مقدمه

در این قسمت با نحوه ی انتخاب شرایط بارگذاری مناسب جهت خطوط انتقال نیرو ، به منظور استفاده در محاسبات نیرو های وارد به برج اشنا خواهید شد . شرایط جوی منطقه ای که خط انتقال انرژی از ان میگذرد دارای اهمیت زیادی بوده و لذا تهیه امار هواشناسی منطقه مورد نظر جهت پیش بینی بار های اضافی احتمالی روی برج و تامین ضرایب اطمینان مورد نیاز ، حائز اهمیت فراوان است .

بدین منظور با استفاده از اطلاعات سازمان هواشناسی امار دقیق چندین ساله درجه حرارت محیط طی ماه های مختلف و سرعت باد در منطقه مورد بررسی قرار گرفته و همچنین با توجه به مشخصات منطقه ، میزان ضخامت یخ که ممکن است دور سیم تشکیل شود براورد می گردد . حالاتی که باری بارگذاری انتخاب می گردد بایستی تمام شرایط جوی ان منطقه را بپوشاند . در غیر اینصورت حالات در نضر گرفته شده ممکن است منجر به افزایش فلش ، کشش و یا انحراف زنجیره مقره خارج از حدود پیش بینی شده گردد . بدیهی است تغییر هر یک از عوامل فوق نسبت به مقادیر پیش بینی شده در طراحی ، نیز میتواند باعث کاهش فواصل الکتریکی لازم و یا افزایش نیروها تا حد پارگی سیم و یا سقوط برج گشته و ضمن بروز اختلال در برق رسانی ، خسارات سنگینی را نیز بدنبال دارد .

بایستی متذکر شد که در اینجا هدف محاسبه ی نیرو های وارد به برج است .

تعاریف

با توجه به به تنوع اب و هوایی در مناطق مختلفی که مسیر خط انتقال نیرو از انها عبور میکند و تاثیر قابل توجهی که محیط اطراف و شرایط موجود در ان بر روی خط دارد ، این مناطق را به صورت مناطق با شرایط زیر تعریف نموده اند .

-شرایط عدی

_ شرایط استاندارد سبک
_ شرایط حد سبک
_ شزایط یخ متوسط
_شرایط باد متوسط
_ شرایط استاندارد سنگین
_ شرایط یخ سنگین
_ شرایط باد شدید
_ شرایط فوق سنگین

شرایط منطقه ای

همانطئر که قبلا اشاره شد شرایط بارگذاری مناسب جهت خطوط انتقال نیرو بستگی به شرایط منطقه ای که خطوط مذکور در ان قرار گرفته اند دارد و با توجه به وسعت کشور و تنوع اب و هوایی در قسمت های مختلف ، مناطق به ۳ حالت اصلی (سبک ، متوسط و سنگین) و یک حالت فوق العاده (فوق سنگین) بترتیب زیر تقسیم بندی گردیده اند :

۱-مناطق با شرایط سبک :

در این مناطق درجه حرارت حداقل به -۵ درجه میرسد و بعلت بالا بودن درجه حرارت در اکثر اوقات و خشکی هوا ، ایجاد یخ روی سیم احتمال بسیار ضعیفی داشته و از دیگر مشخصات این مناطق کم بودن ارتفاع انها از دریاست _ حداکثر ۷۰۰ متر)
قسمت های جنوبی کشور یعنی دشت خوزستان ، کرانه خلیج فارس و دریای عمان را میتوان جزو مناطق دارای شرایط سبک در نظر گرفت .
مشخصه این مناطق باد شدید است که حداکثر مقدار ان تا ارتفاع ۲۰ متری ۴۰ متر در ثانیه و بالاتر از ان ۴۵ متر در ثانیه بایستی منظور شود .

۲-مناطق با شرایط متوسط :

در این مناطق درجه حرارت حداقل به -۵ درجه رسیده و اغلب به صورت مناطق کویری و خشک بوده و لذا سرعت باد شدید و ضخامت یخ روی سیم بسیار کم است .
بطور کلی قسمت های کویری کشور جزو این مناطق بوده و همچنین جنوب استان خراسان ، شمال استان سیستان و بلوچستان ، استان یزد ، استان کرمان ، جنوب استان لرستان و مناطق غیر کوهستانی استان مازندران می تواند جزو این مناطق با شرایط متوسط محسوب شوند .شرایط حد برای این منطقه تند باد با سرعت ۳۵ متر در ثانیه تا ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین و برای ارتفاع بالاتر از ان ۴۰ متر در ثانیه در نظر گرفته می شود . حداکثر ضخامت یخ روی سیم نیز بایستی ۱۵ میلیمتر منظور گردد.

۳-مناطق با شرایط سنگین :

در این مناطق درجه حرارت حداقل به -۲۵ درجه رسد و به علت وجود رطوبت نسبتا زیاد در این مناطق ضخامت یخ بالا می باشد . شرایط حد برای این مناطق ، تندباد با سرعت ۳۵ متر بر ثانیه تا ارتفاع ۲۰ متری از زمین و ارتفاع بالاتر از ان ۴۰ متر در ثانیه در نظر گرفته می شود . ضخامت یخ حداکثر ۲۵ میلیمتری بایستی منظور شود .
قسمت های غربی و جنوب غربی کشور جزو این مناطق محسوب شده و اغلب شامل مناطق کوهستانی است .

۴-مناطق فوق سنگین :

علاوه بر شرایط فوق، تجربه نشان داده که در برخی مناطق سرعت باد و یا ضخامت یخ گاهی از مقادیر ذکر شده نیز فراتر می رود و بطور کلی برای مناطق با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و همچنین کرانه باختری دریای مازندران تا رودسر ، شرایط می بایستی یک درجه سنگین تر فرض شود .
مثلا اگر ان قسمت در منطقه ای با شرایط متوسط قرار دارد . شرایط مربوط به منطقه سنگین در مورد ان در نظر گرفته شود و برای قسمت هایی که در منطقه سنگین قرار دارند میزان ضخامت یخ حداکثر ۴۰ میلیمتر در نظر گرفته شود. معمولا در این حالت فاصله بین برجها را کمتر میگیرند و سیم کشی با کشش کمتری انجام می شود .به عبارت دیگر برج هایی که برای شرایط سنگین طراحی شده اند با شرایط فوق سنگین وفق داده می شوند.

تاثیر باد :

بطور کلی ویژگی های باد را می توان بصورت زیر بر شمرد :

۱- طبیعت باد : اصولا باد در اثر بروز اختلاف فشار بین دو نقطه مجاور بوجود میاد . سرعت باد در سطح زمین به علت وجود اصطحکاک کمتر بوده بتدریج هر چه بالاتر رویم سرعت ان زیادتر می شود سرعت باد در مناطقی که عوارض سطحی مانند سطح دریا و بیابان باشد بیش از مناطق پر درخت و کوهستانی است .

در صورتی که سرعت باد از حدی فراتر رود در اثر اصطحکاک با زمین یا برخورد با موانع تبدیل به حرکت گردبادی شده و به ان تند باد می گوییم . از انجا که سرعت تند باد در هر نقطه دائما در حال تغییر است ، در محاسبات خط انتقال در حالت تند باد از ضریب تند باد (Gast Factor) استفاده نموده و سرعت باد روی برج را ۳۰ درصد بیشتر از سرعت باد در نظر میگیریم .

محاسبه کشش سیم و نیرویی که تند باد روی سیم وارد می کند نیز ۳۰ درصد افزایش صورت میگیرد . فشار باد روی اجسام مختلف تاثیرات مختلف داشته و نیرو ی وارد به جسم کاملا به شکل ان جسم بستگی دارد . برای این حالت نیز از ضریبی بنام ضریب شکل (shape factor) استفاده میشود .

۲- ضریب اطمینان :

عبارتست از نسبت نیروی گسیختگی به نیروی وارد شده که با "sf" نشان میدهند.

۳- ضریب شکل :

ضریبی است که برای محاسبه نیروی باد روی اجسام بکار میرود و بستگی به شکل جسم دارد و با "s" نشان میدهند

۴- ضریب تندباد :

نسبت سرعت لحظه ماکزیمم به سرعت باد اندازه گیری شده را گویند و با "G" نشان میدهند

۵- ضریب تأثیر :

نسبت نیروی مؤثر باد به نیرویی که از طریق محاسبه با سرعت بدست می‌آید را ضریب تأثیر گویند و با "E" نشان میدهند .

۶- ضریب پوشش :

در صورتی که باد قبل از برخورد با سطح مورد نظر با مانعی برخورد کند از سرعت آن کاسته خواهد شد که در این صورت از ضریب فوق استفاده میگردد.

۷- ضریب تصحیح:

ضریبی است که برای تبدیل حالت مورد محاسبه به حالت استاندارد بکار میرود . مثلاً دهانه وزنی در حالتی که مورد محاسبه است ممکن است با دهانه وزنی در حالت گرم مساوی نباشد که در چنین حالتی باید از ضریب تصحیح (که با حروف "C" نشان میدهد) استفاده نمود .

شرایط استاندارد بارگذاری :

شرایط مناطق مختلف که در قسمتهای قبلی ذکر شد . شرایط حدی بوده و در محاسبات علاوه بر شرایط حد ، شرایط دیگری که مرکب از یخ و باد توأم باشد را نیز در نظر میگیرند .

این شرایط را که در آن باد و یخ با سرعت و ضخامت حدود نصف حالت حد در نظر گرفته میشود را شرایط استاندارد گویند و برای مناطق مختلف بصورت زیر میباشد:

۱- شرایط استاندارد سبک :

حرارت محیط: صفر درجه سانتی گراد

سرعت باد : ۲۶متر بر ثانیه در تمام نقاط

ضخامت یخ : صفر میلیمتر

۲- شرایط استاندارد متوسط :

حرارت محیط: ۱۰-درجه سانتی گراد

سرعت باد : ۱۸ متر بر ثانیه در تمام نقاط

ضخامت یخ : ۷میلیمتر

۳- شرایط استاندارد سنگین :

حرارت محیط: ۲۰-درجه سانتی گراد

سرعت باد : ۱۸متر بر ثانیه در تمام نقاط

ضخامت یخ : ۱۵میلیمتر

شرایط حد بارگذاری :

همانطور که عنوان شد علاوه بر شرایط استاندارد برجها می‌بایستی تحمل شرایط حد را که معمولاً در حالت تندباد یا یخ سنگین بوجود می‌آید را داشته باشند و این شرایط با توجه به مناطق مختلف بقرار زیرست:

۱- شرایط حد سبک :

حرارت محیط :۱۵درجه سانتی گراد

سرعت باد تا ارتفاع ۲۰ متری :۴۰ متر در ثانیه

ا در رتفاع بالای ۲۰ متر :۴۵ متر در ثانیه

ضخامت یخ : صفر میلیمتر

۲- شرایط حد متوسط:

الف) **حرارت محیط :**۱۵درجه سانتی گراد

سرعت باد تا ارتفاع ۲۰ متری : ۳۵ متر در ثانیه

درارتفاع بالای ۲۰ متر :۴۰ متر در ثانیه

ضخامت یخ :صفر میلیمتر

ب) **حرارت محیط :**۵ - درجه سانتی گراد

سرعت باد: صفرمتر بر ثانیه در تمام نقاط

ضخامت یخ :۱۵ میلیمتر

۳- شرایط سنگین :

الف) **حرارت محیط :**۱۵درجه سانتی گراد

سرعت باد تا ارتفاع ۲۰ متری :۳۵ متر در ثانیه

سرعت باد در ارتفاع بالای ۲۰ متر : ۴۰ متر در ثانیه

ضخامت یخ :صفر میلیمتر

ب) **حرارت محیط:**۵- درجه سانتی گراد

سرعت باد:صفرمتر بر ثانیه در تمام نقاط

ضخامت یخ : ۲۵ میلیمتر

۱۰ - شرایط استثنایی :

تجارب گذشته نشان داده‌اند که علاوه بر شرایط ذکر شده در فوق شرایط دیگری نیز بایستی مدنظر قرار گیرند . تعدادی از این شرایط به صورت روبروست:

۱- شرایط پارگی :

این شریاز برای حالت بالاترین کشش سیم که معمولاً در شرایط حد اتفاق میی افتد درنظر گرفته میشود .

۲- شرایز اختلاف کشش :

در این شرایط فرض میشود که در یک سمت برج سیمها بدون یخ و در سمت دیگر دارای یخ باشند این حالت برای شرایط استاندارد محاسبه میگردد . در شرایط استاندارد سبک بایستی اختلاف کشش ناشی از اختلاف دو اسپن مجاور نیز منظور گردد .

۳- شرایط زلزله:

در این حالت که برای سنگین ترین حالت (بالاترین نیروی وزن) بایستی منظور گردد ، ۲۰درصد نیروهای وزن را به نیروهای عرضی اضافه مینمایند.

۴- شرایط تعمیرات و ساختمان خط :

این شرایط در دماه ۱۵ درجه سانتیگراد و بدون باد درنظر گرفته میشود که از برجهای تکمداره سیمکشی فازها و سیم محافظ بصورت تکی و برج بدون سیم ، و در برجهای دو مداره سیمکشی یکمداره و برج بدون سیم خواهد بود

شرایط عادی (E.D.S) :

در حقیقت خطوط انتقال نیرو که برای تحمل نیروهای فوق العاده در شرایط بحرانی طراحی میگردند ، دائماً تحت تأثیر این نیروها نبوده و تنها در روزهای اندکی از سال ممکن است شرایط دشوار پدید آید .

بیش از تمام شرایط ذکر شده تا اینجا ، خطوط انتقال نیرو در اغلب روزهای سال تحت تأثیر شرایط عادی یا روزمره (Every Day Stress) قرار دارند و آن شرایطی است بدون باد و بدون یخ . درجه حرارت محیط نیز در این شرایط بستگی به محل عبود خط دارد . بطوری که برای مناطق با شرایط سنگین درجه حرارت را ۱۵ درجه ، برای مناطق با شرایط متوسط ۱۸ درجه و برای مناطق با شرایط سبک درجه حرارت روزمره را ۲۰ درجه سانتی گراد منظور مینمایند .

۱۱- ضرایب اضافه بار و ثابت بارها :

به هنگام طراحی در شرایط مختلف ، ضرایب اضافه بار و ثابتهای بخصوصی در نظر گرفته میشود که بقرار زیرند :

۱- شرایط استاندارد بارگذاری :

در این شرایط علاوه بر ضرائب اضافه بار می‌بایستی مقادیر ثابت زیر را به نیروهای وارد بر هر متر سیم اضافه نمود:

حالت سبک:۷۰ گرم

حالت متوسط :۲۵۰ گرم

حالت سنگین :۴۵۰ گرم

ضرایب اضافه بار هم به ترتیب زیر است :

الف) خطوط درجه یک (خطوط ۲۳۰ kV و بالاتر) :

ضریب اضافه بار برای نیروهای ناشی از باد :
۵/۲

ضریب اضافه بار برای نیروهای مقاوم :
۵/۱

ضریب اضافه بار برای نیروهای طولی (ناشی از کشش سیم) : ۶۵/۱

ب) خطوط درجه دو :

- ضریب اضافه بار برای کلیه نیروها بجز نیروی وزن برج و مقره در حالت یخ سنگین ۱/۱
- ضرایب اضافه بار برای نیروهای وزن برج و مقره در حالت یخ سنگین (۸-۳-ب) ۳/۱

۳- شرایط استثنایی :

ضرایب اضافه بار تحت این شرایط ۹۰ درصد ضرایب اضافه بار مربوط به حالت اصلی خواهد بود . مثلاً اگر پارگی سیم در حالت (۸-۳-ب) باشد ، ضریب اضافه بار آن حالت ۰۸/۱=۹/۰ × ۲/۱ و برای وزن بجر ۳۵/۱= ۹/۰ × ۵/۱ میگردد .

جدول شماره (۱) ضرایب اضافه بار

نوع بارگذاری		خطوط درجه یک	خطوط درجه دو
شرایط استاندارد	بار ناشی از باد	۵/۲	۳/۲
	بار قائم	۵/۱	۲/۱
	بار ناشی از کشش سیم	۶۵/۱	۲/۱
شرایط حد	کلیه بارها	۲/۱	۱/۱
	وزن برج و مقره	۵/۱	۳/۱
شرایط فوق سنگین	کلیه بارها	۱/۱	۰/۱

در صفحات انتهای فصل چند تیپ از برجهای تکمدارهایکه برای یک خط ۴۰۰ کیلوولت جهت منطقه با شرایط فوق سنگین طراحی گردیده بعنوان نمونه ارائه شده و جداول بارگذاری هر یک از برجها نیز در کنار آنها آمده است .

۱۲- محاسبه نیروهای روی برج (درخت نیروها) :

همانطور که مدیانیم وظیفه اصلی برج نگهداری هادیها است و بیشترین نیروی وارد بر برج نیز از طریق هادیها اعمال میگردد. هادیها یک نیروی قائم است به سمت پایین (در اثر وزن هادی) و یک نیروی افقی (اثر باد و زاویه دار بودن خط) به برج وارد میسازند .

نیروی عمودی (Vertical) حاصل از وزن هادی که آنرا با (V) نشان میدهند از حاصل ضرب برآیند وزن واحد طول هادی در اسپین وزن بعلاوه وزن مقره و اتصالات به دست می‌آید :

$$V = \omega_v . S_v + (\text{وزن مقره و اتصالات})$$

که حاصل از نیروی باد بر روی هادیها و نیز زاویه دار بودن برج Transversalنیروی افقی نشان میدهند از حاصل ضرب وزن واحد طول هادی تحت شرایط باد در (T)میباشد و با حرف اسپین باد بعلاوه برآیند نیروی وارد بر برج در اثر زاویه دار بودن خط بدست می‌آید:

$$T = \omega_w . S_w + 2H . \text{Sin}\,\alpha \;/\; 2$$

همانطور که شکل نشان میدهد ، در صورتی که برجی در مسیر خط تحت زاویه A قرار گیرد نیروهایی بصورت افقی از هر طرف به آن وارد میشود . این نیروها عبارتند از :

H . Cos (a / 2)

H . Sin(a / 2)

که در آن H بصورت کشش افقی سیم می‌باشد .

همانگونه که در شکل نیز مشخص است ، نیروهای متقابل (H . Cos (a / 2 یکدیگر را خنثی نموده و نیروهای (H . Sin (a / 2 با یکدیگر جمع میشوند و نهایتاً برآیند نیروهای حاصل از زوایه دار بودن برج که از طریق هادیها بدان اعمال میگردد برابر خواهد شد با :

2 . H . Sin (a /2)

نیروی سومی هم ممکن است در جهت طولی از طریق هدیها به برج اعمال شود که آنرا نیروی طولی (Longitudinal) گیوند و با حرف L نشان میدهند . این نیرو فقط در حالت پارگی تعدادی از هادیها به برج اعمال میپردد و برحسب شرایط موجود ممکن است فقط برای یک یا دو هادی (و نه تمام هادیها) منظور شود . در اثر پارگی یکی از هادیهای روی برج ، نیرویی در جهت طولی از طرف هادی طرف مقابل که هنوز به برج متصل است به آن نقطه اعمال میگردد و اکنون برج بایستی این نیروی جدید که قبلاً توسط هادی مقابل خنثی میشد را تحمل نماید .

مقدار نیروی L عبارتست از کشش حالت پارگی مربوطه که میتواند در شرایط بارگذاری باد شدید ، یخ شدید ، حداقل دما و غیره باشد .

L = (Tension of broken wire)

لازم به ذکر است که در شرایط بارگذاری مختلف ، وزن واحد طول هادی مربوط به همان شرایط ( ) در روابط V و T قرار میگیرد .

بعنوان مثال در شرایط عادی (E.D.S) که نیروی باد صفر بوده و یخ وجود ندارد اگر برج تحت زاویه نباشد فقط نیروی قائم V از طرف هادیها به برج اعمال می‌شود و در رابطه فوق هم ، w وزن واحد طول هادی لخت (Bare) میباشد .

اگر همین برج تحت شرایط یخ سنگین قرار گیرد (باد صفر است) باز هم تنها نیروهای قائم V وجود خواهند داشت ، لیکن در این حالت وزن واحد طول هادی از برآیند نیروی وزن هادی و یخ دور آن حاصل میشود .

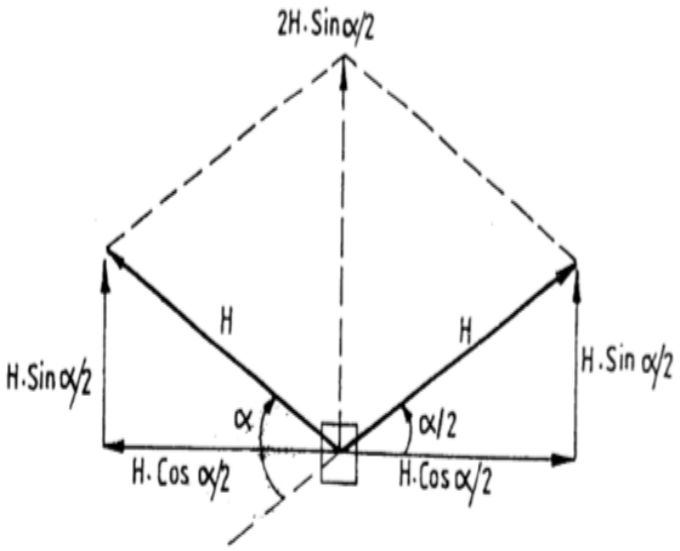
در شرایط باد و یخ توأم نیز بایستی w برآیند را در هر حالت محاسبه و در روابط V و T جایگزین نمود .

برای هادیهای باندل نیز بایستی w را در تعداد هادیهای باندل ضرب نمود و در روابط قرار داد (بصورت ۲w ، ۳w و ...)

در انتها کلیه نیروهای موجود در هر حالت را در جداولی مرتب نموده و آنگاه با اعمال ضریب اطمینان لازم به این مقادیر خام ، مقادیر نهایی حاصل میشود .

Ultimate Load = Working Load . (S.F)

از انتقال این نیروها بر برج ، درخت نیروها بصورت شکل زیر حاصل میشود . این اعداد برای طراحی برج و فونداسیون مناسب ، در اختیار طراح مربوطه قرار میگیرد .



شکل (۱)