط انتقال

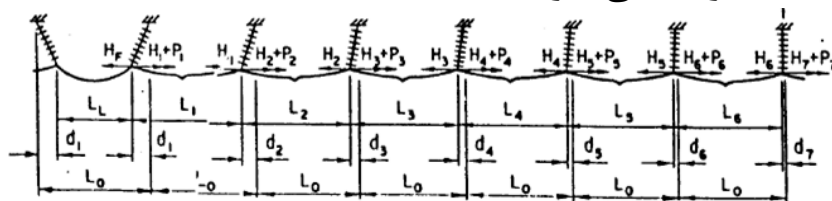
استفاده از تمپلت برای تعیین محل و ارتفاع برج



طراحی مکانیکی خط انتقال

نکات برج گذاری

- ۳-۸. سعی شود که کلیه اسپنرها برابر اسپن اقتصادی انتخاب شود. ضمناً برای جلوگیری از انحراف شدید مقره ناشی از نیروی باد و به ویژه یخ و یا در صورت وجود اختلاف ارتفاع شدید بین برجهای مجاور، بایستی شرایط زیر برقرار باشد.
- طول هر اسپن از ۰.۴ برابر اسپن طراحی کمتر نباشد.
 - طول هر اسپن از ۱.۵ برابر اسپن طراحی بیشتر نباشد.
 - نسبت دو اسپن مجاور بیشتر از ۲.۵ نباشد.
- در غیر اینصورت به دلیل اختلاف زیاد اسپنرها، کشش وارد بر سیم ممکن است در اسپنهای مختلف، کمی با اهم اختلاف داشته باشد که باعث انحراف زنجیر مقره آوزیری از حالت عمودی می شود.



طراحی مکانیکی خط انتقال

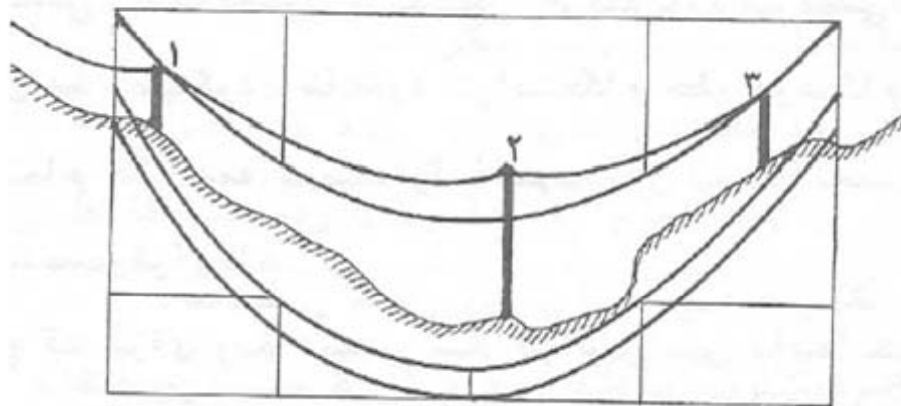
نکات برج گذاری

- ۴-۸. در برج گذاری بایستی به محل تقاطع با سایر خطوط برق بر اساس منحنی Clearance توجه شود.
- ۵-۸. به مقاومت مکانیکی در محل برج (مثلاً بستر رودخانه، مرداب و زمینهای با مقاومت کم معمولاً مناسب نیست) توجه شود. به عبارت دیگر کفایت محل برج با توجه به نقشه پلان بررسی شود.
- ۶-۸. لزوم رعایت حداکثر اسپن الکتریکی با توجه به نوسانات هادی و شکل برج (فواصل هادیها در برج)
- ۷-۸. محل برجهای زاویه ثابت است و فقط بایستی ارتفاع آنها مشخص شود.
- ۸-۸. به دلیل وزن و هزینه زیاد برجهای کششی، سعی شود که این برجها با ارتفاع کم در نظر گرفته شوند.

طراحی مکانیکی خط انتقال

نکات برج گذاری

۸-۹. دقت شود که برجهای عبوری که نسبت به یکی و به ویژه هر دو برج مجاور، در ارتفاع کمتری قرار دارند، Up-lift نشوند (نیروی بالا برنده به مقرر وارد نشود)

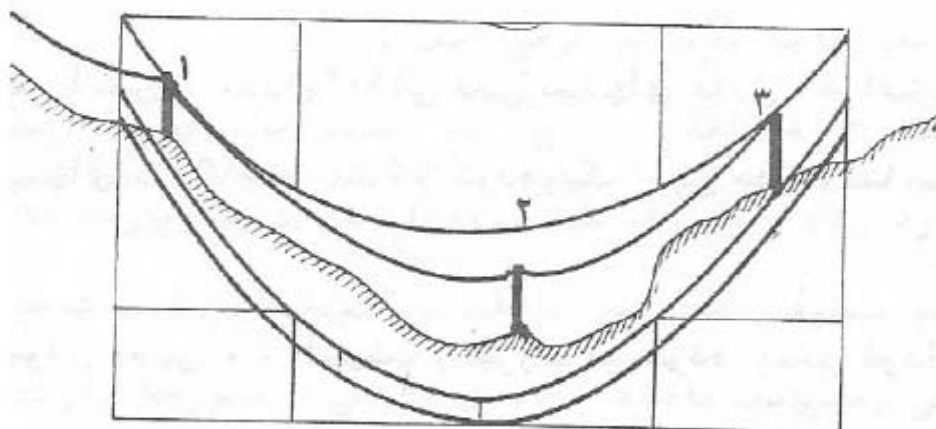


کنترل up-lift نشدن برج با استفاده از منحنی سرد
(برج up-lift نیست)

طراحی مکانیکی خط انتقال

نکات برج گذاری

۸-۹. دقت شود که برجهای عبوری که نسبت به یکی و به ویژه هر دو برج مجاور، در ارتفاع کمتری قرار دارند، Up-lift نشوند (نیروی بالا برنده به مقرر وارد نشود)



کنترل up-lift نشدن برج با استفاده از منحنی سرد
(برج up-lift است)

طراحی مکانیکی خط انتقال

نکات برج گذاری

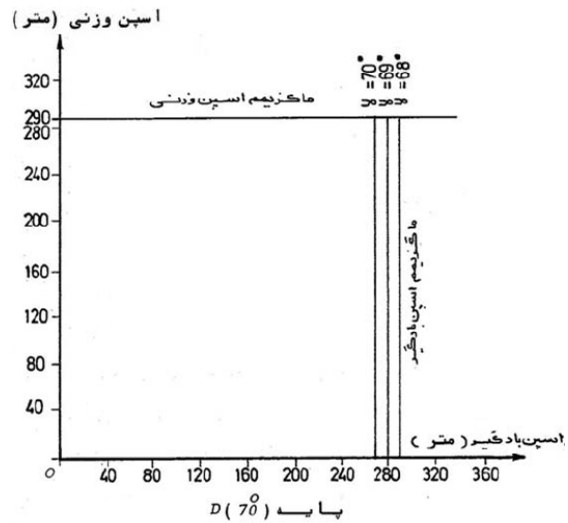
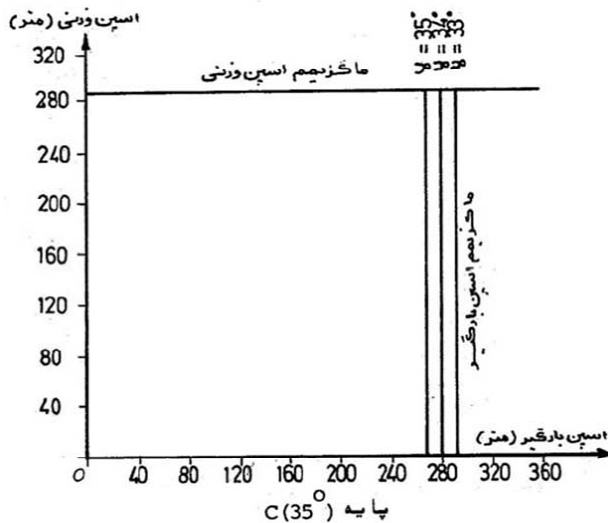
۸-۱۰. پس از تعیین محل و ارتفاع هر برج، اسپن افقی و عمودی برج قبلی تعیین می شود و بر اساس آن با توجه به منحنی کاربردی برج، اطمینان از رعایت قیود زیر اطمینان حاصل می شود.

- نیروهای وارد بر برج در راستای Vertical, Longitudinal و Transversal
- عدم انحراف مقرر بیش از زاویه مجاز

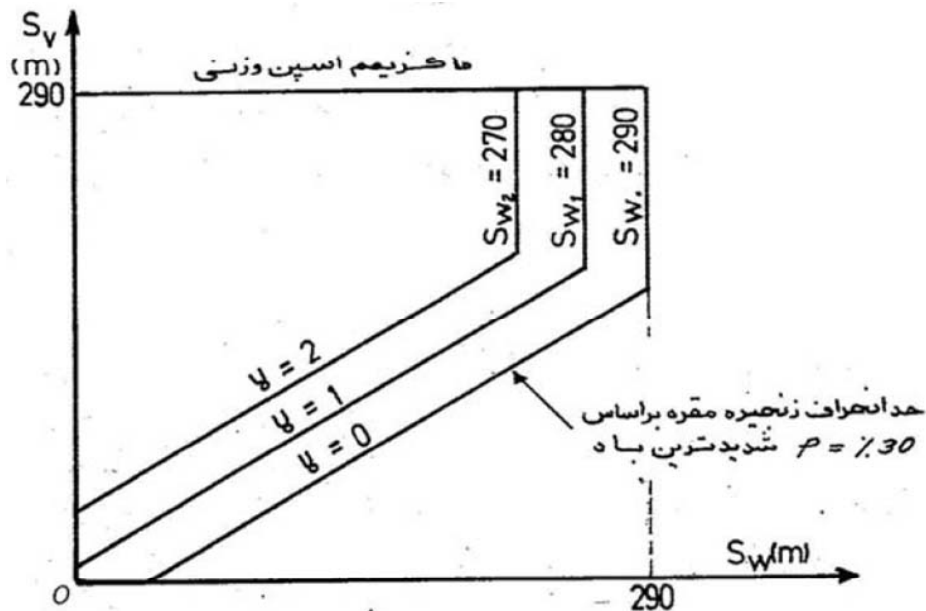
۸-۱۱. برج گذاری تا جایی ادامه دارد که طول section به حد مورد نظر برسد و یا اینکه به ناچار از برج زاویه با مقرر کششی استفاده شده باشد.

- لزوم تعیین طول مناسب section با توجه به نیروهای وارد بر هادی و بر اساس محدودیتهای مکانیکی سیم کشی و نیز زمان مورد نیاز برای تعمیر خط انتقال

منحنی کاربردی برج کششی



منحنی کاربردی برج عبوری



طراحی مکانیکی خط انتقال نکات برج گذاری

۸-۱۲. در صورتیکه section به برج زاویه منتهی شود ممکن است آخرین اسپن خیلی کم یا زیاد باشد. در اینصورت می توان با هدف کاهش هزینه خط اقدامات زیر را انجام داد و هر کدام که اقتصادی تر باشد را انتخاب کرد.

- اسپن طراحی را بیشتر یا کمتر انتخاب کرد تا آخرین برج عبوری حذف شود و یا پس از ارتفاع یک یا چند برج، برج انتهایی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

- از برج کششی در انتهای section و به سمت ابتدای مسیر، شروع به برج گذاری شود و در اینصورت طراحی دیگری حاصل می شود که بایستی با حالت‌های قبلی مقایسه شود.

۸-۱۳. پس از اتمام برج گذاری، اسپن معادل با توجه به طول واقعی اسپن‌ها محاسبه می شود و مجدداً templet با l_r جدید محاسبه می گردد. سپس ارتفاع پایه های موجود در section بر اساس منحنی گرم جدید کنترل شده و در صورت نیاز اصلاح می شود. ضمناً در صورت نیاز، عدم وجود برج up-lift نیز بر اساس منحنی سرد جدید، مورد بررسی قرار می گیرد.

استفاده از برج زاویه به عنوان برج کششی



طراحی مکانیکی خط انتقال نکات برج گذاری

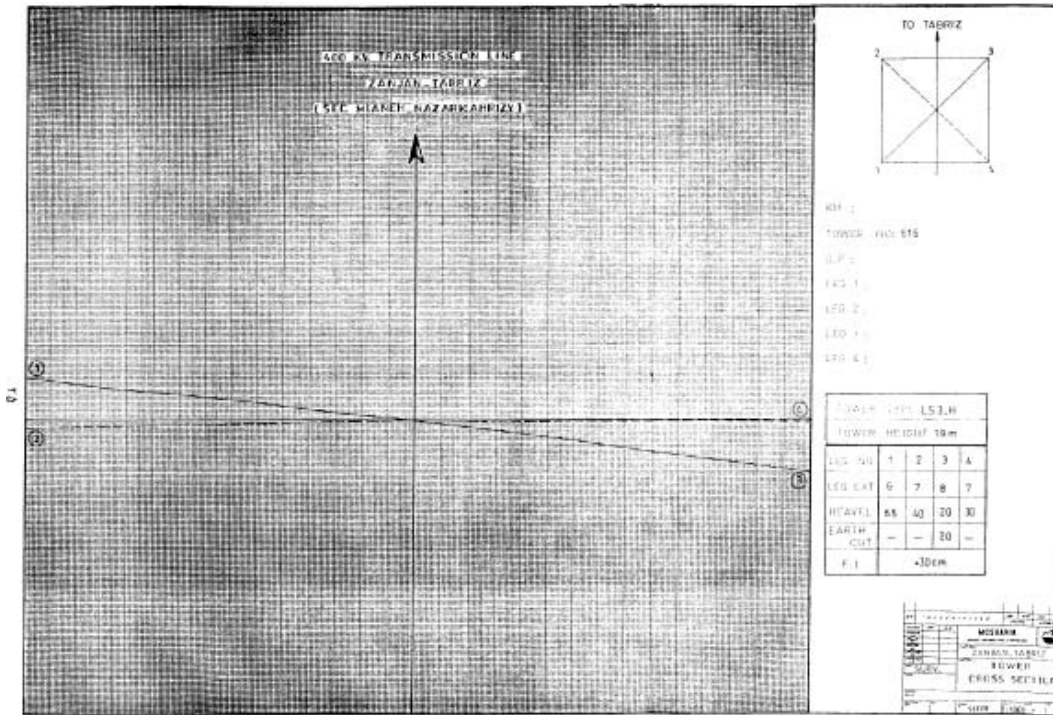
۸-۱۴. در مناطق کوهستانی برای کاهش هزینه، نقاط با ارتفاع بیشتر به عنوان محل برج انتخاب شود و ترجیحا نقاطی باشد که اختلاف leg (اختلاف ارتفاع محل نصب پایه ها) کم باشد.

۸-۱۵. در رسم محل پایه و ارتفاع برج دقت شود، زیرا یک میلی متر خطا معادل دو متر خطا در محل پایه و نیم متر خطا در ارتفاع برج است.

۸-۱۶. پس از اتمام spotting از محل نصب هر برج یک پروفیل طولی تهیه می شود تا اختلاف ارتفاع پایه ها مشخص شود. در صورت اختلاف ارتفاع زیاد می توان زمین را مسطح کرد، یا محل برج را تغییر داد و گاهی نیاز به افزایش ارتفاع برج است.

طراحی مکانیکی خط انتقال

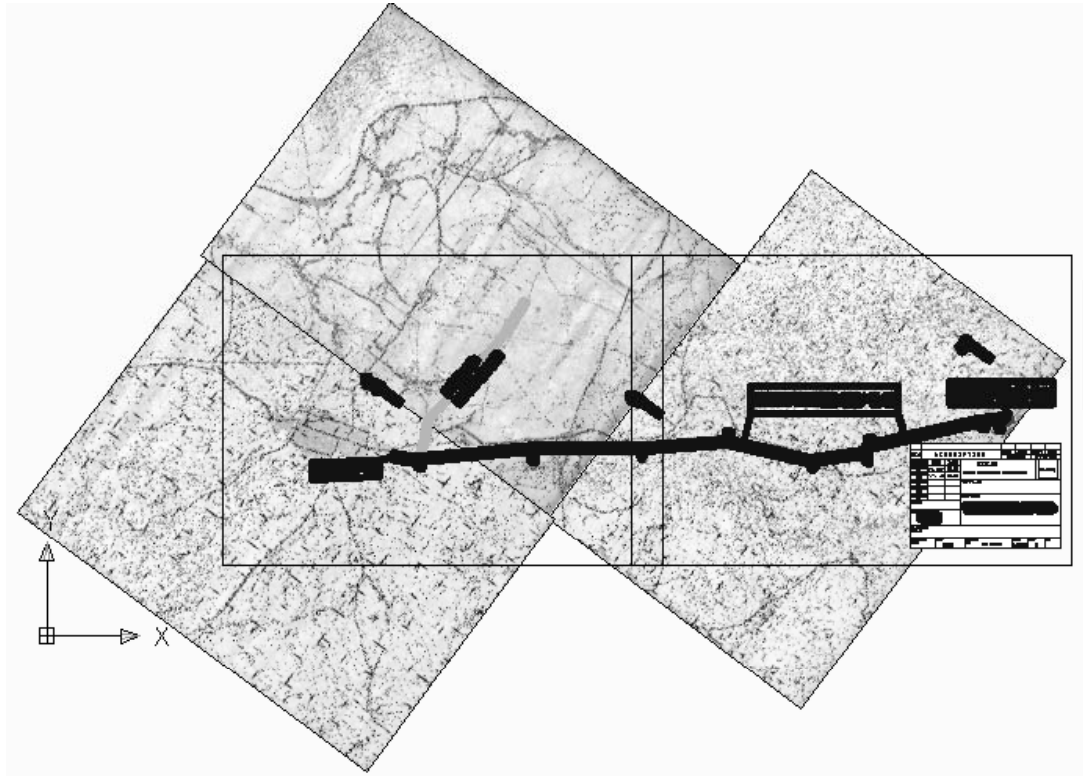
پروفیل قطری



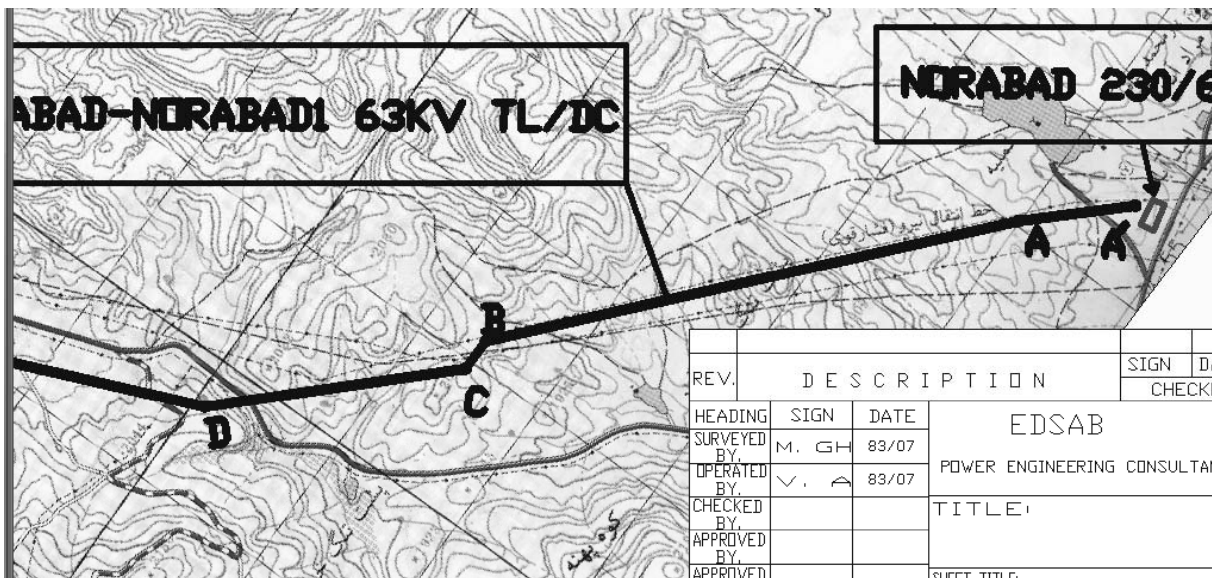
مثالی از برج گذاری در

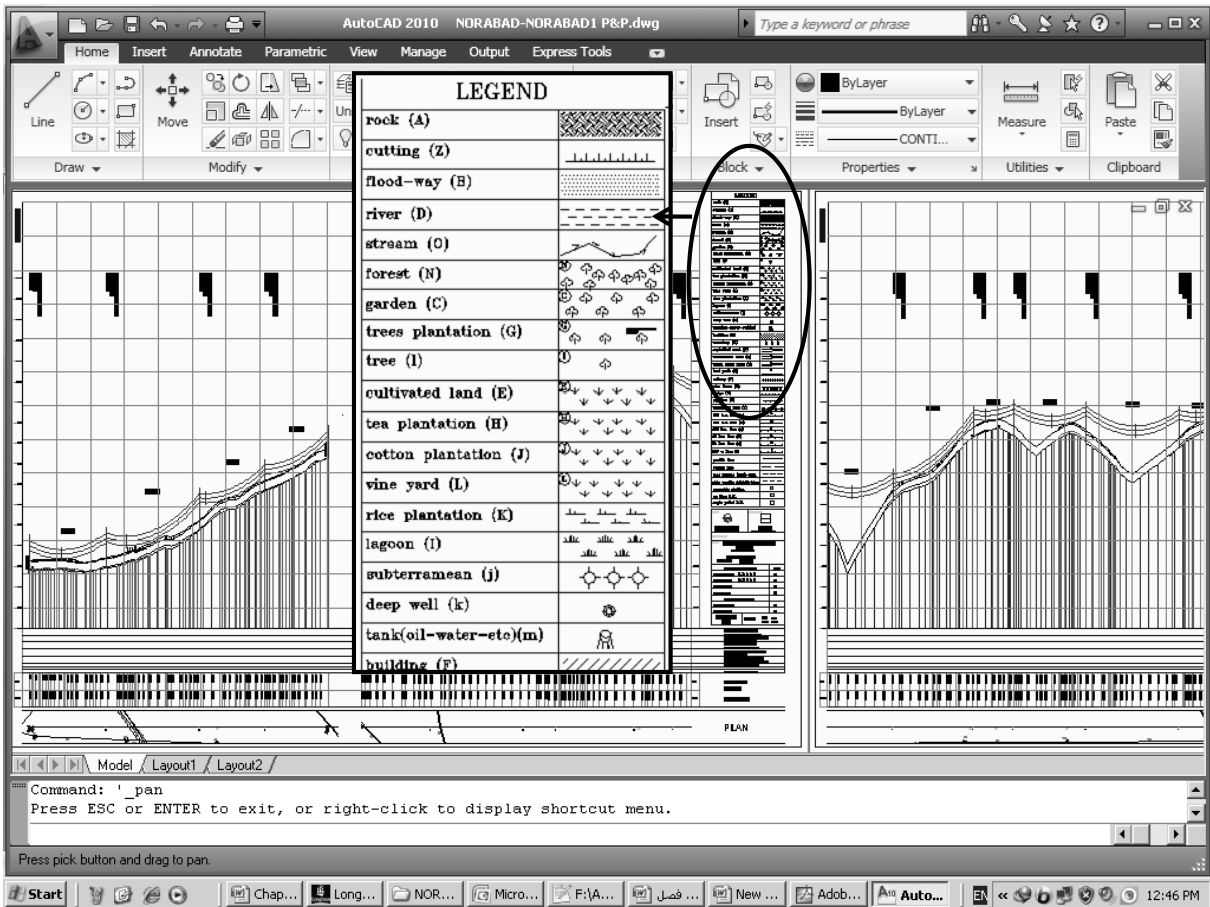
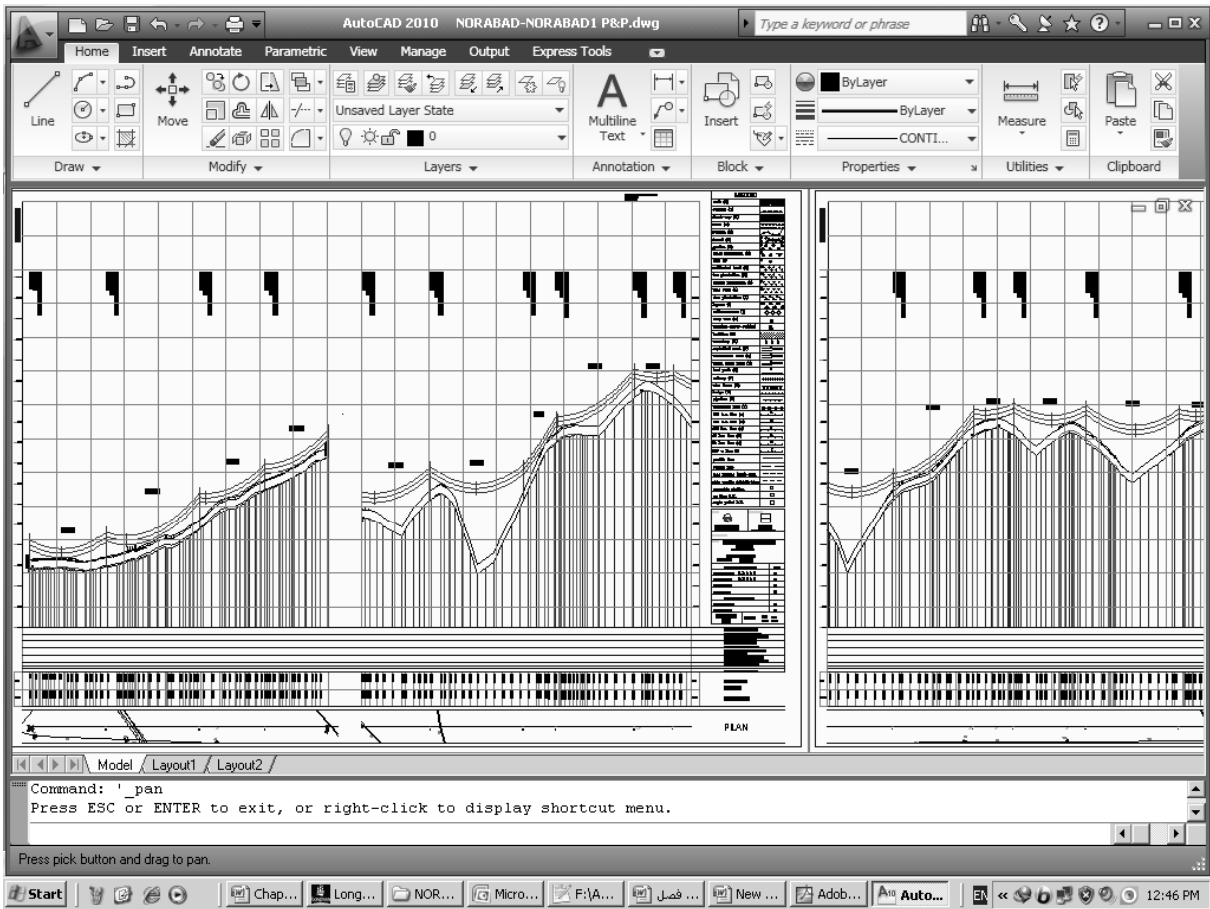
یک خط ۶۳ کیلوولت

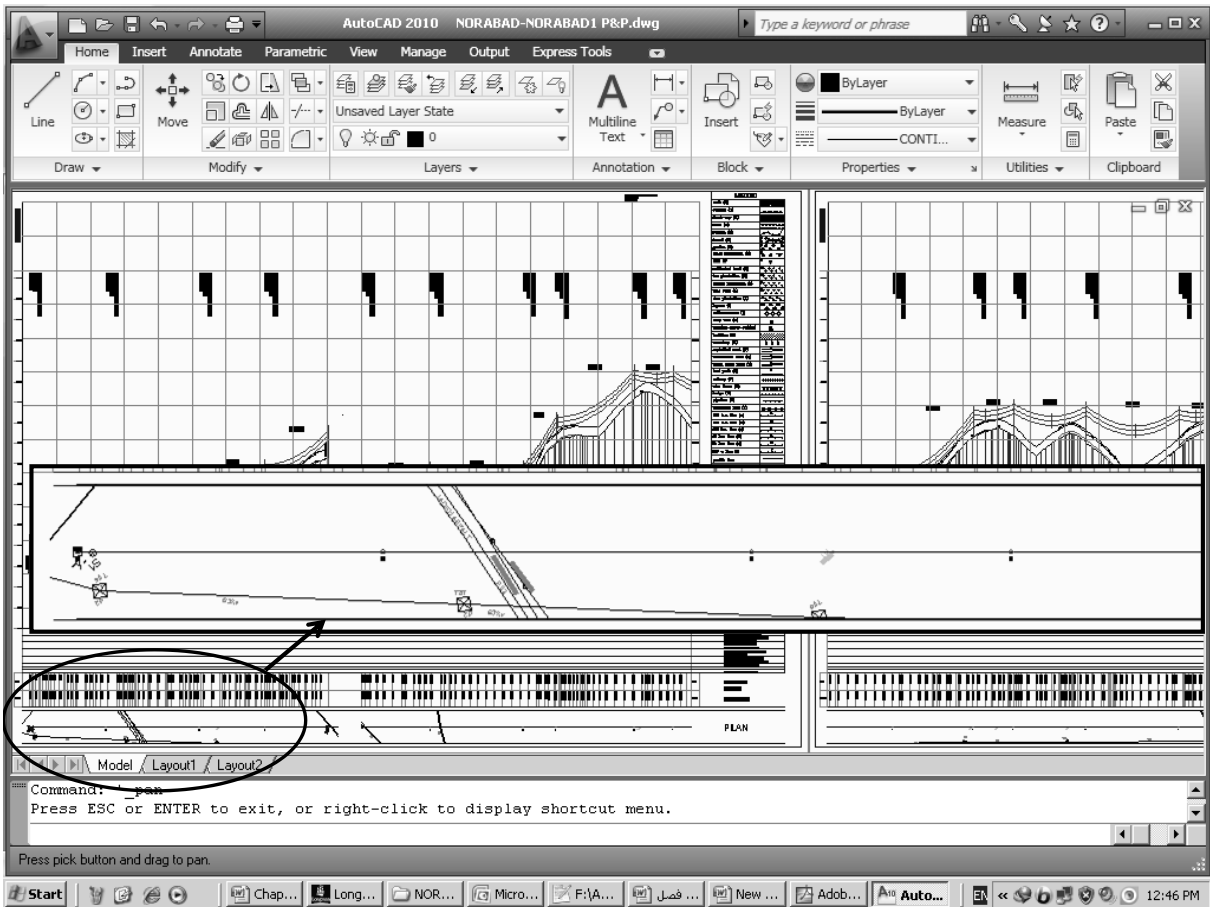
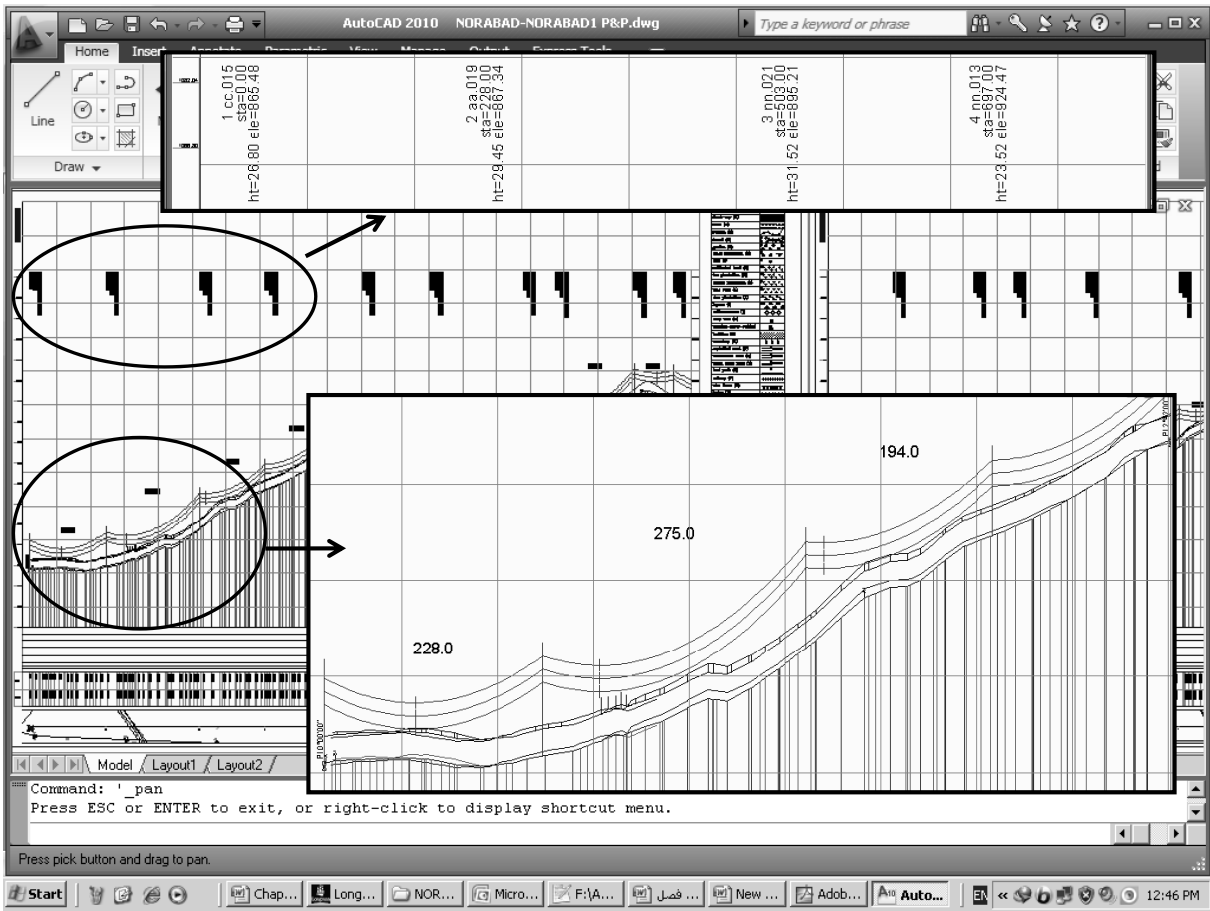
رسم مسیر نهایی در نقشه با مقیاس 1:50000

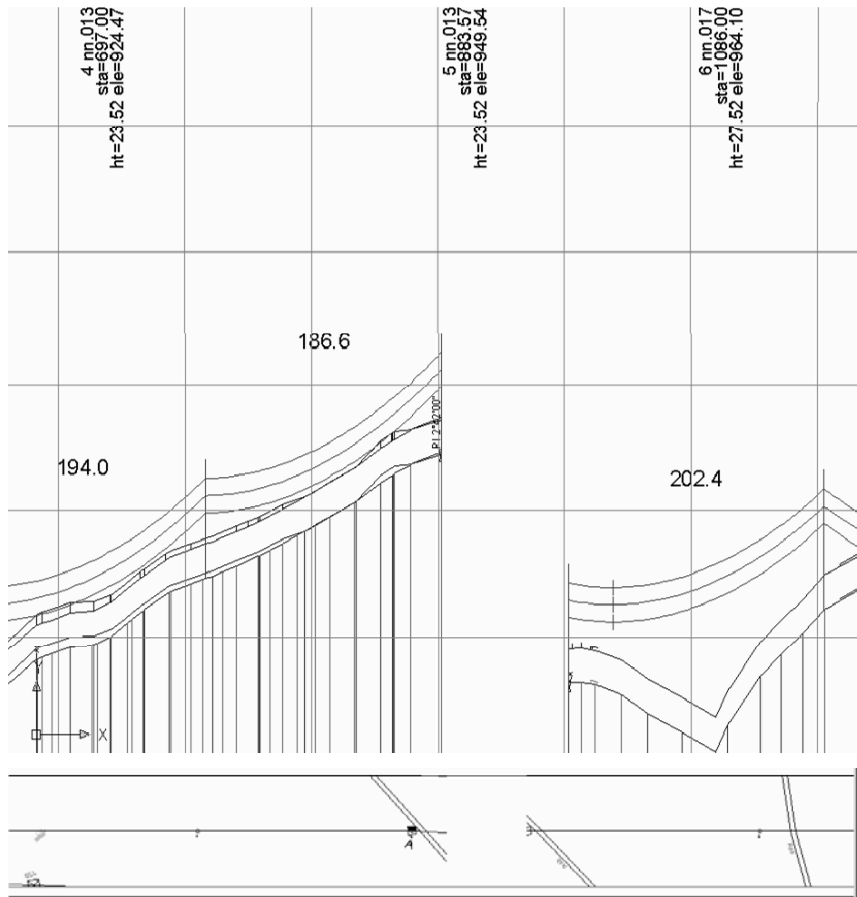
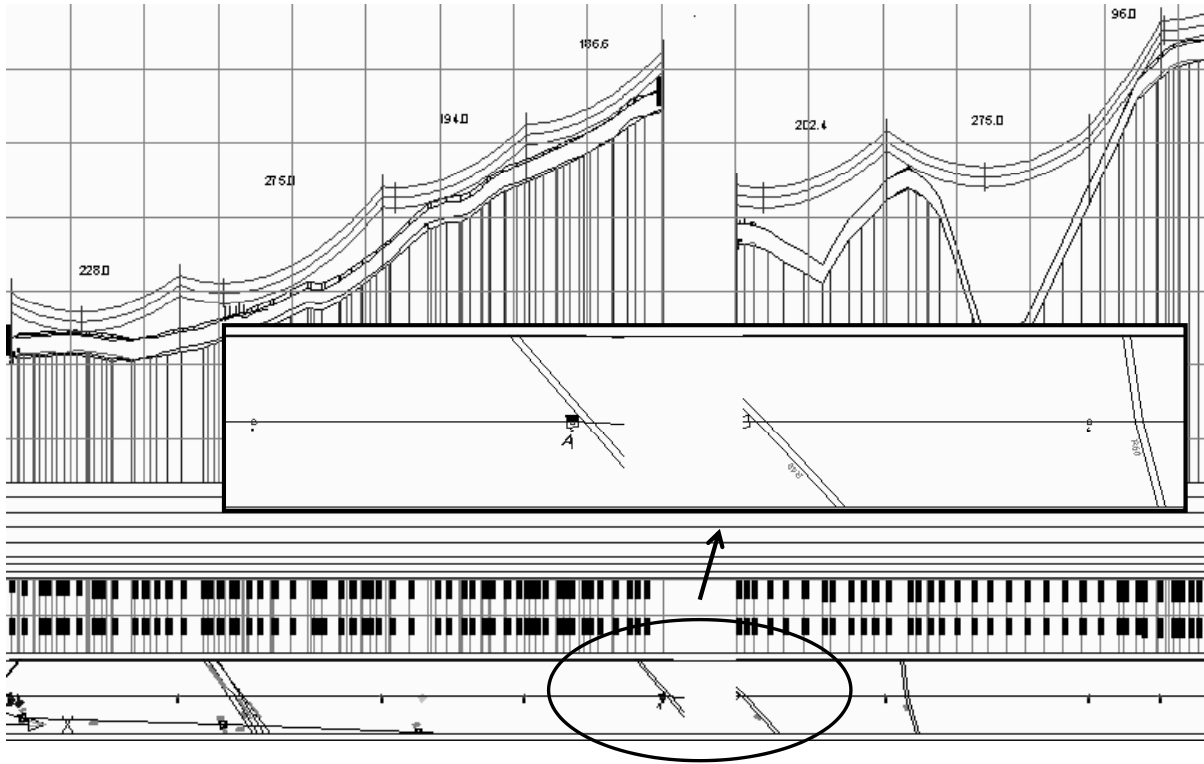


رسم مسیر نهایی و مشخص کردن محل برج های زاویه









نحوه تهیه منحنی کاربردی برج Application Chart

- در هر برج، حداکثر نیروی قابل تحمل در راستای Vertical، Transversal و Longitudinal از طرف سازنده برج ارایه می شود و لذا در محاسبات بعدی این پارامترها معلوم فرض شده است.
- پس از تعیین محل هر برج، کفایت مکانیکی برج قبلی با توجه به اندازه اسپنهای افقی و عمودی بررسی می شود.

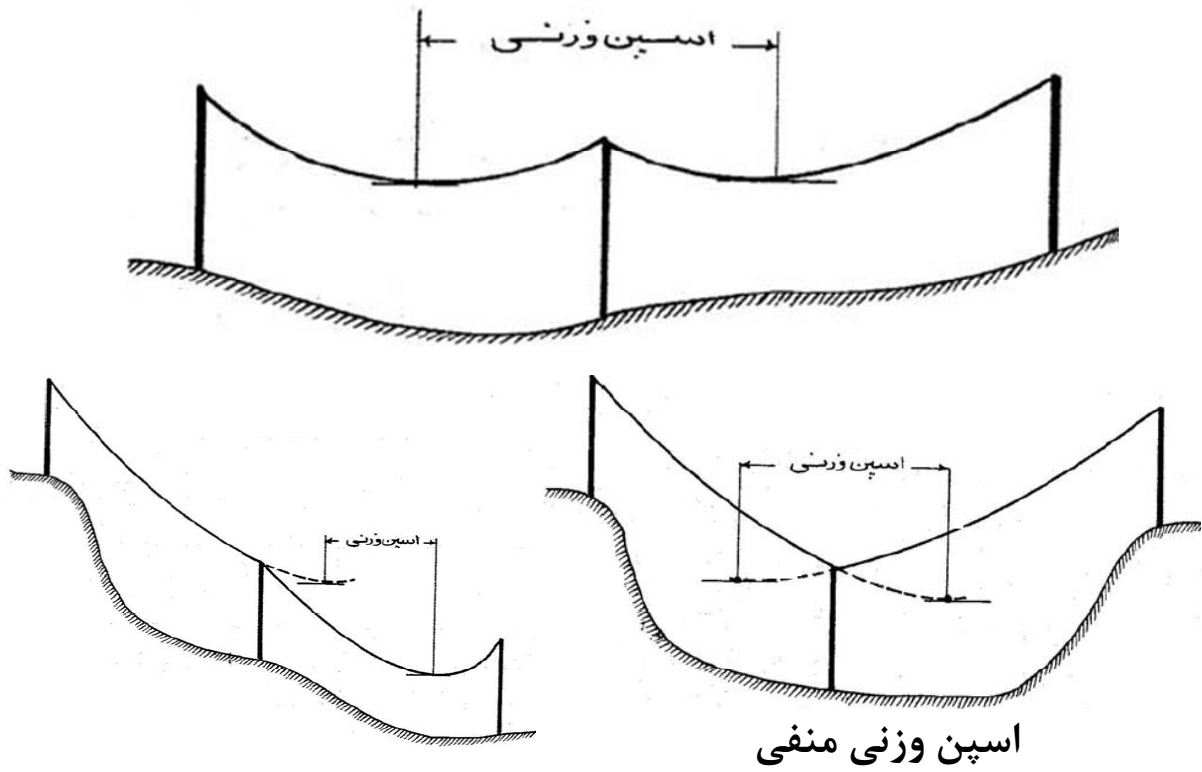
حداکثر اسپن وزنی

$$F_{V \max} = (W_c + W_i) \times S_{we.} + W_{ins.} + W_{add}$$

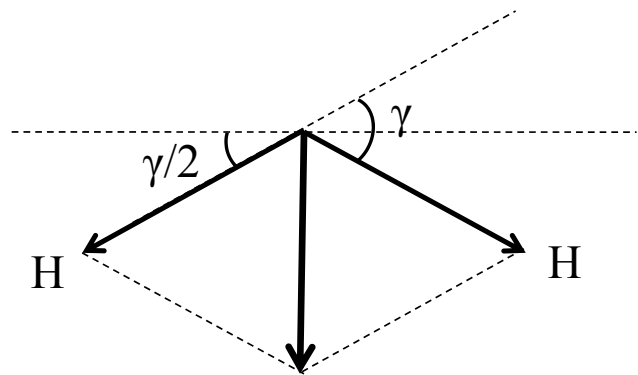
$$S_{We \cdot \max} [m] = \frac{F_{V \max} [kg] - W_{ins.} [kg] - W_{add} [kg]}{W_c [kg / m] + 0.913 \times \pi \times i [mm] (i + d [mm]) \times 10^{-3}}$$

- W_i به ازاء شرایط یخبندان (رژیم یخ سنگین) محاسبه می شود.
- $F_{V \max}$ نیروی قابل تحمل عمودی (با در نظر گرفتن ضریب اطمینان) در محل هادی فاز
- W_{add} وزن یراق آلات و وزنه های نصب شده به انتهای مقره یا هادی مجاور آن

مفهوم اسپین وزنی



نیروی Transversal وارد شده به برج زاویه



$$F_A = 2H \sin \frac{\gamma}{2}$$

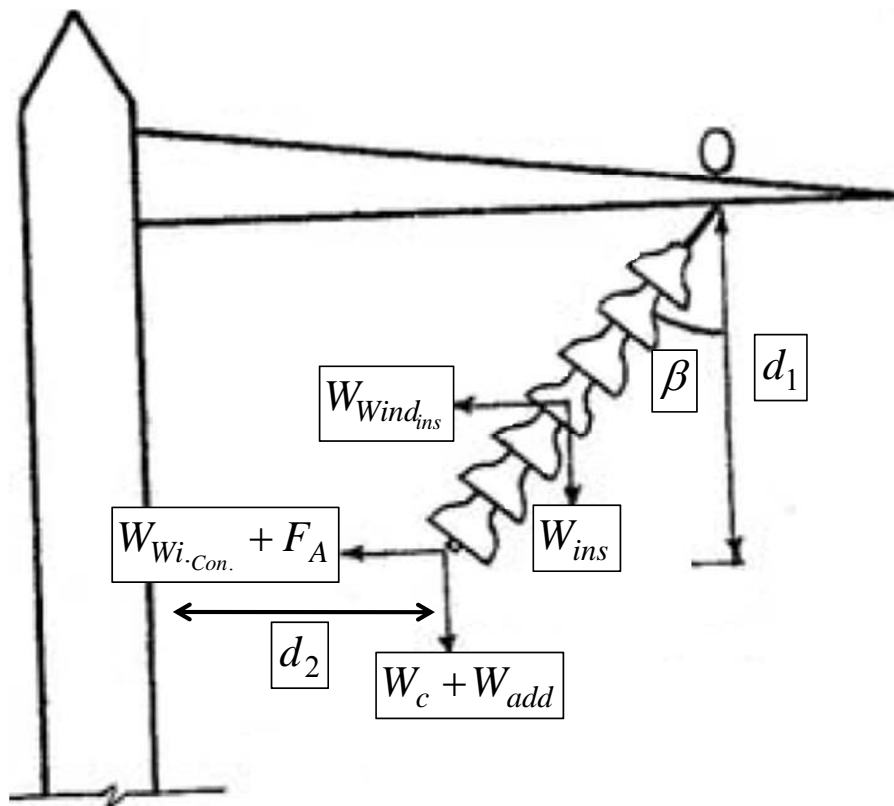
حداکثر اسپن افقی (بادی، بادخور)

$$F_{T \max} = W_w \times S_{wi.} + F_A$$

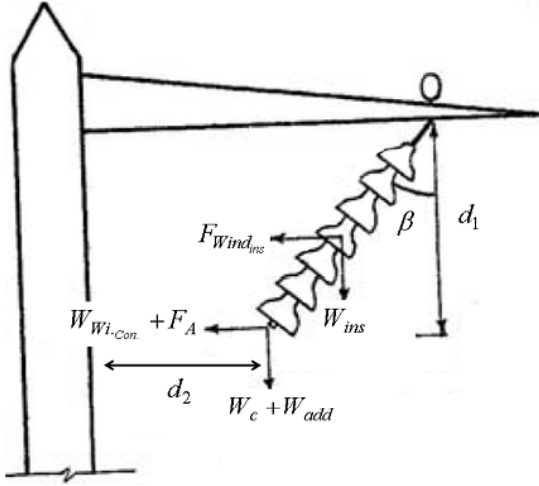
$$S_{Wi.\max} [m] = \frac{F_{T \max} [kg] - 2H [kg] \sin \frac{\gamma}{2}}{0.0625 \times V [m/s]^2 \times d [mm] \times 10^{-3}}$$

- W_w به ازاء شرایط طوفان (رژیم باد شدید) محاسبه می شود.
- $F_{T \max}$ نیروی قابل تحمل افقی (با در نظر گرفتن ضریب اطمینان) در محل هادی فاز

حداکثر انحراف مجاز زنجیر مقره

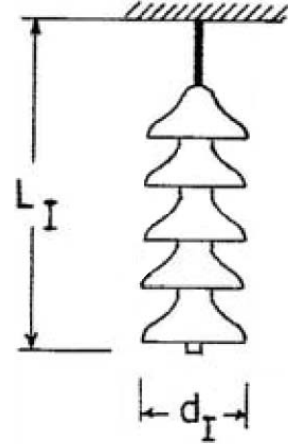


حداكثر انحراف مجاز زنجير مقره



$$W_{Wi.Con.} = 0.0625 \times V[m/s]^2 \times d[mm] \times 10^{-3}$$

$$W_{Wind.ins.} = 0.0625 \times V[m/s]^2 \times (L_I \times d_I \times 0.5)$$



$$tg\beta = \frac{W_{Wi.Con.} \times S_{Wi} + \frac{W_{Wind.ins.}}{2} + 2H \sin \frac{\gamma}{2}}{W_c \times S_{We} + W_{add} + \frac{W_{ins.}}{2}}$$

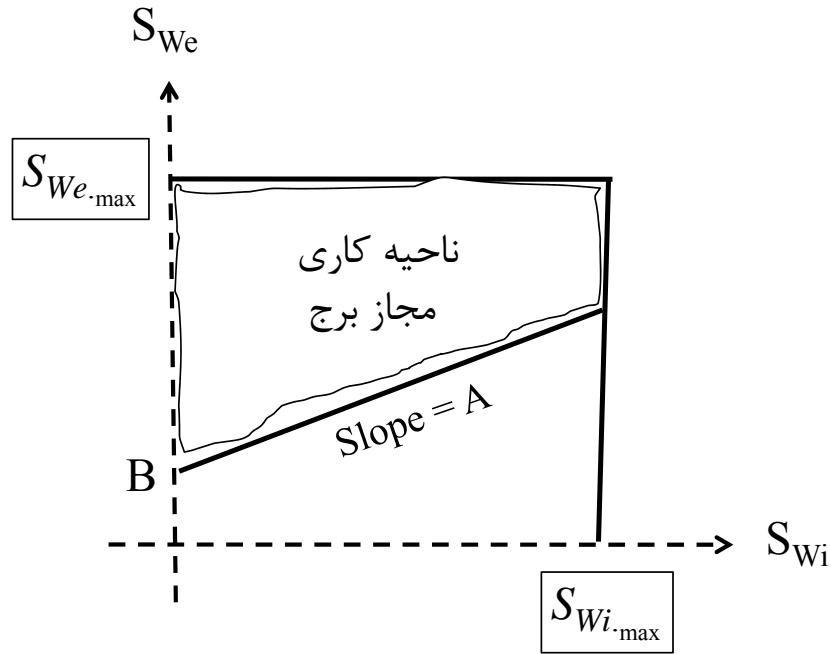
معیار حداكثر انحراف مجاز زنجير مقره

$$tg\beta = \frac{W_{Wi.Con.} \times S_{Wi} + \frac{W_{Wind.ins.}}{2} + 2H \sin \frac{\gamma}{2}}{W_c \times S_{We} + W_{add} + \frac{W_{ins.}}{2}}$$

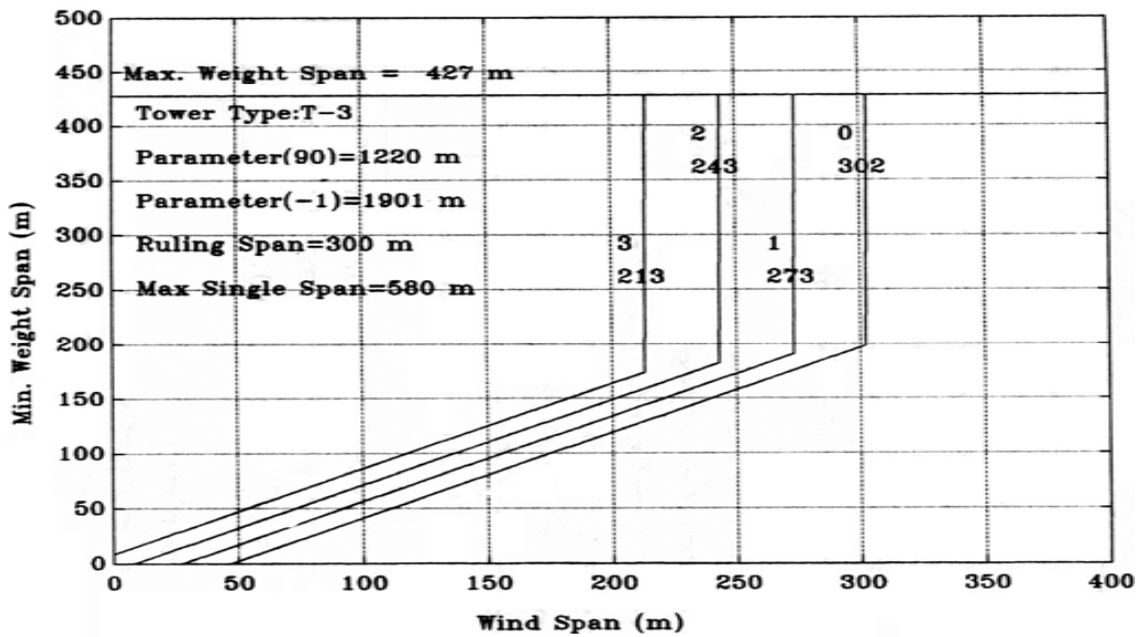
$$S_{We} = \left(\frac{W_{Wi.Con.}}{W_c \times tg\beta} \right) \times S_{Wi} + \left(\frac{\frac{W_{Wind.ins.}}{2} + 2H \sin \frac{\gamma}{2} - (W_{add} + W_{ins.}/2) \times tg\beta}{W_c \times tg\beta} \right)$$

$$S_{We} = A \times S_{Wi} + B$$

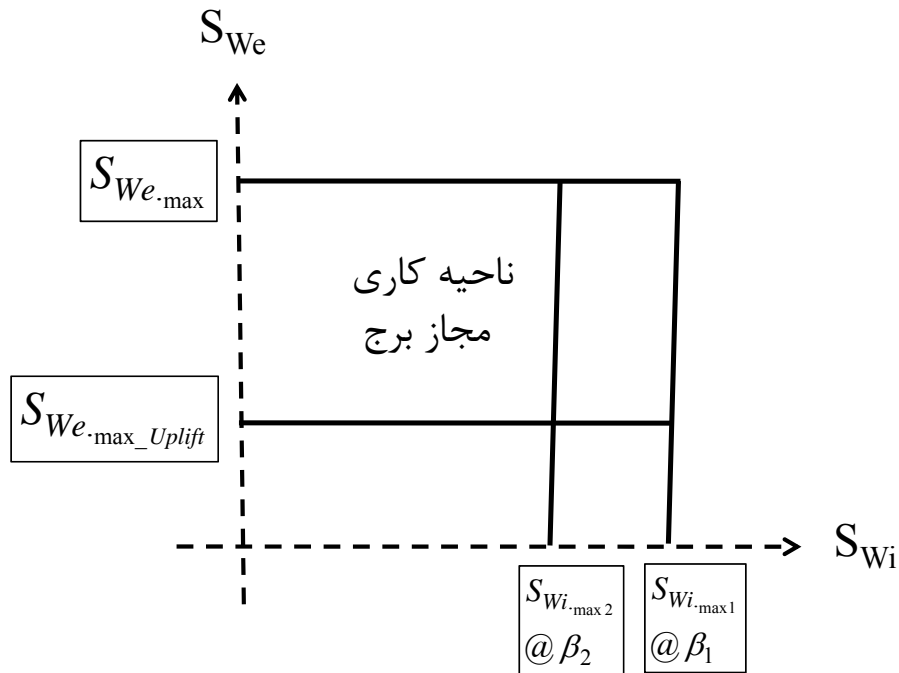
منحنی کاربردی برج عبوری (آویز)



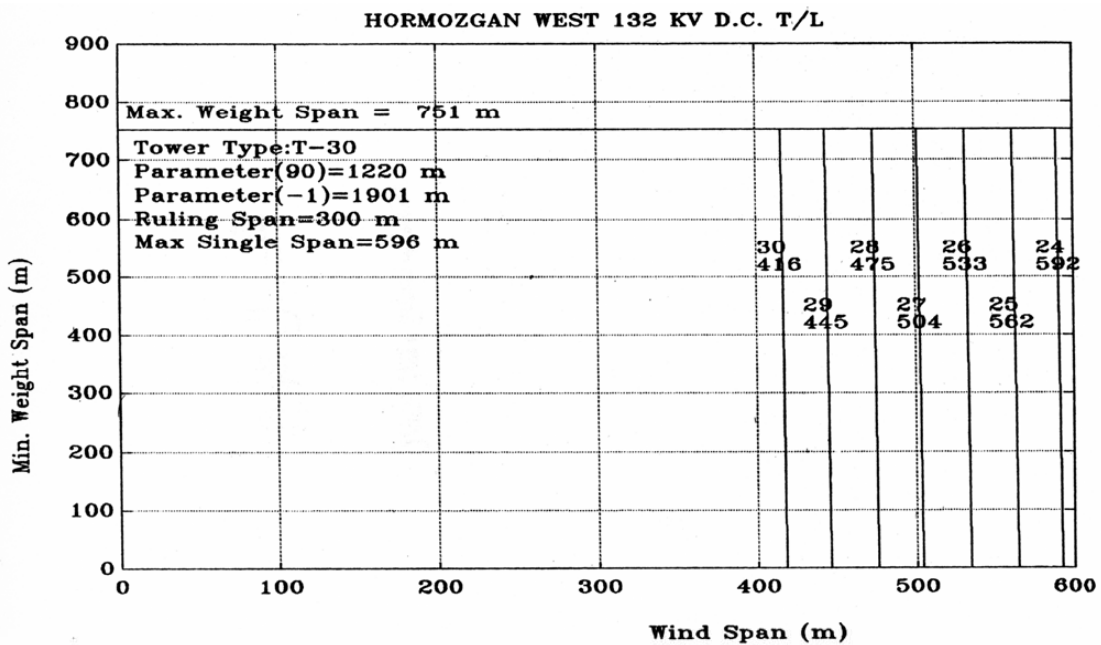
منحنی کاربردی برج عبوری



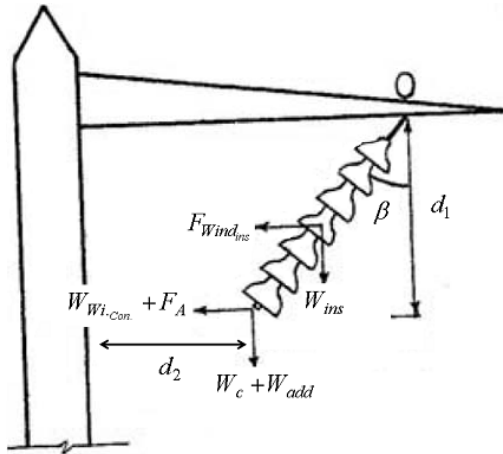
منحنی کاربردی برج کششی در زوایای مختلف



منحنی کاربردی برج کششی



تعیین زاویه مجاز انحراف مقره (مورد استفاده در تعیین منحنی کاربردی برج)



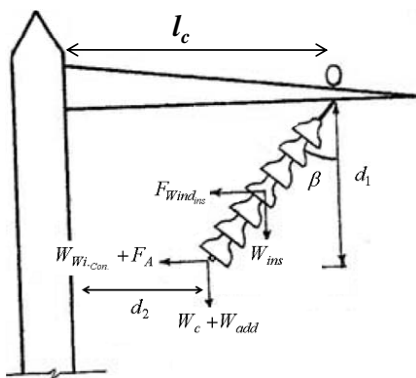
• زاویه β به نحوی است که d_1 و d_2 بیشتر از فواصل عایقی مورد نیاز باشد.

• فواصل عایقی مورد نیاز بر مبنای اضافه ولتاژهای فرکانس قدرت، صاعقه و کلیدزنی تعیین می شود.

• در نظر گرفتن همزمان باد ماکزیمم و رعایت بیشترین فاصله عایقی مورد نیاز (بر مبنای اضافه ولتاژهای فوق) غیر اقتصادی است و احتمال وقوع آن کم است.

• رعایت فاصله عایقی بر مبنای صاعقه، کلیدزنی و فرکانس قدرت (S_P و S_S ، S_L)، بر مبنای به ترتیب ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیروی شدیدترین باد منطقه (وزن معادل باد) مد نظر قرار می گیرد.

تعیین حداکثر زاویه مجاز انحراف مقره در هر اضافه ولتاژ مجاز



$$\sin \beta = \frac{l_c - d_2}{L_I}, d_{2\min} = d_{Clearance}$$

$$\beta_{\max 1} = \sin^{-1} \frac{l_c - d_{Clearance}}{L_I}$$

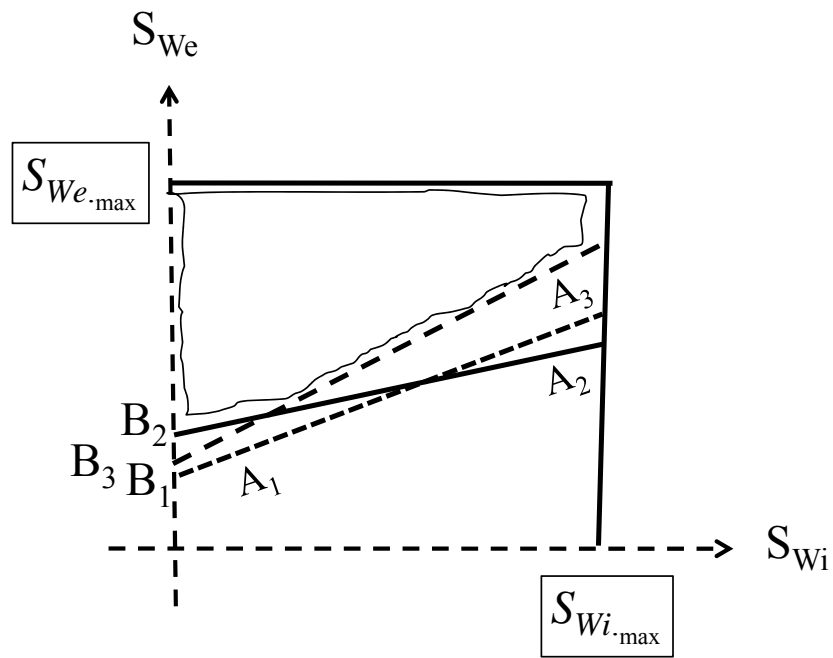
• $d_{Clearance}$ فاصله عایقی مورد نیاز است که بطور جداگانه برای صاعقه، کلیدزنی و فرکانس قدرت محاسبه می شود.

$$\cos \beta = \frac{d_1}{L_I}, d_{1\min} = d_{Clearance} \Rightarrow \beta_{\max 2} = \cos^{-1} \frac{d_{Clearance}}{L_I}$$

$$\beta_{\max} = \min(\beta_{\max 1}, \beta_{\max 2})$$

• با قراردادن $d_{Clearance}$ به ترتیب برابر S_L ، S_S و S_P ، سه زاویه مختلف محاسبه می شود. بر مبنای زوایای β و سرعت باد متفاوت، بر اساس معادله خط انحراف مقره، سه معادله تعیین می شود که بایستی در منحنی کاربردی رسم شود.

منحنی کاربردی برج عبوری (آویز)



نکات مورد توجه در طراحی مکانیکی خط
انتقال بر مبنای انواع مختلف نوسانات خط

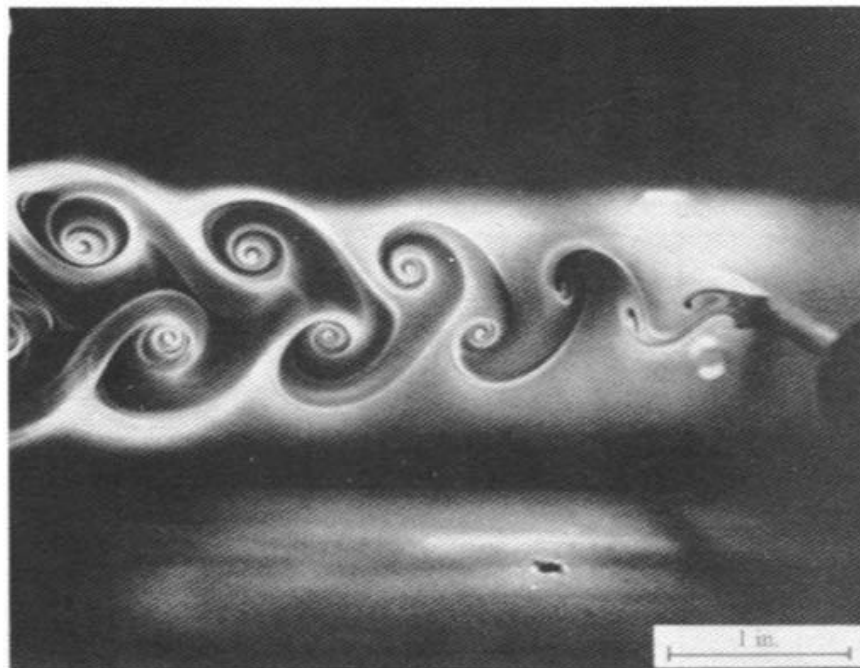
نوسانات لرزشی – Aeolian Vibration

- در اثر وزش بادهای ملایم با سرعت حدود ۵ متر بر ثانیه در زمین ناهموار (rough terrain) و با سرعت حدود ۱۰ متر بر ثانیه در زمین هموار (flat terrain) ایجاد می شود. فرکانس نوسانات مکانیکی بین ۵ تا ۱۰۰ هرتز و دامنه در حد چند سانتی متر ایجاد می کند.

- نوسانات لرزشی در هادیهای باندلی که یک هادی پشت هادی دیگر (نسبت به جهت باد) قرار دارد به دلیل ناهمگن شدن باد ایجاد می شود. این نوسانات با سرعت باد ۴ تا ۱۸ متر بر ثانیه ایجاد شده، فرکانس نوسانات ۱ تا ۵ هرتز دامنه آن بیشتر از حالت اول است.

- باعث سائیدگی، خوردگی مکانیکی و رشته رشته شدن هادیها در محل اتصالات (محل اتصال هادی به مقره، محل اتصال هادی به سایر تجهیزات نظیر فاصله نگهدار باندل، فاصله نگهدار فازی، دمپرها) و شل شدن پیچ های نگهدارنده بازوهای برج می شود.

Aeolian Vibration (Vortex in a wind tunnel with smoke)



نوسانات لرزشی – Aeolian Vibration

- بر مبنای تستهای خستگی (fatigue tests) ناشی از نوسانات لرزشی، به ویژه در صورت عدم استفاده از دمپر، توصیه شده است که حداکثر تنش وارد بر هادی در رژیم استقرار بر مبنای جدول زیر تعیین شود.

Table 11.1: Recommended everyday stress as percentage of the rated tensile stress (RTS) to protect conductors without dampers against aeolian vibrations

Conductor type	Cigré 1960 [11.38]	EN 50 341-3-4	Cigré 2000 [11.39]
AL1/ST1A (ACSR)			Terrain C
4,3:1	18	18,5	13
6,0:1	18	18,5	14
7,7:1	18	19,0	15
11,3:1	18	18,4	16
Aluminium AAC	17	18,8	20,8
AlMgSi AAAC	18	15,0	11,3
Steel			
- rigid clamps	11	—	—
- flexible clamps	13	—	—

نوسانات لرزشی – Aeolian Vibration

- برای کاهش اثرات خستگی ناشی از نوسانات لرزشی از تجهیزاتی (fittings) نظیر Armor rod (مفتول فولادی فنری شکل به دور هادی در دو طرف مقره) و برای میرایی این نوع نوسانات و کاهش پیامدهای نامطلوب آن در دو طرف هادی نزدیک مقره از یک یا چند وزنه میراکننده متصل به سیم فولادی انعطاف پذیر، معروف به استوک بریج (Stockbridge) استفاده می شود.

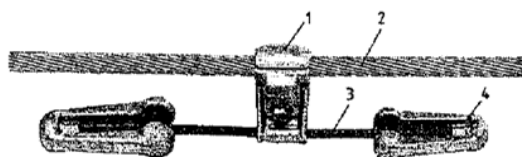


Figure 11.12: Vibration damper - type Stockbridge: 1 damper clamp; 2 conductor; 3 messenger cable; 4 damper weight (Richard

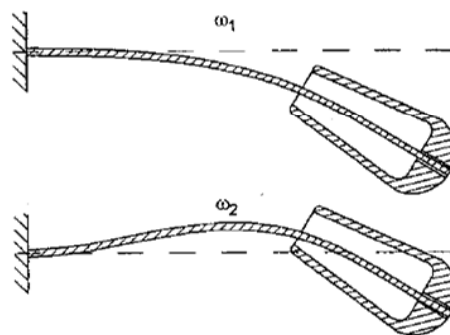
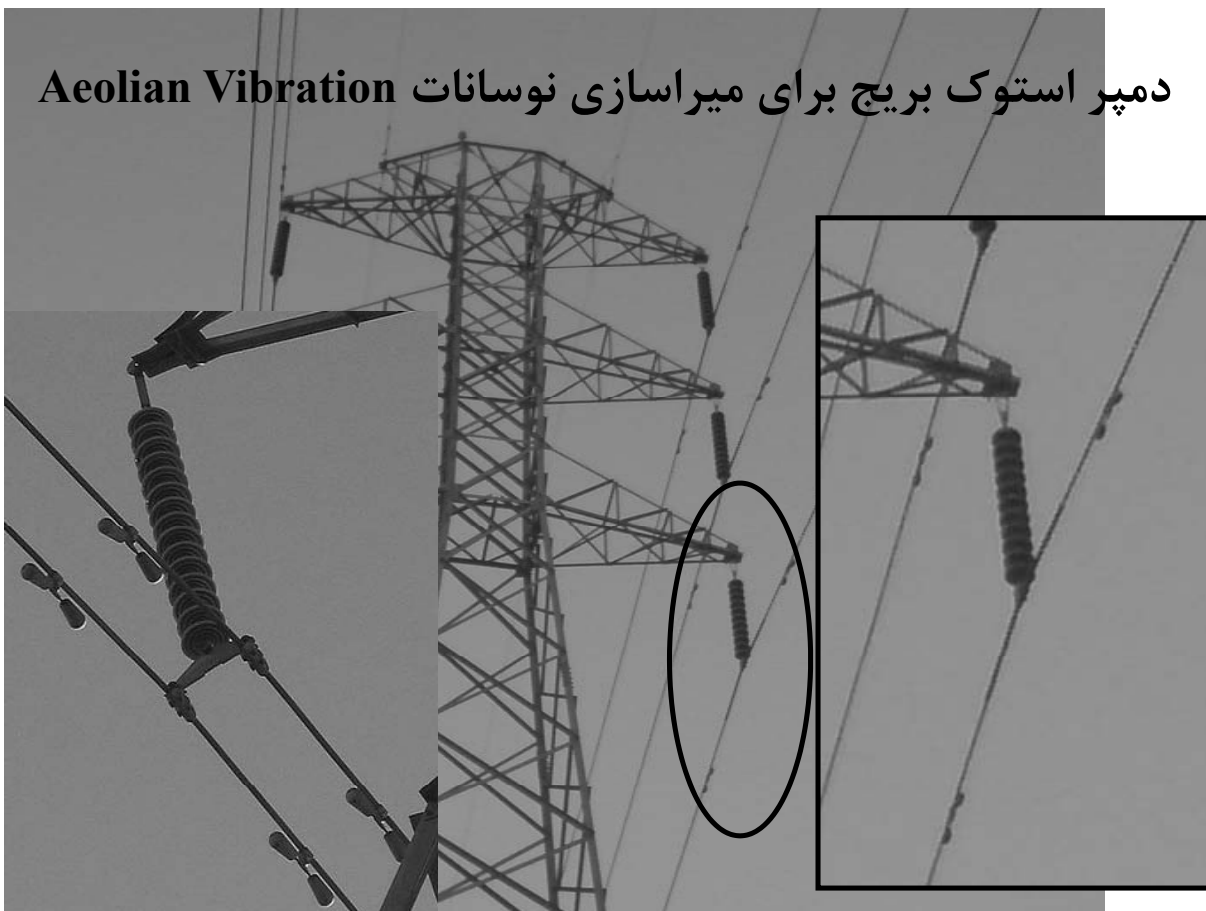


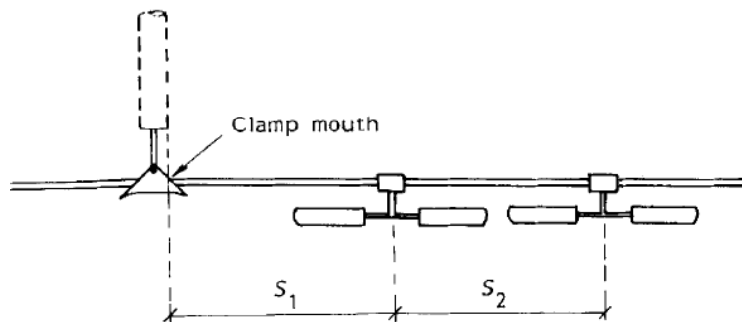
Figure 11.13: First and second vibration mode of a damper, type Stockbridge [11.16]



دمپر استوک بریج برای میراسازی نوسانات Aeolian Vibration



تعیین محل دمپرهای استوک بریج برای میراسازی نوسانات لرزشی



$$S_1 [m] = 0.000415 \times d [mm] \times \sqrt{\frac{H [N]}{W_C [kg/m]}} \quad S_2 [m] = 0.000703 \times d [mm] \times \sqrt{\frac{H [N]}{W_C [kg/m]}}$$

d قطر هادی

H کشش وارد بر هادی در شرایط EDS (کیلوگرم نیرو = نیوتن)
 S_1 و S_2 به ترتیب محل نصب وزنه های اول و دوم از زنجیر مقره (متر)

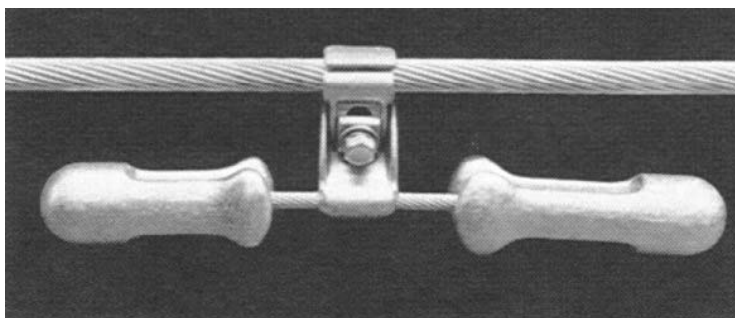
پیشنهاد استاندارد ملی برای تعداد دمپرهای استوک بریج در هر اسپن

سیم محافظ AW و GS			هادی AAAC و AAC		هادی ACSR			طول اسپن
نسبت کشش سیم در EDS به UTS			نسبت کشش سیم در EDS به UTS		نسبت کشش سیم در EDS به UTS			
>20%	15-20%	<15%	>18%	<18%	>20%	15-20%	<15%	
۲	۱	۰	۲	۱	۲	۱	۰	کمتر از ۳۰۰ متر
۴	۲	۱	۴	۲	۴	۲	۱	بین ۳۰۰ و ۶۰۰

تعیین محل دمپرهای استوک بریج برای میراسازی نوسانات لرزشی

Applicable to conductor and earth wire tension and suspension positions.

If armour rods are used at suspension clamps then dampers must be placed at least 100 mm from the ends of the armour rods.



نوسانات آونگی (Swing) در خط انتقال

۱. در این نوسانات که از باد شدید ناشی می شود، هادی شروع به تاب خوردن نموده و:
 - فاصله فاز به فاز در برج با آرایش افقی کاهش می یابد.
 - باعث سائیدگی و آسیب دیدگی مکانیکی به هادی (به ویژه در محل اتصالات) میشود.
 - در مقره های آویز I شکل، مقره نیز در اثر نیروی باد منحرف می شود.
 - میزان انحراف هادی و مقره به فلش سیم، سرعت باد، نوع مقره (I شکل، V شکل یا مقره ثابت - یا نگهدارنده-)، قطر هادی و ضخامت یخ بستگی دارد.
 - نوسانات هادیها بصورت سنکرون (هماهنگ) یا آسنکرون (غیرهماهنگ) است
۲. برای پیشگیری از عواقب نامطلوب نوسانات آونگی می توان روشهای زیر را بکار برد.
 - افزایش فاصله فازها (تغییر شکل برج یا افزایش طول کراس آرم)
 - میرا کننده مکانیکی در طول خط انتقال می تواند در کاهش میزان نوسانات موثر باشد.
 - فاصله نگهدار فازی کمک موثری به کاهش دامنه نوسانات می کند (برجهای فشرده)
 - استفاده از مقره های دوپل بصورت V شکل (بجای I شکل یا به فرم II)
 - استفاده از آرایش عمودی یا مثلثی برای کاهش اثرات این نوع از نوسان (البته در این حالتها، اثر نوسانات آونگی بیشتر می شود و در مجموع آرایش افقی از نظر نزدیک شدن هادیها ناشی از نوسان معمولا مطلوب تر است).

نوسانات خط انتقال ناشی از گالوپینگ

۱. انواع گالوپینگ

- تخلیه ناگهانی یخ و جهش هادی به صورت بالا و پایین (گالوپینگ با یخ و بی باد)

- ایجاد شرایط آیرودینامیکی ناشی از وزش باد شدید به هادی با مقطع بزرگ که احتمال وقوع آن کمتر از حالت‌های دیگر است و به ویژه زمانی ایجاد می شود که مسیر باد در برخورد به یک هادی عوض شده و در برخورد به هادی بعدی باعث جهش آن می شود. (گالوپینگ بی یخ و با باد)

- معمولا یخ بعد از بارش باران یا برق در هوای سرد و به دلیل وزش باد سرد ایجاد می شود که در این حالت معمولا یخ بصورت غیر یکنواخت روی هادی قرار می گیرد. در این حالت حتی باد ملایم و یکنواخت، چرخش هادی را ایجاد می کند و هادی می تواند در یک مسیر بیضوی حرکت نماید. گالوپینگ با یخ و باد بیشتر در طبیعت بوجود می آید.

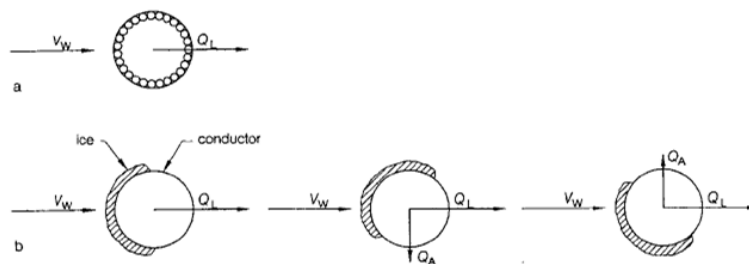


Figure 11.21: Forces acting at the conductor under wind [11.23]: a) without ice accretion, b) with differing ice formation; V_W wind force; Q_A uplift or downward force; Q_L aerodynamic drag force

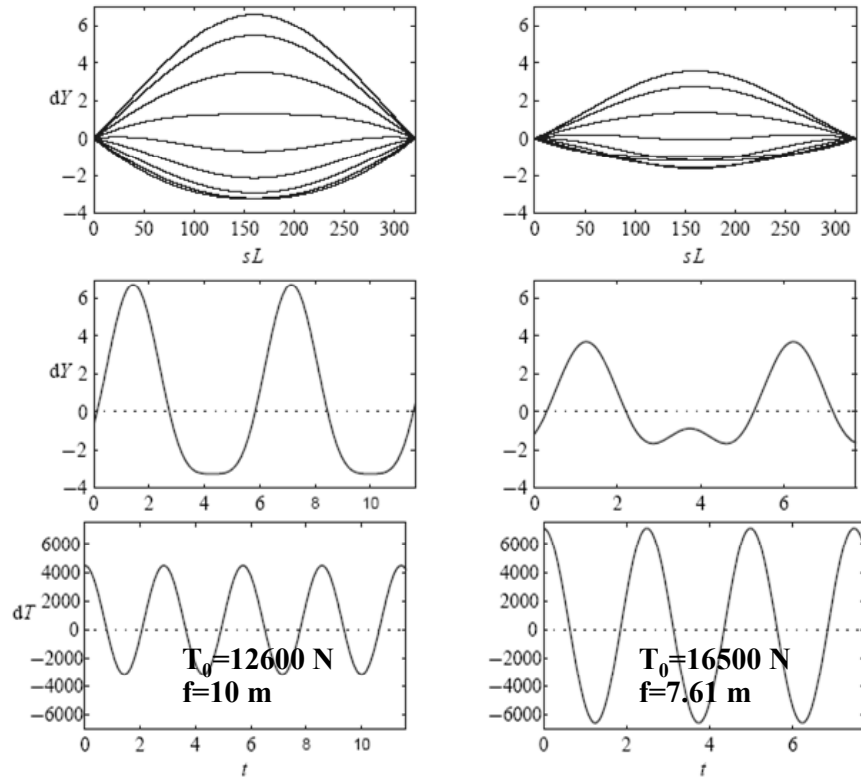
نوسانات خط انتقال ناشی از گالوپینگ

۲. یخ در زمان بارش باران یا برف در هوای سرد یا طوفان همراه تگرگ تشکیل می شود. اضافه بار موقتی به خط با هدف گرم کردن هادی در هوای سرد روش مناسبی برای جلوگیری از تشکیل یخ زیاد روی هادی است.

۳. پیامدهای گالوپینگ شامل موارد زیر است:

- کاهش فاصله فاز به فاز و یا فاز به شیلد و اتصال کوتاه در خط انتقال که معمولا با پاره شدن هادی یا ذوب شدن قسمتی از آن همراه است.
- وارد آمدن نیروی مکانیکی شدید در محل اتصال هادی به مقره، مقره به برج، فاصله نگهدار هادیهای باندل، نیروی دینامیکی به مراتب بیشتر از نیروهای استاتیکی محاسبه شده که به هادی، مقره و برج وارد می شود که می تواند باعث آسیب به آنها شود.

نوسانات خط انتقال ناشی از گالوپینگ



مسیر بیضوی شکل نوسانات گالوپینگ در خط انتقال ناشی از باد شدید

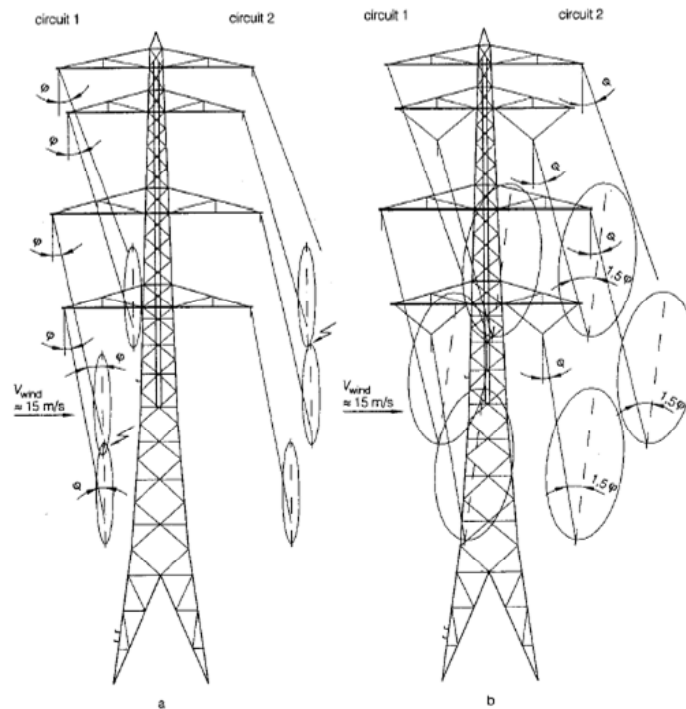


Figure 11.22: Elliptic curves of galloping conductors, example according to [11.55], φ conductor swing angle; a) long axis vertical, ratio long axis/short axis 6:1; b) long axis inclined by $0.5 \cdot \varphi$ degrees against the vertical, ratio long axis/short axis 2:1

روشهای مقابله با گالوپینگ

۱. استفاده از دمپر مکانیکی در طول خط انتقال (مثلا وسط خط انتقال) که می تواند بصورت Pendulum یا Spring mass باشد. وزن و نوع دمپر به میزان نوسانات و تعداد باندها وابسته است. این تجهیزات باعث کاهش قابل توجه دامنه نوسانات گالوپینگ می شوند.



Torsional damper prototype.

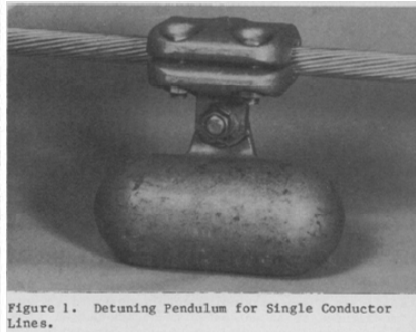


Figure 1. Detuning Pendulum for Single Conductor Lines.

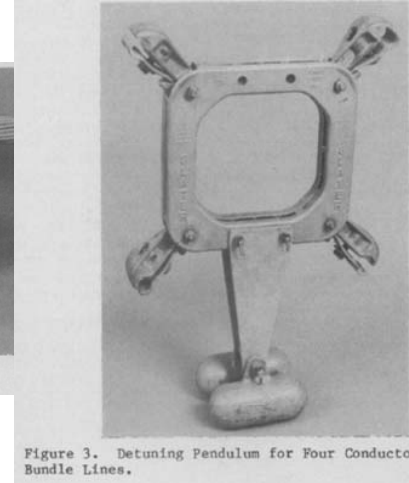
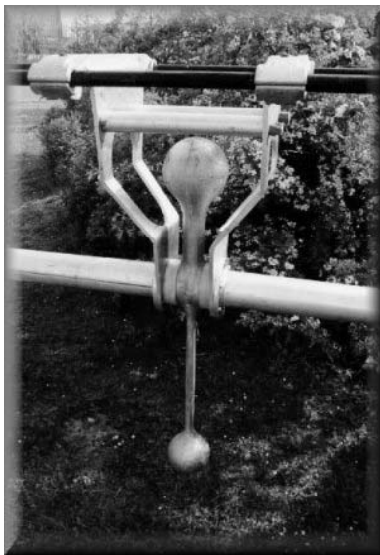


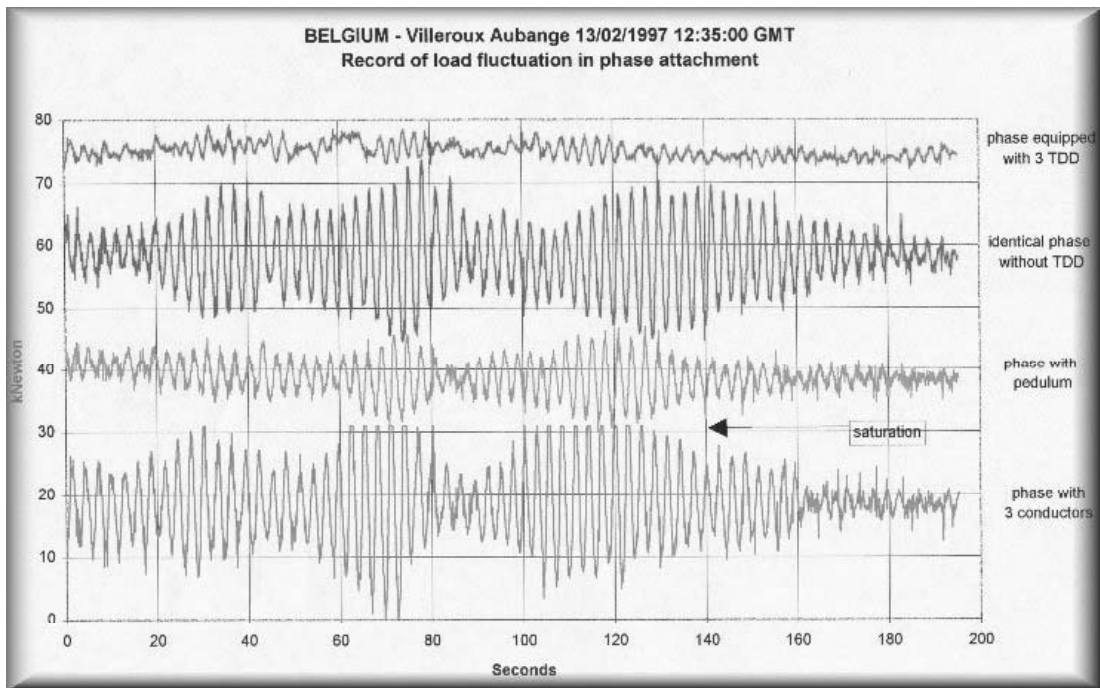
Figure 3. Detuning Pendulum for Four Conductor Bundle Lines.

روشهای مقابله با گالوپینگ

یکی از معروفترین دمپرها، دمپر TDD (Torsional Damper Detuner) است که معمولا سه عدد از آنها در هر اسپن نصب شده و تاثیر قابل توجهی بر کاهش دامنه نوسانات جهشی دارد. این تجهیز به ویژه در خطوط باندها به کار می رود.

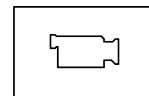


Results obtained with TDD during a galloping event that occurred at the experimental station of a 400 kV network

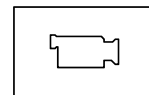


Simulations and Tests Carried out in Kazakhstan

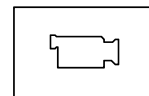
Installation



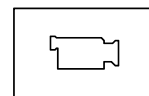
Overhead line under galloping - without TDD



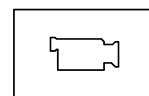
Overhead line under galloping - with TDD



Three span without TDD modeling using SAMCEF



Three span with TDD modeling using SAMCEF

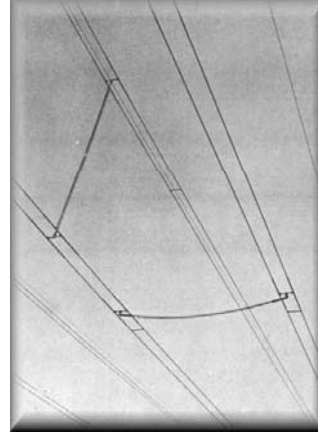


روشهای مقابله با گالوپینگ

۲. استفاده از فاصله نگهدار بین فازهای (Phase Spacer) بین هر یک از دو فاز مجاور که ممکن است در چند نقطه در هر اسپن (مثلاً سه نقطه) این کار انجام شود و تاثیر قابل توجهی در کاهش نوسانات گالوپینگ دارد.

- برای داشتن وزن کم و قابلیت ارتجاع به ویژه در طول زیاد، باید از نوع پلیمری انتخاب شوند.

- شستن مقرر با صعود از برج به سادگی انجام می شود ولی شستن فاصله نگهدار فازهای مشکلتر است که البته استفاده از مقرر پلیمری تا حدی نیاز به شستشو را کمتر یا برطرف می کند.



روشهای مقابله با گالوپینگ

۳. افزایش فاصله فازها به مقداری بیش از Clearance مورد نیاز به منظور اطمینان از رعایت فاصله عایقی مطلوب در حالت نوسانات هادیها

حداقل فاصله عایقی مورد نیاز بین فاز-فاز در وسط اسپن که حداکثر جابجایی هادیها می تواند در آنجا ظاهر شود از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$PC[m] = K_C \sqrt{f[m] + L_K[m]} + K_1 \times D_{PP}[m]$$

f فلش سیم در رژیم طوفان

L_K طول بخشی از مقرر که می تواند در راستای افقی (Transversal) نوسان نماید.

روشهای مقابله با گالوپینگ

$$PC = K_C \sqrt{f + L_K} + K_1 \times D_{PP}$$

K_C ضریبی است که با توجه به حرکت بیضوی هادی در اثر گالوپینگ، تعیین می شود. بنابراین به آرایش هادیها (افقی، عمودی یا مثلثی) بستگی دارد.

Table 2.22: Values of the factor k_C as a function of swing angle ϕ and relative conductor positions (see Figure 2.15)

Range of swing angle degree ϕ_C	Relative position between conductors 2 and 1		
	Range 1 $0^\circ \leq \psi \leq 30^\circ$	Range 2 $30^\circ < \psi \leq 80^\circ$	Range 3 $80^\circ < \psi \leq 90^\circ$
$\geq 65,1$	0,95	0,75	0,70
55,1 to 65,0	0,85	0,70	0,65
40,1 to 55,0	0,75	0,65	0,62
$\leq 40,0$	0,70	0,62	0,60

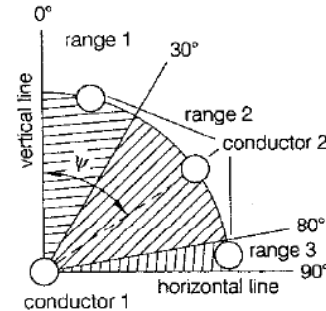


Figure 2.15: Determination of factor k_C depending on the relative position of conductor 2 to conductor 1

ضریب K_C در ایران برای آرایش افقی، مثلثی و عمودی به ترتیب ۰،۶، ۰،۶۵ و ۰،۷۵ در نظر گرفته می شود.

روشهای مقابله با گالوپینگ

$$PC = K_C \sqrt{f + L_K} + K_1 \times D_{PP}$$

K_1 به دلیل احتمال کم همزمانی وقوع اضافه ولتاژ گذرا یا فرکانس قدرت در حین نوسان هادی، این ضریب معمولاً ۰،۷۵ در نظر گرفته می شود.

D_{PP} فاصله عایقی بین فاز-فاز است که به سطح عایقی (BIL) مورد نیاز خط انتقال بستگی دارد.

Table 2.17: Clearances D_{el} and D_{pp} corresponding to fast-front withstand voltages, of conductor-to-obstacle and conductor-to-conductor air gaps in altitudes up to 1000 m above sea-level

Lightning surge withstand voltage (kV)	D_{el-sf} (m)	D_{pp-sf} (m)
400	0,77	0,85
600	1,14	1,26
800	1,50	1,68
1000	1,88	2,08
1200	2,23	2,50
1400	2,61	2,92
1600	2,98	3,33
1800	3,35	3,75
2000	3,72	4,17
2050	3,82	4,27
2100	3,91	4,38
2150	4,00	4,48

Table 2.18: Clearances D_{el} and D_{pp} corresponding to slow-front overvoltages, of conductor-to-obstacle and conductor-to-conductor air gaps, in altitudes up to 1000 m above sea-level

Switching surge withstand voltage (kV)	D_{el-sf} (m)	D_{pp-sf} (m)
400	0,88	1,02
600	1,44	1,67
800	2,07	2,45
1000	2,84	3,41
1200	3,71	4,57
1400	4,77	5,97
1600	6,02	7,66
1800	7,50	9,70

روشهای مقابله با گالوپینگ

نکات :

۱. در مرجع بیان شده، فاصله عایقی بر مبنای اضافه ولتاژهای گذرا تعیین شد و از ضریب کاهش ۰.۷۵ برای منطقی تر شدن طراحی استفاده گردید. البته لازم است در فاصله عایقی محاسبه شده، شرایط محیطی به ویژه ارتفاع از سطح دریا در محل نصب هادی نیز به عنوان ضریب اصلاحی در نظر گرفته شود. در واقع در ارتفاع بالاتر باید فاصله عایقی را افزایش داد. در ایران بجای این روش، فاصله عایقی بر مبنای ولتاژ نامی خط انتقال محاسبه شده و PC از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$PC[m] = K_C \sqrt{f[m] + L_K[m]} + \frac{V_L[kV]}{150}$$

۲. اگر از n فاصله نگهدار فازی بین فازها استفاده شود، رابطه محاسبه فاصله فاز به فاز تقریباً بصورت زیر اصلاح می گردد.

$$PC[m] = \frac{K_C \sqrt{f[m] + L_K[m]} + V_L[kV]}{n+1} + \frac{V_L[kV]}{150}$$

روشهای مقابله با گالوپینگ

نکات :

۳. در حالتی که فاصله بین فازها در برج مورد استفاده معلوم باشد، با این رابطه می توان حداکثر اسپین الکتریکی را محاسبه نمود.

$$PC = K_C \sqrt{f + L_K} + \frac{V_L}{150} \Rightarrow \text{Maximum acceptable sag: } f_m [m] = \left(\frac{PC[m] - \frac{V_L[m]}{150}}{K_C} \right)^2 - L_K [m]$$

$$f = \frac{l^2}{8a} \Rightarrow \text{Maximum electrical span: } l_{\max} = \sqrt{8f_m \times a}$$

در رابطه فوق، a پارامتر سیم در رژیم باد شدید (طوفان) است. البته برای در نظر گرفتن حالت بدبینانه، گاهی از پارامتر سیم در رژیم استقرار استفاده می شود.

۴. در مرحله طراحی هر سه روش قابل استفاده است (به ویژه روش سوم که حداکثر اسپین الکتریکی از آن اقتباس شد) ولی در مرحله بهره برداری روشهای اول و دوم می تواند برخی مشکلات خط که معمولاً در بخشهایی از خطوط انتقال ایجاد می شود را حل کند.

تعیین اسپن اقتصادی (اسپن بهینه یا Ruling Span) در قالب یک مثال

تعیین اسپن اقتصادی

ویژگیهای اسپن اقتصادی:

- نیروی وارد بر سیم و دکل در رژیم بحرانی دارای ضریب اطمینان کافی باشد.
- به ازاء ماکزیمم فلش سیم (در شرایط یخ زیاد یا حداکثر درجه حرارت منطقه) فاصله مجاز سیم تا زمین رعایت شده باشد.
- کمترین هزینه را داشته باشد.

تعیین اسپن اقتصادی

نکاتی در مورد روش تعیین اسپن اقتصادی :

- با کاهش فاصله بین پایه ها، فلش سیم در تابستان کمتر شده که باعث کاهش ارتفاع پایه ها خواهد شد ولی در عوض تعداد پایه ها بیشتر می شود.
- با افزایش فاصله بین پایه ها، فلش سیم و در نتیجه ارتفاع پایه ها افزایش یافته و تعداد پایه ها کم می شود.
- بنابراین بهتر است که فاصله بین دو پایه چنان تعیین شود که کمترین هزینه را در بر داشته باشد.
- محاسبات فقط برای برجهای آویز انجام می شود.
- بر اساس آزمایشات مکانیک خاک، نوع فونداسیونی که بیشترین استفاده را در طول مسیر خواهد داشت، تعیین شده و حجم آن بر اساس وزن برج تعیین می گردد.

تعیین اسپن اقتصادی

عوامل موثر در هزینه خطوط انتقال نیرو

- هزینه مربوط به هادی (قیمت هادی خط انتقال انرژی، سیم محافظ و هزینه نصب)
- هزینه برج و قیمت نصب آن :
 - هزینه فونداسیون (پی کنی، بتن ریزی و...)
 - یراق آلات
 - هزینه مقره و قیمت نصب آن
 - هزینه و مخارج مربوط به طراحی (هزینه های مسیر یابی، نقشه برداری و...)

در این محاسبات فرض شده که از هادی Canary استفاده شده است. بنابراین فرض می شود هزینه هادی در طرحهای مختلف یکسان است (با توجه به تاثیر ناچیز فلش سیم در طول سیم در یک اسپن). بنابراین "تاثیر هادی و نیروهای مجاز وارد بر برج" را می توان با محدود کردن حداکثر اسپن مجاز، در نظر گرفت. در واقع حداکثر اسپن مجاز برابر کمترین مقداری است که از دو شرط زیر بدست می آید:

- کمترین مقدار بین اسپن مجاز وزنی و اسپن مجاز باد (با توجه به منحنی کاربردی دکل در بدترین رژیمهای کاری برابر $S_v=600\text{ m}$ و $S_w=450\text{ m}$ است و لذا حداکثر اسپن دکل برابر ۴۵۰ متر است).
- به دلیل افزایش فلش سیم، ارتفاع پایه بیشتر از حداکثر مقدار ممکن باشد.

تعیین اسپن اقتصادی

برآورد هزینه ها

قیمت هر کیلو گرم گالوانیزه ۱۵۰۰۰ ریال و مخارج نصب هر پایه، کیلویی ۲۰۰۰ ریال می باشد. پس هزینه هر تن گالوانیزه به مقدار زیر می باشد:

$$15000 \times 1000 + 2000 \times 1000 = 17000000 \text{ , } \frac{\text{Rial}}{\text{ton}}$$

و همچنین هزینه فونداسیون شامل هزینه پی کنی و بتن ریزی و با در نظر گرفتن هزینه مربوط به بتن و غیره برای هر متر مکعب فونداسیون ۱۵۰۰۰۰۰ ریال می باشد. و بر اساس مطالعات مکانیک خاک به ازاء هر تن از برج ۱.۳۷۵ متر مکعب فونداسیون نیاز می باشد. پس بدین ترتیب هزینه فونداسیون به ازاء هر تن از برج به قرار زیر است:

$$1500000 \times 1.375 = 2062500 \text{ , } \frac{\text{Rial}}{\text{ton}}$$

پس در نهایت هزینه هر تن وزن برج برابر است با:

$$C_1 = 17000000 + 2062500 = 19062500 \text{ Rial}$$

تعیین اسپن اقتصادی

برآورد هزینه ها

هزینه هر واحد مقره ۱۰۰۰۰۰ ریال و هزینه نصب هر واحد مقره حدود ۳۰۰۰۰ ریال می باشد. در این خط دو مداره در هر پایه، ۶ زنجیره مقره که هر کدام از ۲۲ واحد مقره تشکیل شده اند بکار رفته است. لذا هزینه تامین و نصب مقره ها در هر پایه عبارتند از :

$$C_2 = 132 \times (100000 + 30000) = 17160000 \text{ , Rial}$$

بنابراین هزینه اجرای هر برج ۲۳۰ کیلوولت دو مداره از نوع DC-0 برابر است با:

$$C [\text{Rials}] = 17160000 + 19062500 \times W_{\text{Tower}} [\text{ton}]$$

برای سادگی محاسبات فرض می شود که مقاومت مکانیکی مقره در اسپنهای مختلف یکسان است.

تعیین اسپن اقتصادی

برآورد هزینه ها

طول زنجیر مقرر در این پروژه ۳.۵۲۹ متر است. طبق استاندارد وزارت نیرو حداقل فاصله مجاز پایین ترین هادی تا زمین برای خط انتقال انرژی 230kv نباید کمتر از ۷ متر در نواحی مسکونی و بیابانی باشد. بنابراین حداقل فاصله فاز پائینی تا زمین از رابطه زیر بدست می آید که در آن f فلش سیم است:

$$h = f + 10.53 \text{ [m]}$$

مطابق نقشه General View دکل DC-0، در صورتیکه f کمتر از ۸.۵۴ متر باشد استفاده از بدنه مشترک کفایت می کند. در غیر اینصورت در ابتدا می توان از بدنه اضافی استفاده نمود که در دو ارتفاع اضافی ۳ متر و ۵.۶۶۵ متر موجود است و سپس در صورت نیاز بایستی از پایه (Leg گذاری) استفاده نمود که از یک متر تا ۹ متر با پله های یک متری موجود است. وزن هر یک از این قسمت های اضافی در جدول بعد ارایه شده است.

تعیین اسپن اقتصادی

برآورد هزینه ها

طول و وزن بخشهای مختلف پایه DC-0

نام قسمتی از پایه	ارتفاع (m)	وزن (kg)
بدنه مشترک	۳۵.۸۰۵	۶۶۳۶
بدنه اضافی ۱	۳	
بدنه اضافی ۲	۵.۶۶۵	۱۴۱۷
تک پایه ۱	۱	۱۲۱
تک پایه ۲	۲	۱۷۹
تک پایه ۳	۳	۲۱۷
تک پایه ۴	۴	۲۵۴
تک پایه ۵	۵	۳۲۱
تک پایه ۶	۶	۴۴۰
تک پایه ۷	۷	۴۸۶
تک پایه ۸	۸	۵۸۲
تک پایه ۹	۹	۶۷۸

تعیین اسپن اقتصادی

• در حل مسایل برنامه ریزی خطی و یا غیر خطی، معمولا جواب بهینه سازی مقید و نا مقید با یکدیگر متفاوت است. اسپاتینگ نیز یک مساله بهینه سازی مقید است که برخی از قیود آن در مسیر یابی بیان شد. ولی در اینجا برای سادگی محاسبات از این قیود صرف نظر می شود و هدف، حداقل کردن وزن آهن مصرفی با پیدا کردن اسپن یکسان در طول مسیر مستقیم است.

• نیروی کل وارد بر هادی در رژیمهای تابستان و زمستان را محاسبه کرده و به برنامه داده می شود و ضمنا فرض می شود که کشش مجاز هادی در رژیم بحرانی برابر ۴۰ درصد حد گسیختگی هادی می باشد. با این شرایط در کمترین اسپن فرضی، با معادله تغییر وضعیت کشش و در نتیجه فلش در تابستان محاسبه شده و بر اساس آن با رعایت فاصله ایمنی تا زمین می توان ارتفاع پایه را محاسبه نمود. لذا با توجه به تعداد پایه مورد استفاده می توان هزینه کل خرید و نصب پایه ها را محاسبه نمود. سپس یک متر به طول اسپن اضافه کرده و مجددا محاسبات فوق انجام می شود.

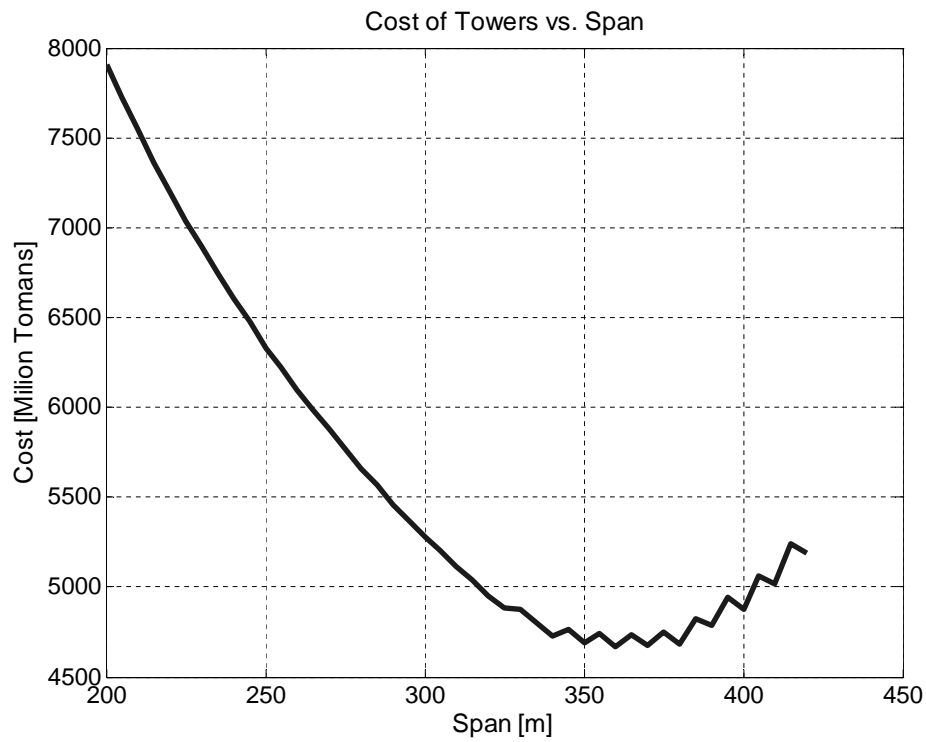
تعیین اسپن اقتصادی

• افزایش طول اسپن تا جایی ادامه می یابد که یکی از محدودیتهای زیر بوجود آید:

- محدودیت نیروهای وارد بر برج بر اساس Application Chart دکل و نیز تحمل نیروهای نامتقارن
- محدودیت کشش هادی
- محدودیت افزایش ارتفاع برج (حداکثر می توان ارتفاع برج را تا ۵۰.۴۷ متر افزایش داد).
- محدودیت رعایت فاصله بین فازها بر اساس گالوپینگ

• اصلاحات مورد نیاز در برنامه :

- محاسبه رژیم بحرانی با توجه به ضرایب اطمینان هر رژیم در هر مرحله افزایش اسپن
- محاسبه نیروی وارد بر مقره و انتخاب مقره با کلاس مکانیکی مناسب در هر مرحله افزایش اسپن
- در نظر گرفتن محدودیتهای فوق در حداکثر اسپن مجاز
- محاسبه تعداد مقره مورد نیاز در پروژه



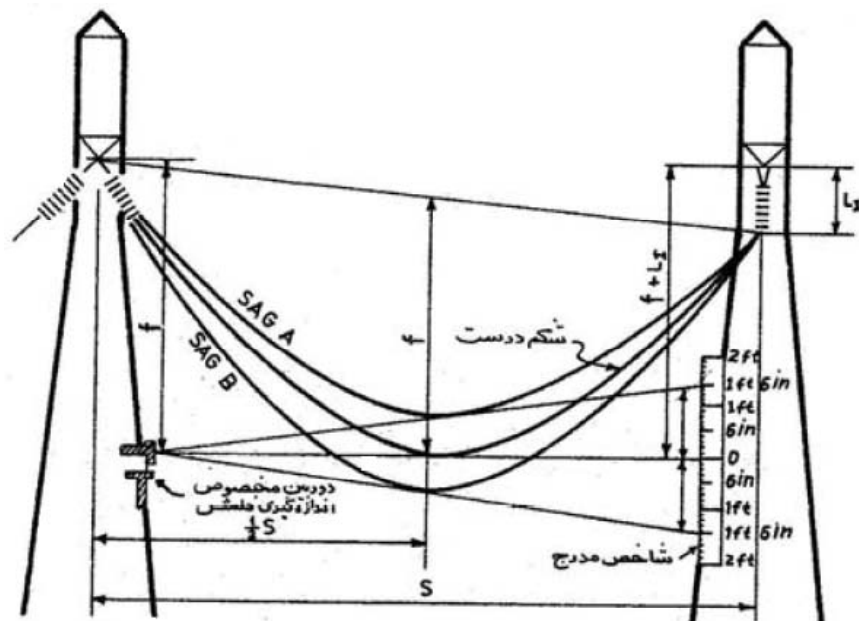
اقتصادی ترین اسپن بدون در نظر گرفتن قیود محیطی برج گذاری برابر ۳۷۴ متر می باشد. در صورتیکه با این اسپن از قابلیت های برج به خوبی استفاده نشده باشد بهتر است طراحی اصلاح شود.

سایر نکات اجرایی در سیم کشی

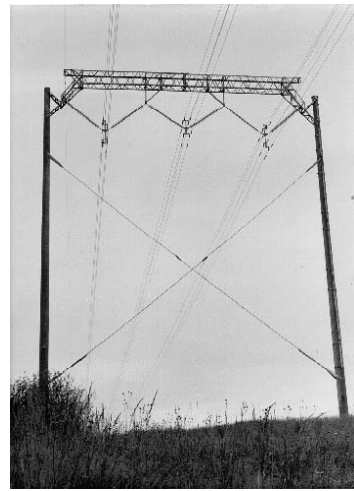
تهیه جدول sag-tension برای سیم کشی

S=۴۰۰		S=۳۵۰		S=۳۰۰		S=۲۵۰		S=۲۰۰		دمای محیط oC
H	F	H	F	H	F	H	F	H	F	
۲۶۷۷	۱۲/۸۸	۲۶۷۴	۹/۸۸	۲۶۶۹	۷/۲۷	۲۶۶۲	۵/۰۶	۲۶۵۰	۳/۲۵	۰
۲۶۳۸	۱۳/۰۸	۲۶۲۴	۱۰/۰۷	۲۶۰۴	۷/۴۵	۲۵۷۳	۵/۲۴	۲۵۲۶	۳/۴۱	۵
۲۶۰۰	۱۳/۲۷	۲۵۷۶	۱۰/۲۵	۲۵۴۲	۷/۶۳	۲۴۹۲	۵/۴۱	۲۴۱۶	۳/۵۷	۱۰
۲۵۶۲	۱۳/۴۶	۲۵۳۱	۱۰/۴۴	۲۴۸۴	۷/۸۱	۲۴۱۸	۵/۵۷	۲۳۱۶	۳/۷۲	۱۵
۲۵۲۸	۱۳/۶۵	۲۴۸۷	۱۰/۶۲	۲۴۳۰	۷/۹۸	۲۳۳۸	۵/۷۲	۲۲۲۶	۳/۸۷	۲۰
۲۴۹۴	۱۳/۸۳	۲۴۴۶	۱۰/۸۰	۲۳۷۹	۸/۱۶	۲۲۸۴	۵/۹۰	۲۱۴۵	۴/۰۲	۲۵
۲۴۶۲	۱۴/۰۱	۲۴۰۷	۱۱/۹۸	۲۳۳۱	۸/۳۲	۲۲۲۵	۶/۰۶	۲۰۷۱	۴/۱۷	۳۰
۲۴۳۸	۱۴/۲۰	۲۳۶۹	۱۱/۱۵	۲۲۵۸	۸/۴۹	۲۱۶۹	۶/۲۱	۲۰۰۳	۴/۳۱	۳۵
۲۴۰۰	۱۴/۳۷	۲۳۳۳	۱۱/۳۲	۲۲۴۲	۸/۶۶	۲۱۱۷	۶/۳۷	۱۹۴۱	۴/۴۴	۴۰
۲۳۷۱	۱۴/۵۵	۲۲۹۸	۱۱/۴۰	۲۲۰۱	۸/۸۲	۲۰۶۸	۶/۵۲	۱۸۸۴	۴/۵۸	۴۵
۲۳۴۳	۱۴/۷۳	۲۲۶۵	۱۱/۶۶	۲۱۶۲	۸/۹۸	۲۰۲۳	۶/۶۶	۱۸۳۱	۴/۷۱	۵۰

نحوه تنظیم فلش در یک اسپن با مقره های کششی و آویزی



خطوط انتقال فشرده (Compact Transmission Lines)



- یکی از راهها برای کاهش حریم خطوط انتقال، کاهش فاصله بین خطوط است.
- میزان فشردگی خطوط به عواملی نظیر حفظ فاصله عایقی مناسب، توجه به نوسانات هادیها بستگی دارد که خود به میزان باد، اسپین، شکل برج و ... وابسته است.

خطوط انتقال فشرده (Compact Transmission Lines)

- تقلیل فواصل برجها با هدف تقلیل دامنه نوسانات هادیها
- کاهش درجه حرارت طراحی هادیها در جهت تقلیل فلش یا شکم هادیها
- استفاده از برجهای کمپاکت با هدف کاهش باند عبور
- حذف قسمت‌های فلزی برجها در حد فاصل فازها
- نصب فاصله نگهداری عایقی بین فازها
- تقلیل طول زنجیره مقرهها با انتخاب مقره‌های مناسب
- افزایش کشش هادیها با بکارگیری هادی‌های مناسب
- کاهش نوسانات هادیها (Galloping Swing) به کمک تجهیزات
- انتخاب هادی‌های مناسب

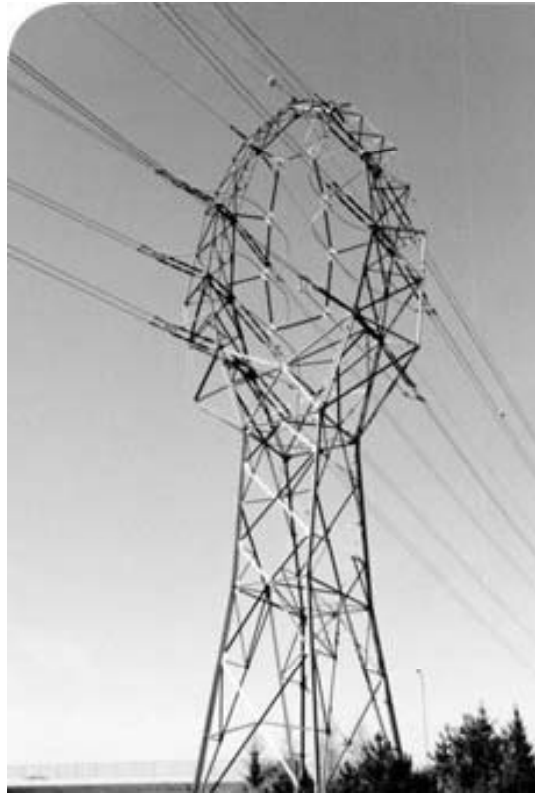


تصاویر متنوع از خطوط انتقال

Transposed Line



Compact Double-Circuit 400kV Tower



برج H-Type فوق توزیع از جنس چوب یا بتنی



Seaside Line (Along the Florida Keys)



مهيار کابل سه فاز توسط سيم فولادی



مقره II شکل با هدف افزایش قابلیت تحمل مکانیکی مقره



خطوط ۱۱۵ کیلوولت با پایه چوبی H-Frame از نوع معمولی و compact



خط ۳۴۵ کیلوولت با پایه چوبی H-Frame



برج Compact فلزی U شکل



پایه چوبی با Cross Arm به صورت زیگزاگ



استفاده از سیم مهار فولادی در برج زاویه چوبی





Tunnel-laid GIL for voltages up to 550 kV



GIL

نیروگاه آبی کارون ۳





برخی مشکلات خطوط انتقال

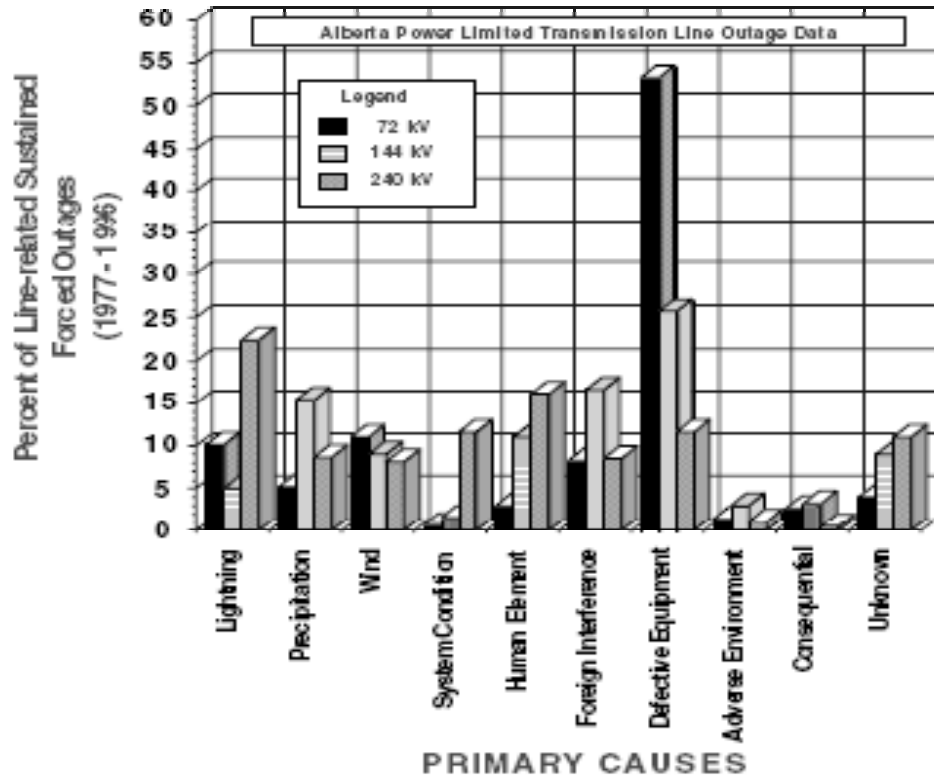
برخی مشکلات خطوط انتقال

- هزینه خط انتقال در هر کیلومتر برای خط ۶۳، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت به ترتیب حدود ۱۰۰، ۱۸۰ و ۳۱۰ میلیون تومان است (فهرست بهای سال ۱۳۸۹ و در مسیر صاف و غیر کوهستانی)

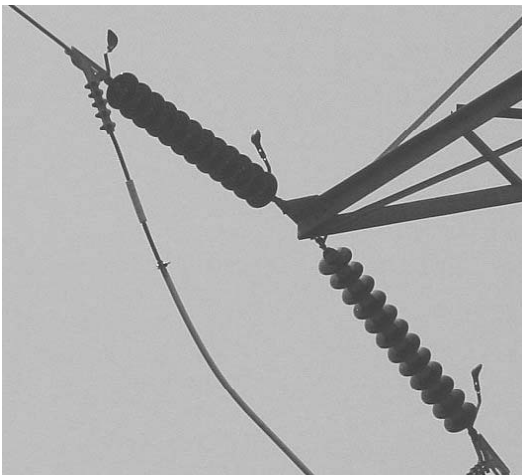
- به هنگام نصب فونداسیون بایستی محل stub ها چک شده و در شناسنامه فونداسیون درج شود. در صورتی که تیرانس بیش از مقدار مطلوب باشد لازم است اصلاح شده و یا محل پایه عوض شود. در غیر اینصورت باعث تاب خوردن برج شده و نیروهای وارده را ممکن است تحمل نکند.

- جابجا بستن یک جفت نبشی که ۳ سانتی متر با هم اختلاف طول داشتند و حتی قبل از سیم کشی نیز مشکلی را ایجاد نکرده بود باعث شد که پس از سیم کشی تعداد ۵۶ برج از خط ۴۰۰ کیلوولت بیرجند-زاهدان تاب بردارد که در ۱۲ مورد با چشم نیز واضح بود و در بقیه با کمک دوربین شناخته شد.

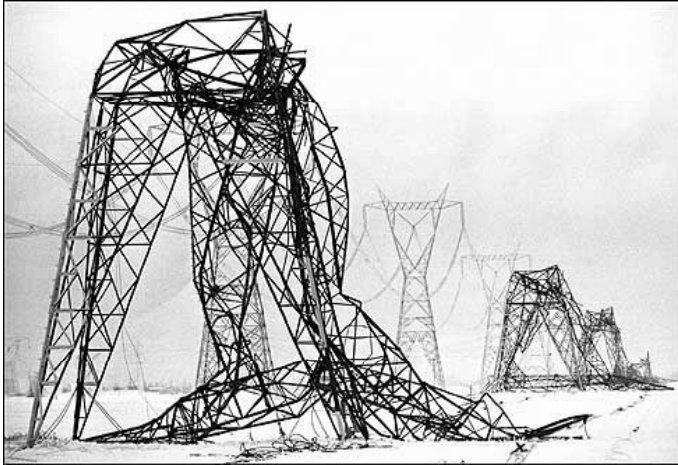
Significant Cause of Transmission Lines Outages



An old (1950's) 230kv double circuit structure transmission line with only one circuit and close-up of arcing horns on strain insulators



آسیب به برج

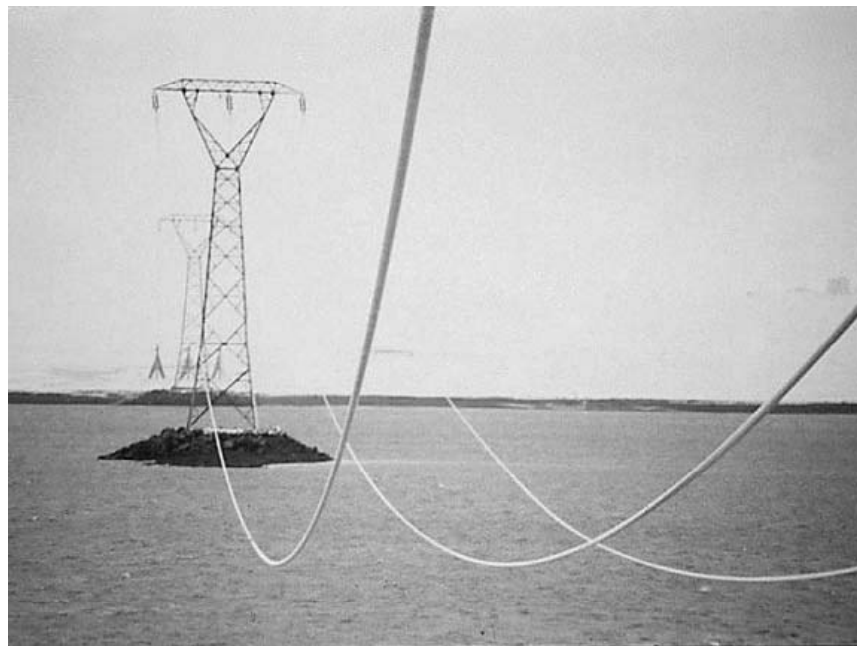


- طراحی نامناسب
- شرایط جوی غیر منتظره و سخت تر از فرض اولیه طراحی
- بازکردن غیر مجاز برخی نبشی های برج
- عدم استفاده از برخی نبشیهها در زمان دکل بندی

Storm Damage of 345-kV Transmission Lines



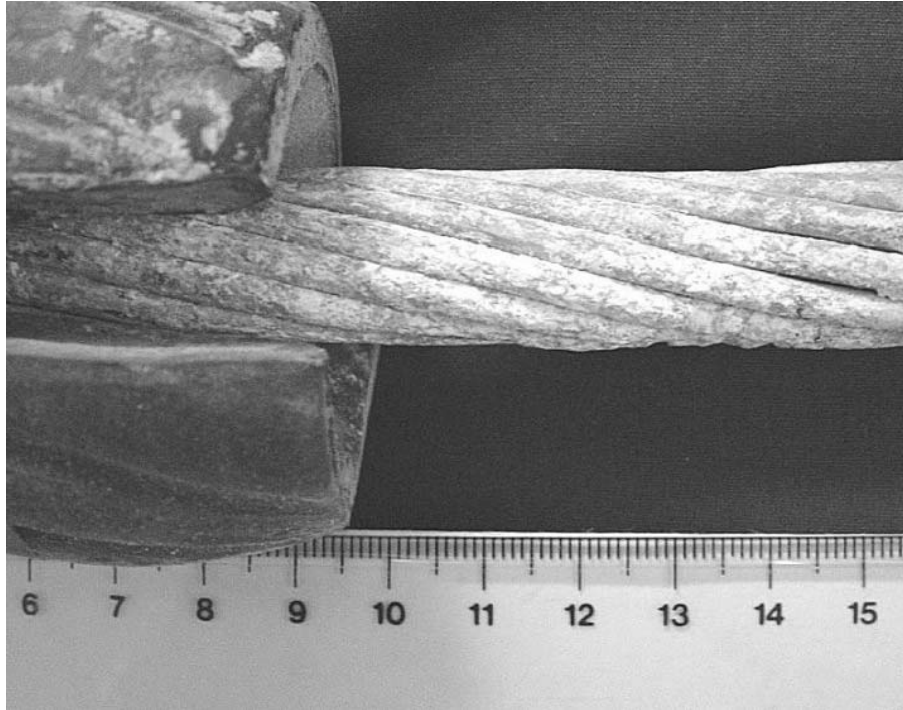
افزایش شکم سیم بیش از حد مجاز ناشی از یخ سنگین در خط عبوری از رودخانه



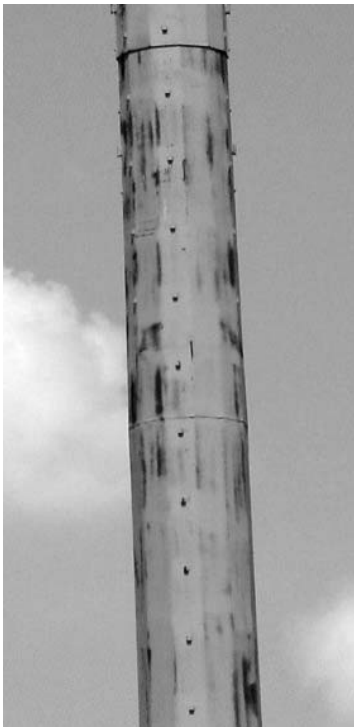
Wind damage to steel lattice self-supporting structures - California



Corrosion in Overhead Conductors



Corrosion of steel pole (Manufactured in 1960)



Corrosion of steel lattice structure (Manufactured in 1940)

