

تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری در طراحی دکلهای انتقال نیروی ایران

سید احمد میرشریفی*

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده عمران - دانشگاه صنعتی شاهرود

وحید رضا کلات جاری

استادیار دانشکده عمران - دانشگاه صنعتی شاهرود

(تاریخ دریافت ۸۴/۴/۱۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۱۰/۸، تاریخ تصویب ۸۵/۱/۲۶)

چکیده

هرسازه مهندسی برای تحمل گروهی از بارها طراحی می شود که می توانند بر اثر عوامل داخلی (بارهای مرده و زنده) و یا عوامل خارجی (بارهای ناشی از باد، زلزله، برف، یخ و ...) بوجود آیند. با آنکه عدم قطعیت این بارها و تصادفی بودن آنها بر هیچکس پوشیده نیست، اما تا سال ۱۹۶۰ هیچ تلاش جدی برای وارد کردن خصوصیات آماری بارها در طراحی سازه ها انجام نگرفته بود. در حدود سالهای ۱۹۶۰ و بعد از آن رویکرد آئین نامه ها بگونه ای بوده است تا خصوصیات تصادفی بارها و مقاومت مصالح به شکل مناسبی در طراحی سازه ها وارد شود. در این میان در تدوین آئین نامه های ملی کشورمان نیز گرایش به سمت لحاظ نمودن خصوصیات احتمال اندیشانه بار و مقاومت بوده است، ولی تاکنون در این زمینه مطالعات آماری لازم برای بررسی بارهای مؤثر، مقاومت مصالح و غیره، که در انطباق با اقلیم و شرایط ساخت و ساز کشورمان باشد، انجام نیذیرفته است. در حال حاضر، به منظور بارگذاری و طراحی دکلهای انتقال نیرو نیز از تلفیق چند آئین نامه خارجی استفاده می شود که استفاده و تطابق آنها با توجه به شرایط جوی و محیطی ایران جای بحث دارد. در این مقاله، پارامترهای آماری متغیرهای تصادفی سرعت باد و ضخامت یخ، که از جمله بارهای مؤثر در بارگذاری دکلهای انتقال نیرو هستند برای چهار شهر از مناطق مختلف آب و هوایی ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است و در خاتمه مقادیر اسمی جدیدی برای این متغیرها جهت اصلاح آئین نامه بارگذاری مشانیرپیشنهادگردیده است.

واژه های کلیدی: آمار و احتمال - متغیرهای تصادفی بارگذاری - مقادیر اسمی بار باد و ضخامت یخ - دکلهای انتقال نیروی ایران

مقدمه

مشخص نیست که این مقادیر بر اساس چه شرایط و معیاری محاسبه شده است. از طرفی تحقیقات اخیر از میان ساکنین و مهندسين مقیم مناطق مختلف کشورحاکمی از مقادیر متفاوتی برای اطلاعات آماری سرعت باد و ضخامت یخ می باشد.

بنابراین در این مقاله با استناد به اطلاعات هواشناسی چهارشهر (بندرعباس، یزد، تهران و شهرکرد) از شهرهای کشورمان که هرکدام در مناطق آب و هوایی متفاوتی واقع شده اند و با استفاده از روشهای نوین آماری و هواشناسی در مدلسازی ضخامت یخ و سرعت باد سعی شده تا مقادیر اسمی واقعی این متغیرها با توجه به مطالعات دقیق آماری تعیین گردند. به این ترتیب می توان از اطلاعات بدست آمده در تدوین آئین نامه های ملی استفاده نمود.

بارباد، برف و یخ از جمله بارهای محیطی هستند که می توانند تأثیر بسزائی در نتایج طراحی دکلهای انتقال نیرو داشته باشند. لذا استفاده از مقادیری کورکورانه برای این متغیرهای تصادفی در بارگذاری اینگونه سازه ها، که در تعیین آنها شرایط اقلیمی واقعی ایران در نظر گرفته نشده باشد، در بعضی از موارد می تواند منجر به طراحی های محافظه کارانه و در برخی دیگر نتیجه عکس داشته باشد و در نهایت جنبه اقتصادی طراحی را زیر سوال ببرد.

در حال حاضر، جهت تعیین متغیرهای فوق در طراحی دکلهای انتقال نیرو از آئین نامه پیشنهادی بارگذاری که در سال ۱۹۹۸ میلادی (۱۳۷۷ ه. ش.) توسط شرکت مشانیر تدوین شده است، استفاده می گردد. مقادیر ارائه شده در این آئین نامه اقتباس شده از بررسی های نظری است که توسط متخصصین سوئدی در سال ۱۹۷۸ میلادی (۱۳۵۷ ه. ش.) در کشور ایران انجام گرفته و

با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری، به بارهای با عدم قطعیت بیشتر ضرایب افزایش بار بزرگتری اختصاص خواهد یافت.

البته این مطلب جای بحث و بررسی جامع تری دارد، که محققین درمقاله دیگری تحت عنوان تحلیل و طراحی احتمال اندیشانه دکل‌های انتقال نیروی ایران به آن پرداخته‌اند.

اطلاعات هواشناسی مربوط به سرعت باد و

ضخامت یخ در ایران و نحوه پردازش آنها

نحوه پردازش اطلاعات هواشناسی سرعت باد

اطلاعات سازمان هواشناسی ایران در مورد سرعت باد در چهار شهر انتخابی (بندرعباس، یزد، تهران و شهرکرد) تقریباً برای یک دوره ۵۰ ساله موجود می‌باشد. در مورد مدلسازی سرعت باد، تنها نیاز به بیشترین سرعت پایه باد روزانه داریم. با دراختیار داشتن این مقادیر می‌توان براحتی مقدار بیشترین سرعت باد را در آخر هر ماه و در هر سال تعیین نمود.

در بررسی‌های انجام شده جهت تعیین خصوصیات آماری سرعت معمولی باد، از اطلاعات مربوط به بیشترین سرعت ماهیانه باد و برای محاسبه پارامترهای آماری مربوط به بیشترین سرعت باد از مقادیر مربوط به بیشترین سرعت سالیانه باد استفاده شده است.

در نهایت با استفاده از برنامه‌ای تحت عنوان WSP که در محیط Excel و به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است، میانگین و انحراف معیار متغیرهای تصادفی فوق الذکر برای چهار شهرانتخابی محاسبه و با استفاده از روش کنترلی مربع چی [۱۱] (Chi) نوع تابع توزیع احتمال آنها مشخص گردیده است. در جدول (۲) خلاصه نتایج حاصله آورده شده است.

اثر ارتفاع در تعیین سرعت باد (تبدیل سرعت پایه باد به سرعت آن در ارتفاع سیم)

مقادیر ارائه شده در جدول (۲) مربوط به سرعت پایه باد می‌باشند، که معمولاً در ارتفاع ۱۰ متری اندازه گیری می‌شوند.

معرفی اجمالی آئین نامه بارگذاری شرکت مشانیر

این آئین نامه کشور ایران را از نظر شرایط جوی به چهار منطقه سبک، متوسط، سنگین و فوق سنگین تقسیم بندی می‌نماید (شکل (۱)) و برای هر یک از این مناطق مقادیر متفاوتی برای چهار متغیر اصلی و اولیه بارگذاری؛ یعنی سرعت معمولی باد، بیشترین سرعت باد، ضخامت معمولی یخ و بیشترین ضخامت یخ، طبق جدول (۱) ارائه می‌دهد.

در این آئین نامه پس از انتخاب منطقه آب و هوایی و تعیین مقادیر اسمی بار باد و ضخامت یخ مطابق با آن، حالات بارگذاری زیر برای طراحی دکلها استفاده می‌شود، [۲].

(۱) حالت یخ و باد معمولی

(۲) حالت یخ سنگین

(۳) حالت باد شدید

(۴) حالت باد و یخ معمولی و پارگی سیم

(۵) حالت پارگی سیم در یخ سنگین

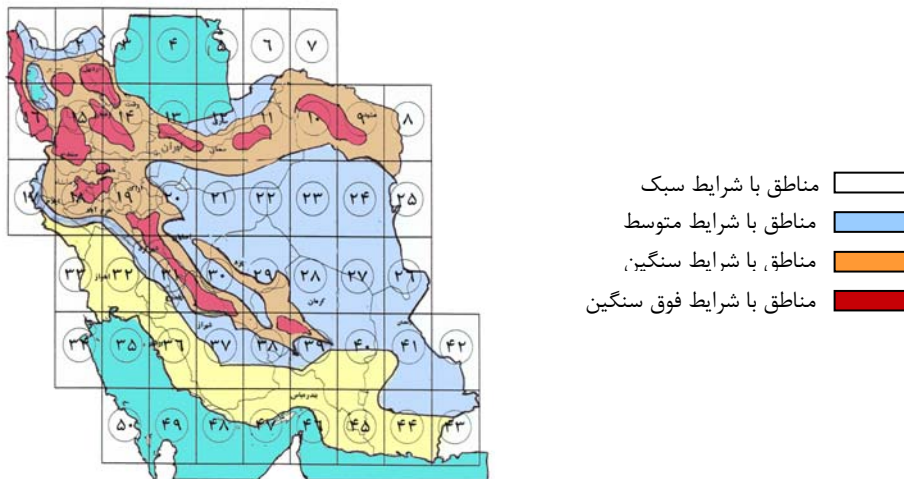
(۶) حالت پارگی سیم در باد شدید

(۷) حالت سیم کشی

(۸) حالت بار یخ ناهمسان

همچنین حالات بارگذاری فوق برای پارگی متناوب کابلها بررسی می‌گردد تا بدترین شرایط از نظر پارگی کابلها در طراحی مورد استفاده قرار گیرد. در محاسبه هر یک از حالات فوق بارهای وارده از طرف سیمها و مقره به دکل در سه جهت (قائم، جانبی و طولی) تصویری شوند. روند کار به این ترتیب است که مثلاً در مورد بارهای قائم، بار ناشی از وزن مقره و کابل با بار قائم ناشی از وزن یخ دور کابلها بایکدیگر جمع شده و در نهایت در ضریب ثابتی تحت عنوان ضریب افزایش بارهای قائم ضرب می‌گردد. این مطلب در ذهن هر مهندس این سؤال را ایجاد می‌نماید که چطور می‌توان بارهای ناشی از متغیرهایی که دارای عدم قطعیت‌های متفاوتی هستند را با هم جمع و در یک ضریب افزایش بار ضرب نمود؟

اما در تحلیل و طراحی احتمال اندیشانه سازه‌ها براساس نظریه قابلیت اعتماد می‌توان هر عامل بارگذاری را با توجه به خصوصیات آماری خودش مورد بررسی قرار داد و بنابراین در آئین نامه هائیکه براین اساس شکل می‌گیرند



شکل ۱: نقشه پهنه بندی مناطق چهارگانه بارگذاری کشور (طبق آئین نامه بارگذاری مشابیر).

جدول ۱: مقادیر اسمی ضخامت یخ و سرعت باد در حالات بارگذاری معمولی و شدید مطابق با آئین نامه بارگذاری مشابیر.

مقادیر اسمی				مناطق آب و هوایی
بیشترین سرعت باد (m/s)	سرعت معمولی باد (m/s)	بیشترین ضخامت یخ (mm)	ضخامت معمولی یخ (mm)	
45	28	6	0	سبک (بندرعباس)
40	25	15	7	متوسط (یزد)
40	20	20	15	سنگین (تهران)
40	20	40	20	فوق سنگین (شهرکرد)

جدول ۲: پارامترهای آماری مربوط به سرعت باد در ۴ شهر انتخابی.

شهر	نوع منطقه (پهنه بندی)	دوره ثبت اطلاعات (سال)	سرعت معمولی باد (m/s)			بیشترین سرعت باد (m/s)		
			میانگین	انحراف معیار	نوع توزیع	میانگین	انحراف معیار	نوع توزیع
بندرعباس	سبک	43	11.21	3.45	Log - Normal	16.67	4.38	Extreme Type I
یزد	متوسط	48	12.90	4.33	Log - Normal	20.92	4.36	Extreme Type I
تهران	سنگین	49	13.25	3.21	Log - Normal	18.34	2.68	Extreme Type I
شهرکرد	فوق سنگین	45	9.73	3.35	Log - Normal	14.50	3.42	Extreme Type I

جدول ۳: پارامترهای آماری واقعی سرعت معمولی باد و بیشترین سرعت آن در ارتفاع متوسط سیم.

شماره	نوع منطقه	دوره ثبت زمانی اطلاعات (سال)	سرعت معمولی باد (m/s)		حداکثر سرعت باد (m/s)	
			μ_x	σ_x	μ_x	σ_x
بندر عباس	سبک	43	17.490	5.380	26.000	6.840
یزد	متوسط	48	20.124	6.755	32.630	6.795
تهران	سنگین	49	20.670	5.000	28.610	4.178
شهر کرد	فوق سنگین	45	15.180	5.226	22.610	5.335

فرمول (۲) قابل محاسبه خواهد بود.

$$V_w = 1.3 \times V_0 \left(\frac{35}{10} \right)^{\left(\frac{1}{7} \right)} = 1.56 V_0 \quad (2)$$

به این ترتیب میانگین و انحراف معیار سرعت باد که باید در بارگذاری دکلهای چهار شهر انتخابی مورد استفاده قرارگیرد، مطابق جدول (۳) خواهد بود. باید توجه داشت که نوع توابع توزیع متغیرها به علت خطی بودن رابطه (۲) همچنان از جدول (۲) تبعیت خواهد کرد.

اثر تعداد سنوات ثبت اطلاعات در پارامترهای توزیع حدی نوع اول^۳

توزیع حدی نوع اول بصورت رابطه زیر بیان می شود.

$$F_X(x) = \exp[-\exp(-a(X-u))] \quad (3)$$

همچنین پارامترهای a و u در این توزیع از روابط زیر قابل محاسبه می باشند:

$$a = C_1 / \sigma_x, \quad u = \mu_x - \left[\frac{C_2}{a} \right] \quad (4)$$

در این روابط C_1, C_2 ثابتهای توزیع گامبل هستند و تعداد سنوات ثبت اطلاعات روی مقدار آنها مؤثر می باشد. هنگامیکه تعداد سنوات ثبت اطلاعات بینهایت فرض شود، مقدار آنها برابر $C_1 = 1.2826, C_2 = 0.57721$ در نظر گرفته می شود.

اما همانطور که در جدول (۲) مشاهده می گردد، برای شهرهای مختلف متغیر تصادفی بیشترین

حال آنکه کابلها یاسیمهای انتقال جریان الکتریسیته معمولاً در ارتفاعات بالاتری قرار دارند (حدود ۲۰ تا ۵۰ متری از سطح زمین).

از طرفی به علت کم شدن اصطکاک بین هوا و زمین در ارتفاعات بالا سرعت باد افزایش می یابد که البته بیشتر این تغییرات تا ارتفاع ۵۰ متری صورت گرفته و بعد از آن تقریباً ثابت باقی می ماند [۶].

جهت محاسبه سرعت باد در ارتفاع Z از سطح زمین روابط متعددی پیشنهاد شده است. یکی از این روابط که به واقعیت نزدیکتر است، مطابق رابطه (۱) می باشد، که در سال ۱۹۹۳ میلادی توسط آئین نامه ۷-۹۳ ASCE (آئین نامه بارگذاری دکلهای) پیشنهاد شده است.

$$V_w = V_0 \left(\frac{h_w}{h_A} \right)^{\left(\frac{1}{7} \right)} \quad (1)$$

در رابطه (۱):

V_w : سرعت باد در ارتفاع سیم برحسب (m/s)

V_0 : سرعت پایه باد در ارتفاع ۱۰ متری برحسب (m/s)

h_w : ارتفاع سیم از سطح زمین (m)

h_A : ارتفاع بادسنج می باشد که معمولاً در ارتفاع ۱۰ متری قرار دارد.

از طرفی اثر تند باد^۲ می تواند تا حدود ۳۰٪ در افزایش سرعت باد تاثیرگذار باشد. پس چنانچه ارتفاع متوسط کابلها را برابر ۳۵ متر فرض شود (همانور که قبلاً اشاره شد کابلها معمولاً در اکثر دکلهای در ارتفاع ۲۰ تا ۵۰ متر قرار می گیرند) و اثر تند باد هم در فرمول (۱) در نظر گرفته شود، مقدار سرعت واقعی باد در ارتفاع سیم که باید در محاسبات اولیه بارهای دکل مورد استفاده قرار گیرد از

آمده درهروضعیت تخمین زده می شود. در نهایت از بین فرمولهای بدست آمده رابطه ایکه بهترین تخمین را با توجه به مقدار واقعی ضخامت یخ حاصل نماید، بعنوان فرمول نهایی شبیه سازی انتخاب می گردد.

در فرمولهای پیشنهادی با استفاده از چند پارامتر اولیه که در تشکیل و رشد یخ تاثیر بیشتری دارند، مقدار ضخامت یخ مدل شده و سپس روی مقادیر بدست آمده بررسی های آماری صورت می پذیرد. در ادامه به معرفی یکی از روشهای شبیه سازی که توسط آزمایشگاه و پژوهشگاه مهندسی مناطق سردسیر ایالات متحده آمریکا (CRREL) در طی سالهای ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ میلادی و به همکاری چند سازمان دیگر در این کشور تهیه شده [۹]، پرداخته شده است.

معرفی روش شبیه سازی ارائه شده توسط (CRREL) در مدلسازی ضخامت یخ

در این روش ضخامت یخ دورکابلها، بصورت باران منجمد که بصورت شعاعی و یکنواخت حول کابل تشکیل می شود، مدل می گردد. در این روش جهت مدلسازی ضخامت یخ نیاز به اطلاعات خام هواشناسی زیر می باشد.

- (۱) شدت بارش در هر ساعت از روز.
- (۲) سرعت باد در هنگام بارش در ارتفاع سیم.
- (۳) دمای هوا در هنگام بارش.
- (۴) نوع بارندگی (رگبار، برف، تگرگ و...) که با کدهای رمزی ww تعیین می شوند.

پس از آنکه اطلاعات فوق برای هر روز از سالهای مورد بررسی تهیه و تنظیم گردید، مقدار ضخامت یخ در هر ساعت با استفاده از فرمول زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$R_{eq} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{\rho_j \pi} [(P_j \rho_0)^2 + (3.6V_j W_j)^2]^{1/2} \quad (5)$$

که در رابطه فوق؛

R_{eq} : ضخامت یکنواخت یخ دور سیم برحسب (mm)

P_j : شدت بارش برحسب (mm/h)

ρ_0 : چگالی آب (1gr/cm^3)

ρ_i : چگالی یخ منجمد (0.9gr/cm^3)

سرعت سالیانه باد دارای توزیع حدی نوع اول با تعداد سنوات ثبت اطلاعات متفاوت می باشد. لذا براساس پیشنهاد مرجع [۵]، جهت تعیین ثابتهای توزیع حدی نوع اول، با توجه به تعداد سنوات مختلف ثبت اطلاعات، می توان از جدول (۴) استفاده نمود. لذا در تعیین مقادیر اسمی متغیرهای تصادفی، باید ثابتهای توزیع گامبل که مطابق رابطه (۴) تعیین می گردند، با توجه به جدول (۴) محاسبه شوند.

جدول ۴: ثابتهای توزیع حدی نوع اول براساس سالهای جمع آوری اطلاعات.

C_1	C_2	تعداد سالهای جمع آوری اطلاعات
0.9497	0.4952	10
1.0206	0.5128	15
1.0628	0.5236	20
1.0915	0.5309	25
1.1124	0.5362	30
1.1413	0.5436	40
1.1607	0.5485	50
1.2826	0.5772	∞

اطلاعات مربوط به ضخامت یخ و نحوه پردازش آنها

تا سال ۱۹۹۴ میلادی هیچ تلاشی در زمینه اندازه گیری ضخامت یخی که دور کابلهای انتقال نیرو تشکیل می گردد، انجام نشده بود. حتی در کشورهای اروپایی و آمریکایی هم مقدار ضخامت یخ در هر منطقه با قضاوتهای تجربی و یا از روی مشاهدات ساکنین تعیین می شد. در چند سال اخیر درسازمانهای هواشناسی و نیروی هوایی چندکشور اروپایی و آمریکایی همانند مرکز اطلاعات هواشناسی آمریکا (NCDC) [۱۰] یا مرکز هواشناسی نیروی هوایی آمریکا (AFCCC) [۱۰]، آزمایشاتی جهت محاسبه ضخامت واقعی یخ دور کابلها صورت گرفته است. این آزمایشات مبتنی بر مشاهدات یخی است که دور کابلها در ارتفاع مشخصی بوجود می آید. اما با این اطلاعات ۳ یا ۴ ساله نمی توان پارامترهای آماری مربوط به ضخامت یخ را برای یک دوره ۵۰ یا ۱۰۰ ساله تعیین نمود.

برای رفع این مشکل شرایط جوی برای کابلها شبیه سازی شده و توسط فرمولهای متفاوت ضخامت یخ بوجود

می پذیرد که دمای هوا از این مقدار فراتر رود.
۵- همچنین فرض می شود که اگر دمای هوا برای ۶ ساعت متوالی بالای ۱ درجه سانتیگراد باقی بماند کل یخ موجود دور کابلها ذوب گردد و در غیر اینصورت کل یخ بجا مانده از ساعات قبل به یخ دوره جدید اضافه گردد.
با اعمال اصلاحات فوق که روی رابطه (۵) تاثیر گذار هستند و همچنین با جاگذاری بعضی ثابتها، می توان برای بار دیگر این رابطه را بصورت زیر باز نویسی کرد.

$$R_{eq} = 1.061 \left[(P_j)^2 + \left[(0.1897 \times V_j P_j^{(0.846)}) \right]^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

اصلاح و پردازش اطلاعات خام اولیه

اطلاعات هواشناسی معمولاً بصورت فایل های متنی (Text) تهیه می گردند. دربرخی از این فایلها که برای روزهای هر سال و ساعات مختلف تهیه شده اند، بعد از اتمام اطلاعات سالانه یا ماهانه ردیفهایی قرار دارند که اطلاعات تکمیلی همچون بیشترین مقدار بارش و یا کمترین دما را در هر ماه نشان می دهند، که باعث عدم یکنواختی در داده ها شده و امکان برنامه نویسی روی آنها را مشکل می سازد. همچنین در برخی از ماههای سال اطلاعات برای ۲۷ یا ۲۸ روز ثبت شده است، که باید به قالب ۳۰ روزه تبدیل می شدند. به همین علت کلیه متنهای اضافی از اطلاعات روزانه این دوره ۴۰ ساله از داده ها حذف و همه ماهها به قالب ۳۰ روزه تبدیل شدند، تا بتوان در نرم افزار Excel روی این داده ها برنامه نویسی کرد.

بعد از اصلاحات فوق فایل های اطلاعاتی خام سازمان هواشناسی توسط نرم افزار Excel بصورت کاربرگهایی در آمده و توسط برنامه ای که در محیط Excel و به زبان Visual Basic، تحت عنوان ITP نوشته شد، ضخامتهای یخ روزانه برای چهار شهر انتخابی تعیین و نتایج در کاربرگهایی از فایل های مربوط به هر شهر درج گردید.
در کاربرگ نهایی این فایلها مقدار ضخامت یخ روزانه، ماهانه و سالانه و پارامترهای آماری هر یک محاسبه و هیستوگرامهای مربوطه رسم شده اند.
خلاصه ای از نتایج بدست آمده توسط برنامه فوق برای چهار شهر انتخابی مطابق جدول (۵) می باشد.

V_j : سرعت باد در ارتفاع سیم در زامین ساعت (m/s)
 W_j : وزن آب مایع موجود در واحد حجم هوا در زامین ساعت بر حسب (gr/m^3) ، که جهت محاسبه آن می توان از فرمول تقریبی زیر که توسط بست (Best 1949) ارائه شده است استفاده نمود.

$$W_j = 0.067 P_j^{0.846} \quad (6)$$

N : تعداد ساعاتی است که یخ بصورت پیوسته روی کابل تشکیل می شود (دوره یخ زدگی).
اطلاعات خام فوق الذکر در سازمان هواشناسی ایران هر سه ساعت یکبار اندازه گیری می شود و یا مقدار بارش کلی هر روز توسط ظرفی ساده در آخر هر روز جمع آوری می شود و نوع بارشی که در طول روز ممکن است تغییر یابد تنها با کمک کدهای ww که هر سه ساعت یکبار ثبت شده است، قابل تشخیص است.

لذا قبل از استفاده کردن از رابطه (۵) باید یکسری فرضیات و ملاحظات روی داده های خام اولیه صورت گیرد تا بتوان از این رابطه جهت تخمین ضخامت یخ ساعتی استفاده نمود. این فرضیات به قرار زیر می باشند:
۱- مقدار سرعت باد در هر ساعت برابر مقدار ثبت شده سرعت باد برای هر سه ساعت می باشد و یا به عبارتی فرض می شود که سرعت باد در هر سه ساعت ثابت باقی بماند.

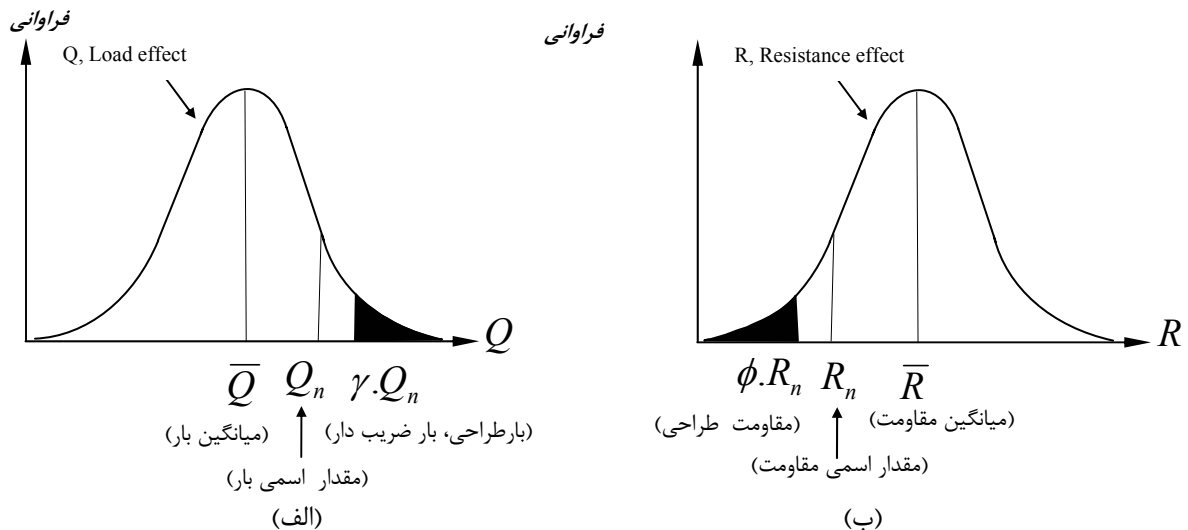
۲- انواع بارش با توجه به کدهای ww (این کدها از ۵۰ تا ۹۹ دسته بندی می شوند و نوع پدیده آب و هوایی را مشخص می سازند) توسط ضرایب پیشنهادی روش CRREL (برای هر نوع بارش) [۸] به باران منجمد قابل تبدیل می باشند. ضرایب تبدیل فوق الذکر در مرجع [۸] و [۱۰] بطور مبسوط آورده شده اند، بطور مثال این ضریب برای برف با شدت متوسط که با کد (ww=73)۷۳ مشخص می شود برابر ۱/۳ و یا در مورد گلوله های کوچک یخی (Ice Pellets) که با کد (ww=79)۷۹ مشخص می شود برابر ۱/۸ می باشد.

۳- سرعت های باد معمولاً در ارتفاع پایه (۱۰ متری) اندازه گیری می شوند که با استفاده از رابطه (۲) قابل تبدیل به مقدار واقعی آن در ارتفاع سیم می باشد.

۴- هر دوره یخ زدگی زمانی شروع می شود که دمای هوا به زیر ۱ درجه سانتیگراد رسیده باشد و هنگامی پایان

جدول ۵: نتایج مربوط به نوع توزیع ضخامت یخ و پارامترهای آن در شهرهای بندر عباس، یزد، تهران و شهرکرد.

شهر	نوع منطقه (پهنه بندی)	دوره زمانی ثبت اطلاعات (سال)	ضخامت معمولی یخ (ماهانه) (mm)			بیشترین ضخامت یخ (سالانه) (mm)		
			میانگین	انحراف معیار	نوع توزیع	میانگین	انحراف معیار	نوع توزیع
بندرعباس	سبک	40	-	-	-	-	-	-
یزد	متوسط	40	5.434	2.24	Gumbel	7.66	1.85	Gumbel
تهران	سنگین	40	6.96	3.26	Gumbel	9.92	3.31	Gumbel
شهرکرد	فوق سنگین	40	8.35	6.22	Gumbel	13.13	7.88	Gumbel



شکل ۲: نمایش مقادیر میانگین، اسمی و طراحی برای متغیرهای تصادفی بار (الف) و مقاومت (ب)، [۴].

احتمال مربوط به تعریف مقدار اسمی، حد مازاد^۴ نامیده شده و در مورد متغیرهای تصادفی مربوط به مقاومت در حدود ۵ تا ۱۰ درصد و برای متغیرهای تصادفی بارگذاری در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد و در برخی موارد تا ۲۵٪ نیز در نظر گرفته می شود. انتخاب حدود مازاد، در حد مقادیر فوق تاثیر چندانی روی نتایج طراحی نمی گذارد، چراکه به هر اندازه مقادیر اسمی (مثلاً) در مورد متغیرهای تصادفی بار بزرگتر انتخاب شوند، ضریب افزایش بار کمتری برای آنها منظور خواهد شد. در ادامه به توضیح بیشترین موضوع خواهیم پرداخت.

مقادیر اسمی متغیرهای تصادفی بارگذاری

مقدار اسمی هر متغیر تصادفی بارگذاری معرف مقداری برای آن متغیر است که احتمال وقوع مقادیری بیشتر از آن در حدود چند درصد مثلاً در حدود ۵ تا ۲۰٪ می باشد. در مورد متغیرهای تصادفی مقاومت نیز عکس تعریف فوق صادق است، یعنی مقدار اسمی هر متغیر تصادفی مقاومت مقداری است که احتمال وقوع مقادیری کمتر از آن مقدار در حدود احتمالات فوق باشد. اشکال (۲-الف) و (۲-ب) زیر رابطه بین مقادیر میانگین، اسمی و طراحی متغیرهای تصادفی را برای متغیرهای بار و مقاومت نشان می دهند.

یخ (سالنامه) توسط آئین نامه ها (از جمله آئین نامه-IEC 826]۶) توصیه می شود.

نتیجه گیری

با مقایسه ای ساده بین مقادیر اسمی متغیرهای تصادفی باد و یخ که از این تحقیق حاصل شده (جدول (۶)) با مقادیر ارائه شده توسط شرکت مشاور (جدول (۱)) و مرجع [۲] بخوبی می توان بر لزوم تحقیقات بیشتر در تعیین خصوصیات آماری متغیرهای تصادفی بارگذاری پی برد. زیرا تغییرات اندک این مقادیر می تواند اثرات قابل ملاحظه ای روی میزان بارهای وارده و در نهایت نتایج طراحی سازه ها (از جمله دکل های برق) داشته باشد.

البته طراحی ها نشان می دهند که در مورد دکل های برق اثر سرعت باد بیشتر از تاثیرات ضخامت یخ است، ولی این امر به مفهوم بی اثر بودن ضخامت یخ در نتایج طراحی ها نیست، زیرا با افزایش ضخامت یخ دور کابلها و بدنه دکل بار ناشی از باد به علت افزایش سطح مؤثر، افزایش یافته و می تواند بارهای فوق العاده های را برای دکل ایجاد نماید که این امر اهمیت بررسی هایی بیشتر در این زمینه را روشن می سازد.

لذا در این راستا می توان با تهیه اطلاعات آماری هواشناسی هر شهر یا هر منطقه و با استفاده از برنامه های WSP و ITP که به این منظور نوشته شده است به راحتی به این هدف نایل آمد. در نهایت پس از تعیین مقادیر اسمی سرعت باد و ضخامت یخ برای هر منطقه می توان نقاط هم تراز اسمی را روی نقشه ایران بهم متصل نمود و به این ترتیب نقشه های جامعی حاصل خواهد شد که می تواند کمک شایان توجهی در طراحی خطوط انتقال نیروی کشور (ایران) بحساب آید.

ضریب افزایش بار^۵، برای هر متغیر تصادفی بار X_i بصورت نسبت مقدار نقطه طراحی x_i^* به مقدار اسمی X_{ni} تعریف شده و از رابطه زیر محاسبه می گردد [۴].

$$\gamma_i = \frac{x_i^*}{X_{ni}} \quad (۸)$$

از طرفی ضرایب پایه^۶ از تقسیم مقدار میانگین به مقدار اسمی حاصل می شود.

$$\lambda_i = \frac{\bar{X}_i}{X_{ni}} \quad (۹)$$

بنابراین با ترکیب دو رابطه اخیر، مقدار ضریب افزایش بار برابر خواهد بود با:

$$\gamma_i = \frac{x_i^* \times \lambda_i}{\bar{X}_i} \quad (۱۰)$$

از آنجاکه مقدار نقطه طراحی برای هر متغیر تصادفی با توجه به تابع حالت حدی و پارامترهای آماری متغیرهای تصادفی تعیین می گردد و هیچ وابستگی به مقدار اسمی ندارد [۴] و همچنین میانگین هر متغیر تصادفی در هر تحلیل دارای مقدار ثابتی است، لذا با افزایش مقدار اسمی متغیر تصادفی بارگذاری، مقدار ضریب افزایش بار کاهش می یابد و به این ترتیب نتایج طراحی تغییر چندانی نخواهد داشت. البته روند کاهش ضریب افزایش بار تنها در محدوده احتمالات ۵ تا ۲۵ درصد تقریباً یکنواخت است و تا حد زیادی به شکل تابع - توزیع و بخصوص دنباله توزیع وابستگی پیدا می کند. بنابراین مشخص بودن نوع تابع توزیع در تعیین مقادیر اسمی از اهمیت خاصی برخوردار است. در جدول (۶) مقادیر اسمی پیشنهادی متغیرهای تصادفی سرعت باد و ضخامت یخ برای چهار شهر انتخابی بندر عباس، یزد، تهران و شهر کرد با مقادیر ارائه شده توسط آئین نامه بارگذاری مشاور مقایسه شده است. در تعیین مقادیر اسمی جدید از حد مازاد ۱۰٪ برای سرعت باد و از حد مازاد ۲۰٪ برای ضخامت های یخ استفاده شده است.

در مورد شهر بندر عباس، با آنکه هیچگونه ضخامت یخی حاصل نشده است ولی جهت ایمنی بیشتر و امکان بوجود آمدن شرایط آب و هوایی استثنائی برای این مناطق معمولاً استفاده از مقدار ۳ میلی متر یخ در حالت یخ معمولی (ماهانه) و ۶ میلی متر برای بیشترین ضخامت

جدول ۶: تعیین مقادیر اسمی متغیرهای تصادفی باد و ضخامت یخ در چهار شهر انتخابی و مقایسه آنها با مقادیر ارائه شده توسط آئین نامه مشانیر.

نوع منطقه (شهر انتخابی)	متغیرهای تصادفی															
	ضخامت معمولی یخ (ماه‌بانه) (mm)				بیشترین ضخامت یخ (سالانه) (mm)				سرعت معمولی باد (ماه‌بانه) (m/s)				بیشترین سرعت باد (سالانه) (m/s)			
	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی	حدمازاد (درصد)	ضریب پایه	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی	حدمازاد (درصد)	ضریب پایه	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی	حدمازاد (درصد)	ضریب پایه	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی	حدمازاد (درصد)	ضریب پایه
(بندر عباس - سبک)	0	3	20	0.75	6	6	20	0.83	28	24.58	10	0.71	45	36.17	10	0.72
(یزد - متوسط)	7	7.27	20	0.75	15	9.18	20	0.83	25	29	10	0.69	40	42.71	10	0.76
(تهران - سنگین)	15	9.64	20	0.72	20	12.64	20	0.78	20	27.27	10	0.76	40	34.98	10	0.82
(شهرکرد - فوق سنگین)	20	12.66	20	0.66	40	19.66	20	0.67	20	22.05	10	0.69	40	30.55	10	0.74

مراجع

- ۱ - شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر). " نقشه پهنه بندی مناطق چهارگانه آب و هوایی کشور." استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی برق ایران، دپارتمان تحقیقات و استانداردها، فروردین (۱۳۷۸).
- ۲ - شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر). " آئین نامه و استاندارد بارگذاری برجهای انتقال نیرو." استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی برق، اردیبهشت (۱۳۷۷).
- ۳ - آذری، ف. " کدها و روشهای دیده بانی." ترجمه شده در سازمان هواشناسی استان تهران، تیرماه (۱۳۶۳).
- 4 - Nowak, A. S. and Collins, K. C. (2000). *Reliability of Structures*, University of Michigan, McGraw-Hill International Edition.
- 5 - "GuideLines For Electrical Transmission Line Structural Loading." (1991) *ASCE, Task Committee on Structures ASCE Manuals and Report on Eng. Practice No.74*.
- 6 - IEC - 826 Standard, (1998). "Loading and Strength of Overhead Transmission Lines." *International Electrotechnical Commission*.
- 7 - McComber, P., (2000). "Sensitivity of Selected Freezing Rain Models to Meteorological Data." *57th Eastern Snow Conference Syracuse, New York, U.S.A.*
- 8 - Lott, J. N. and Kathleen, F. J. (2002). "Using U.S Wether Data For Modeling Ice Loads From Freezing Rain." (1) *National Climate Data Center U.S.A* , (2) *U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory , Hanover ,New Hampshire, U.S.A.*

- 9 - Palutikof, J. P., Holt, T., Brabson, B. B. and Lister, D. H. (2000). "Methods to Calculate Extremes in Climate Change Studies." (1) *Climate Research Unit, University of East anglia, Norwich NR47 TJ, UKT*, (2) *Department of Physics, Indiana University , Bloomington, Indiana 47405,U.S.A.*
- 10 - Jones, K. (CRREL), Thorkildson, R. (BPA) and Lott, N. J. (NCDC). (2002). "The Development of a U.S. Climatology of Extreme Ice Loads." *National Climatic Data Center, Technical Report 2002-01.*
- 11 -Ranganathan,R.,(2000), *Reliability Analysis and Design of Structures.* Tata Mc Graw-Hill Co. Civil Engineering Dept.,I.I.T. ,Bombay.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Uncertainty
- 2 - Gust Factor
- 3 - Gumbel
- 4 - Exclusion limit
- 5 - Load Factor
- 6 - Bias Factor