

تخمین بار برف و یخ جهت طراحی خطوط انتقال نیرو فشار قوی با دوره‌های بازگشت چند ساله (مطالعه موردی: ارتفاعات غربی مازندران)

غلامعلی احمدی^۱، غلامرضا جانباز قبادی^{*}، صدرالدین متولی^۱، شهریار خالدي^۲

۱- گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۲/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۹/۱۸

چکیده

یکی از مشکلات شرکت برق منطقه‌ای در مناطق سردسیر، یخ‌زدگی و نشست برف بر روی سیم‌های خطوط انتقال نیرو می‌باشد. پهنه‌بندی آب و هوایی و ارائه شرایط بارگذاری متناسب با منطقه جهت طراحی مکانیکی خطوط حائز اهمیت بوده و انتخاب صحیح این شرایط به لحاظ فنی و اقتصادی تاثیر بسزایی در طراحی پروژه خواهد داشت. نقشه بار برف و یخ که در گذشته توسط وزارت نیرو تدوین گردیده، کارایی و نوآوری لازم را نداشته و یا اینکه برای بسیاری از مناطق توسعه یافته جدید شهری و روستایی بازنگری نشده است در این تحقیق پارامتر آماری ضخامت یخ با دوره‌های بازگشت چند ساله، که از جمله بارهای موثر در بارگذاری دکل انتقال نیرو هستند با استفاده از داده‌های هواشناسی (سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ میلادی) سه ایستگاه کوهستانی بلده، کجور و سیاه بیشه در غرب مازندران مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مقادیر اسمی جدید با دوره بازگشت‌های مختلف پیشنهاد گردیده است. نتایج نشان داد که برای طراحی خطوط انتقال نیرو با دوره بازگشت کمتر از ۵۰ سال، منطقه بلده و کجور جزو مناطق سنگین و با دوره بازگشت بیشتر از ۵۰ سال جزو مناطق فوق سنگین و منطقه کجور با دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ ساله جزو مناطق متوسط و دوره بازگشت بیشتر از ۱۰۰ سال جزو مناطق سنگین (مطابق با آیین نامه مشانیر) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هواشناسی، بار برف و یخ، دکل‌های انتقال نیرو، غرب مازندران.

مقدمه

پهنه‌بندی آب و هوایی و ارائه شرایط بارگذاری متناسب با منطقه جهت طراحی مکانیکی خطوط حائز اهمیت بوده و انتخاب صحیح این شرایط به لحاظ فنی و اقتصادی تاثیر بسزایی در طراحی پروژه خواهد داشت. آئین‌نامه بارگذاری شرکت مشانیر، کشور ایران را از نظر شرایط جوی به چهار منطقه سبک، متوسط، سنگین و فوق سنگین تقسیم‌بندی می‌نماید 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 ارائه می‌دهد، (مشانیر، ۱۳۷۸) و با توجه به مطالعات صورت گرفته و مقایسه نتایج این تحقیقات با مقادیر ارائه شده توسط شرکت مشانیر می‌توان بر لزوم تحقیقات بیشتر در زمینه عوامل جوی موثر در بارگذاری خطوط انتقال نیرو پی برد. اجرای طرح‌های عمرانی، اقتصادی، اجتماعی و دیگر طرح‌ها نیاز به شناخت تغییرات اقلیمی جهت برنامه‌ریزی صحیح داشته و از این رو ضرورت و اهمیت مطالعات اقلیمی در کالبد برنامه‌ریزی خرد و کلان کشور و در مقیاس کوچکتر استان و شهر قابل لمس است (نوحی، ۱۳۹۱). در طراحی خطوط انتقال خطوط نیرو موجود بودن مشخصه آب و هوایی واقعی یکی از نیازهای اساسی می‌باشد. شرایط آب و هوایی مناطق مختلف که مسیر خطوط انتقال نیرو از آنها می‌گذرد نقش تعیین کننده ای در انتخاب شرایط بارگذاری مناسب و طراحی و محاسبات مکانیکی برای تجهیزات خطوط انتقال نیرو و در نتیجه بهینه نمودن مشخصات خط به لحاظ فنی و اقتصادی و تامین قابلیت اعتماد موردنظر دارد. یکی از مشکلات شرکت برق منطقه‌ای در مناطق

سردسیر، یخ‌زدگی و نشست برف بر روی سیم‌های و محافظ خطوط انتقال نیرو می‌باشد. طوفان‌های سنگین برف و یخ، صدمات قابل توجهی به خطوط انتقال نیرو وارد می‌کنند. این مشکلات در بخش‌های کوتاهی از خطوط انتقال نیرو و در زمان‌های خاصی از سال اتفاق می‌افتد اما باعث تهدید جدی قابلیت اطمینان و امنیت شبکه می‌گردد (قلیجی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به تغییرات اقلیمی گسترده در دهه‌های اخیر، که خود برف و یخبندان‌های ناگهانی را در این مناطق به دنبال داشته (براتی و همکاران، ۱۳۹۵)، نقشه بار برف و یخ که در گذشته توسط وزارت نیرو تدوین گردیده، کارایی و نوآوری لازم را نداشته و یا اینکه برای بسیاری از مناطق توسعه یافته جدید شهری و روستایی بازنگری نشده است، لذا در این تحقیق سعی بر آن است که با استفاده از جدیدترین داده‌ها و آمارهای هواشناسی و روش‌های آماری-ریاضی به محاسبه بار برف و یخ، جهت طراحی خطوط نیرو پرداخته شود. آئین‌نامه بارگذاری شرکت مشانیر، کشور ایران را از نظر شرایط جوی به چهار منطقه سبک، متوسط، سنگین و فوق سنگین تقسیم‌بندی می‌نماید 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 ارائه می‌دهد (مشانیر، ۱۳۷۷) و با توجه به مطالعات صورت گرفته و مقایسه نتایج این تحقیقات با مقادیر ارائه شده توسط شرکت مشانیر می‌توان بر لزوم تحقیقات بیشتر در زمینه عوامل جوی موثر در بارگذاری خطوط انتقال نیرو پی برد. در اکثر مناطق جهان تحقیقات گسترده‌ای در زمینه شبیه‌سازی و تخمین بار برف و یخ انجام شده است، مدل‌سازی

سعی بر آن است که با استفاده از جدیدترین داده-ها و آمارهای هواشناسی و روش‌های آماری-ریاضی به محاسبه بار برف و یخ، جهت طراحی خطوط نیرو پرداخته شود.

منطقه مورد مطالعه

مشخصات منطقه و داده‌های مورد استفاده

در این مقاله از داده‌های ساعتی هواشناسی سه ایستگاه هواشناسی بلده نور، کجور نوشهر و سیاه بیسه چالوس واقع در مناطق کوهستانی غرب مازندران، با دوره آماری ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۸ میلادی که در فاصله‌های زمانی یک ساعته ثبت شده‌اند استفاده گردید. اطلاعات خام هواشناسی به صورت ساعتی در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده و قبل از استفاده از رابطه فوق باید یکسری فرضیات و ملاحظات روی داده‌های خام اولیه صورت گیرد، تا بتوان از این رابطه جهت تخمین ضخامت یخ ساعتی استفاده کرد. مقدار سرعت باد که به صورت ساعت و در ارتفاع پایه ۱۰ متری ثبت شده که با استفاده از رابطه ۲ قابل به تبدیل به مقدار واقعی آن در ارتفاع سیم است.

مواد و روش‌ها

معرفی روش شبیه‌سازی ارائه شده توسط آزمایشگاه و پژوهشگاه مهندسی مناطق سردسیر ایلات متحده آمریکا^۱ در مدل‌سازی ضخامت یخ: در این روش ضخامت یخ دور کابل‌ها، به صورت باران منجمد که به صورت شعاعی و یکنواخت حول کابل تشکیل می‌شود، مدل می‌گردد (Palutikof et al, 2010). لذا جهت مدل‌سازی ضخامت یخ نیاز به اطلاعات خام هواشناسی زیر می‌باشد.

۱- شدت بارش در هر ساعت از روز

۲- سرعت باد در هنگام بارش در ارتفاع سیم

۳- دمای هوا در هنگام بارش

بار برف روی درختان در فنلاند از طریق تفکیک برف خشک، برف آبدار، برف یخ زده نشان داد که بیشترین بار در نواحی شرقی کشور رخ داده است. از طرفی تجمع سریع برف به نوعی به برف آبدار و سنگین بستگی دارد. (Lehtonen et al, 2014). در بریتانیا بار یخ با دوره برگشت ۵۰ ساله به روش آستانه- حداکثر^۱، تخمین و نقشه با روش رگرسیونی و کریجینگ تهیه شد (Nygard and et al, 2014). شبکه‌های عصبی از طریق شبیه-سازی میزان خزش برف بر روی کابل‌های خطوط انتقال نیرو نقش مهمی ایفا می‌کنند و می‌توانند در مقایسه با توزیع‌های چند جمله‌ای خطای محاسباتی را تا ۵ برابر کاهش دهند (Xiang- junZeng and et al, 2014). پارامترهای هواشناسی دما، رطوبت نسبی، شدت بارش، سرعت باد ۳ ساعته در ۱۷۰ ایستگاه هواشناسی تخمین خوبی از بار برف و یخ با دوره بازگشت ۵۰ ساله کشور فرانسه را ارائه نمود (Ducloux and Nygaard, 2014). توزیع‌های آماری گامبل (Gumbel, 2004)، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲، مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا^۳ (Nygard et al, 2013)، الگوریتم مقایسه داده‌ها (Zarnani and Musilek, 2012)، مدل‌های WOLF^۴ (Bonanno et al, 2017)، تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری (میرشریفی، ۱۳۸۵)، شبیه‌سازی روش المان محدود و گسسته D۲ (Ranta et al, 2017)، پیش‌بینی خسارت پوشش یخ توسط مدل^۵ CSCWOA-ELM (Wang et al, 2019)، بررسی اثر یخبندان بر روی خطوط انتقال نیرو در نروژ با مدل Imai (Solangi 2018)، محاسبه بار برف و یخ با مدل‌های پیش‌بینی عددی با دوره بازگشت ۵۰ ساله در سوئد (Nygard et al 2019)، از جمله مواردی هستند که می‌توانند بار برف و یخ را با دقت بالا شبیه‌سازی نمایند. در این تحقیق

زمانی شروع می‌شود که دمای هوا به صفر و زیر صفر درجه سانتیگراد رسیده باشد و هنگامی پایان می‌پذیرد که از این مقدار فراتر رود. همچنین اگر فرض می‌شود که اگر دمای هوا برای ۶ ساعت متوالی بالای صفر درجه سانتیگراد و پایینتر از آن باشد، کل یخ بجا از ساعات قبل به یخ دوره جدید اضافه گردد، از طرفی تجمع سریع برف روی کابل‌ها به نوعی به برف آبدار و سنگین بستگی دارد. (لتهونن و همکاران، ۲۰۱۴). با اعمال اصلاحات فوق که بر روی رابطه ۱ تاثیر گذار هستند و با جاگذاری بعضی ثابت‌ها، می‌توان رابطه ۳ را به صورت زیر بازنویسی کرد.

رابطه ۳

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

بعد از جمع‌آوری و اصلاحات بر روی داده‌ای هواشناسی، در محیط اکسل^۷ و در کار برگ نهایی برنامه مورد نظر جهت محاسبه مقدار ضخامت یخ روزانه، ماهانه و سالانه نوشته و پارامترهای آماری در ارتفاع ۳۵ متری (ارتفاع متوسط کابل‌ها) محاسبه و سپس با استفاده از نرم‌افزار اسمادا^۸، (یوسفی، ۱۳۹۵) هیستوگرام‌های مربوطه رسم شده‌اند.

نتایج

در این مطالعه پارامتر آماری ضخامت یخ با دوره‌های بازگشت چند ساله، که از جمله بارهای موثر در بارگذاری دکل انتقال نیرو هستند با استفاده از داده‌های هواشناسی و روش شبیه‌سازی ارائه شده توسط آزمایشگاه و پژوهشگاه مهندسی مناطق سردسیر، سه ایستگاه کوهستانی بلده، کجور و سیاه بیشه در غرب مازندران مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مقادیر اسمی جدید با دوره بازگشت‌های مختلف پیشنهاد گردیده است. در

۴- نوع بارندگی (رگبار، برف، تگرگ و ...) که با کدهای رمزی WW تعیین می‌شوند.

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 رابطه ۱ قابل محاسبه خواهد بود:

رابطه ۱

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

که در رابطه ۱ R_{eq} : ضخامت یکنواخت یخ دور سیم بر حسب میلی‌متر؛ P_j : شدت بارش بر حسب میلی‌متر؛ بر ساعت؛ ρ_0 : چگالی آب (۱ گرم بر سانتیمتر مکعب)؛ ρ_j : چگالی یخ منجمد (۰/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب)؛ V_j : سرعت باد در ارتفاع سیم در زامین ساعت (متر بر ثانیه)؛ W_j : وزن آب مایع موجود در واحد حجم هوا در زامین ساعت بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب؛ N : تعداد ساعاتی است که یخ به صورت پیوسته روی کابل تشکیل می‌شود (دوره یخ‌زدگی).

اثر ارتفاع در تعیین سرعت باد (تبدیل سرعت پایه باد به سرعت آن در ارتفاع سیم): مقادیر ارائه شده سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری اندازه‌گیری شده، حال آنکه ارتفاع دکل-های انتقال قدرت در ارتفاعات (۲۰ تا ۵۰ متری) مختلف قرار دارند، جهت محاسبه سرعت باد در ارتفاع Z رابطه ۲ پیشنهاد می‌گردد.

رابطه ۲

$$V_w = v_0 \left(\frac{h_w}{h_A} \right)^{0.14}$$

در رابطه ۲ V_w : سرعت باد در ارتفاع سیم بر حسب متر بر ثانیه؛ v_0 : سرعت پایه باد در ارتفاع ۱۰ متری بر حسب متر بر ثانیه؛ h_w : ارتفاع سیم از سطح زمین (متر)؛ h_A : ارتفاع بادسنج که معمولاً در ارتفاع ۱۰ متری قرار دارد. هر دوره یخ‌زدگی

لوگ پیرسون تیپ ۳، گامبل تیپ ۱، که قابلیت نکویی برازش داده‌ها را دارا بودند، توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ مناسب‌ترین توزیع برای برازش این داده‌ها تشخیص داده شده است. (شکل ۳).

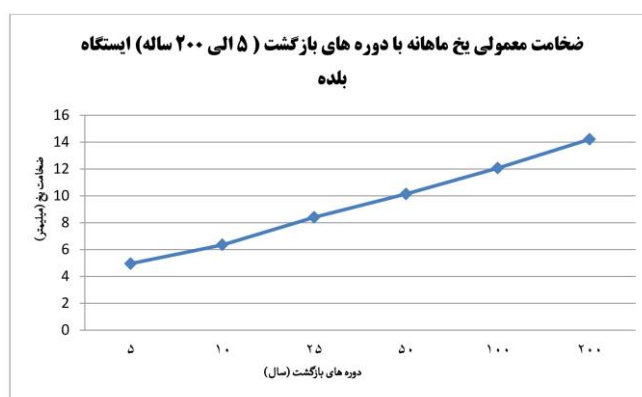
محاسبات مربوط به ایستگاه سیاه بیشه

همان‌طور که در شکل ۴ و جدول ۳ مشاهده می‌شود متوسط ضخامت یخ محاسبه شده از ۳/۶ میلیمتر تا ۲۰/۵ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، در طی دوره آماری ایستگاه سیاه بیشه بوده است، اما حداکثر یخ تشکیل شده طبق محاسبات از ۴/۰۷ تا ۲۲/۵ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، متغیر می‌باشد که مبنای بارگزاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط انتقال نیرو است. شکل ۵ و جدول ۴. از بین توزیع‌های مختلف آماری از نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، پیرسون تیپ ۳، لوگ پیرسون تیپ ۳، گامبل تیپ ۱، که قابلیت نکویی برازش داده‌ها را دارا بودند، توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ مناسب‌ترین توزیع برای برازش این داده‌ها تشخیص داده شده است. (شکل ۶).

این تحقیق ضخامت یخ بر روی کابل برای سه شهر بلده، سیاه بیشه و کجور در ارتفاع ۳۵ متری (دکل‌های فشار قوی ۳۳۰-۴۴۰ کیلو وات) محاسبه گردید، در نهایت مقادیر بدست آمده با دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شدند. در جداول و نمودارهای تحلیلی زیر، میزان بار برف و یخ تجمعی، حداکثر بار برف و یخ با دوره‌های بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله، توزیع آماری احتمال جهت برازش ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری، برای ایستگاه‌های بلده، سیاه بیشه و کجور تشریح شده است.

محاسبات مربوط به ایستگاه بلده

همان‌طور که در شکل ۱ و جدول ۱ مشاهده می‌شود متوسط ضخامت یخ محاسبه شده از ۵ میلیمتر تا ۱۴ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، در طی دوره آماری ایستگاه بلده بوده است، اما حداکثر یخ تشکیل شده طبق محاسبات از ۴/۷ تا ۱۰۱ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، متغیر می‌باشد که مبنای بارگزاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط انتقال نیرو است. (شکل ۲ و جدول ۲). از بین توزیع‌های مختلف آماری از نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، پیرسون تیپ ۳،



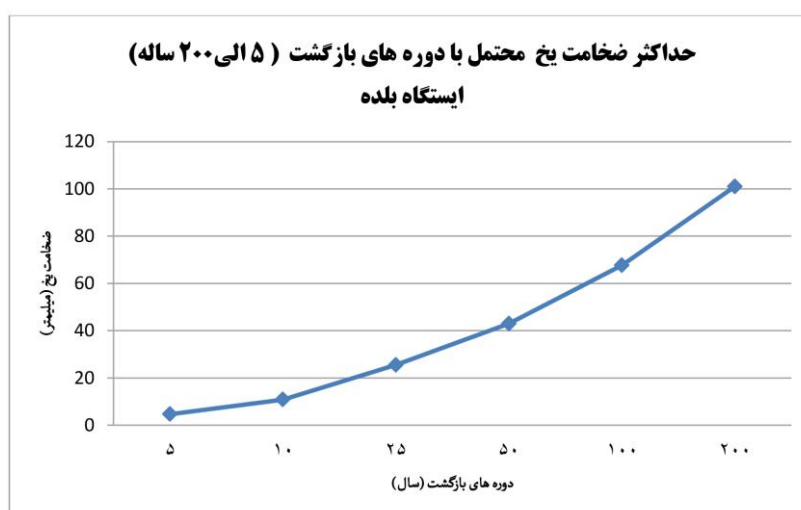
شکل ۱: نمودار مربوط به توزیع متوسط ضخامت معمولی یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده

جدول ۱: نتایج مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده

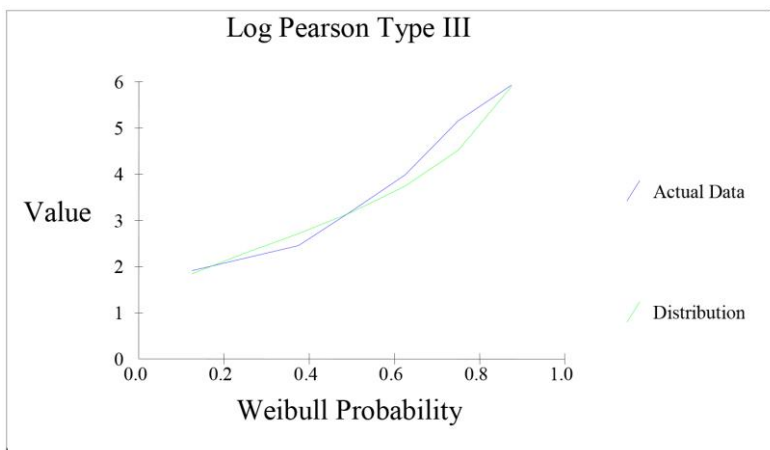
نوع توزیع	انحراف معیار	متوسط ضخامت معمولی یخ (mm)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱۱/۸۷	۱۴/۲۱	۲۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۸/۲۵	۱۲/۰۶	۱۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۵/۵۷	۱۰/۱۴	۵۰	۰/۹۸
لوگ پیرسون تیپ ۳	۳/۶۳	۸/۴	۲۵	۰/۹۶
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱/۹۶	۶/۳۵	۱۰	۰/۹۰
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱/۲۲	۴/۹۵	۵	۰/۸۰

جدول ۲: نتایج مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده

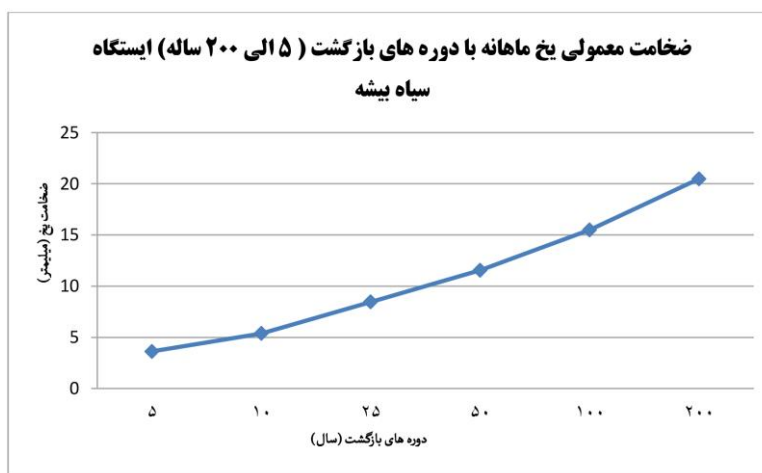
نوع توزیع	انحراف معیار	حداکثر ضخامت یخ (mm)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
لوگ پیرسون تیپ ۳	۷۳/۶۶	۱۰۱	۲۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۴۰/۸۶	۶۷/۶۷	۱۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۲۱/۱۷	۴۳/۰۲	۵۰	۰/۹۸
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱۰/۱۳	۲۵/۵	۲۵	۰/۹۶
لوگ پیرسون تیپ ۳	۳/۳۵	۱۰/۸۹	۱۰	۰/۹۰
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱/۳	۴/۶۸	۵	۰/۸۰



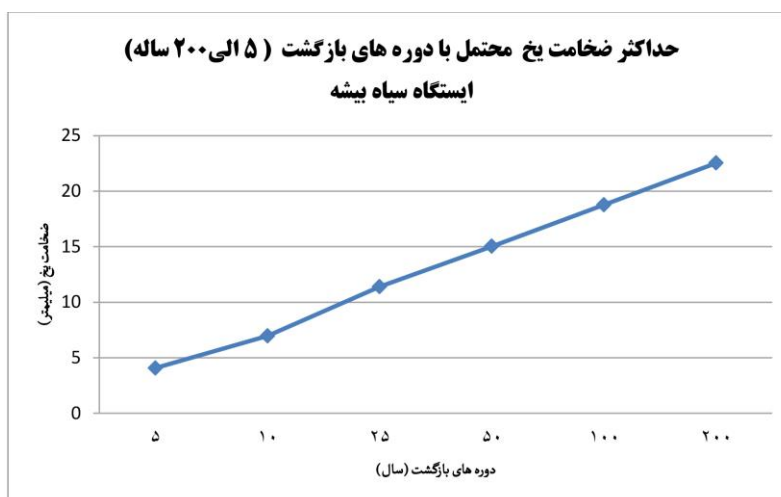
شکل ۲: نمودار مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده



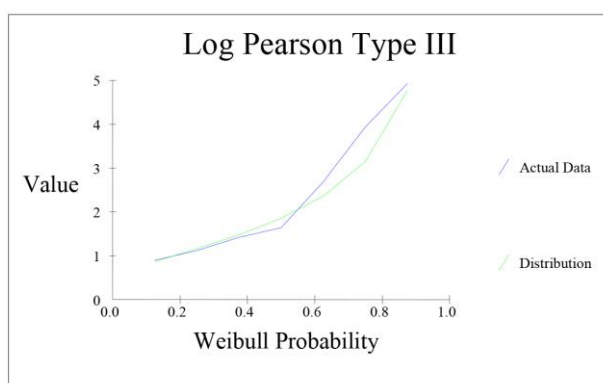
شکل ۳: نمودار مربوط به تابع توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ جهت برآزش ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری



شکل ۴: نمودار مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه سیاه بیشه



شکل ۵: نمودار مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه سیاه بیشه



شکل ۶: نمودار مربوط به تابع توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ جهت برازش ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری ایستگاه سیاه بیشه

جدول ۳: نتایج مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه سیاه بیشه

نوع توزیع	انحراف معیار	متوسط ضخامت معمولی یخ (ماهانه) (mm)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
لوگ پیرسون تیپ ۳	۳۵/۸۶	۲۰/۴۸	۲۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۲۰/۷۸	۱۵/۴۹	۱۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱۱/۷۵	۱۱/۵۶	۵۰	۰/۹۸
لوگ پیرسون تیپ ۳	۶/۴۳	۸/۴۶	۲۵	۰/۹۶
لوگ پیرسون تیپ ۳	۲/۷۳	۵/۳۸	۱۰	۰/۹۰
لوگ پیرسون تیپ ۳	۱/۴۱	۳/۶۳	۵	۰/۸۰

جدول ۴: نتایج مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه سیاه بیشه

نوع توزیع	انحراف معیار	حداکثر ضخامت یخ (mm)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
لوگ پیرسون تیپ ۳	۷/۹۷	۲۲/۵۳	۲۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۵/۴۸	۱۸/۷۷	۱۰۰	۰/۹۹
لوگ پیرسون تیپ ۳	۳/۴۸	۵/۰۳	۵۰	۰/۹۸
لوگ پیرسون تیپ ۳	۲۰/۰۱	۱۱/۴	۲۵	۰/۹۶
لوگ پیرسون تیپ ۳	۰/۸۶	۶/۹۷	۱۰	۰/۹۰
لوگ پیرسون تیپ ۳	۰/۴۸	۴/۰۷	۵	۰/۸۰

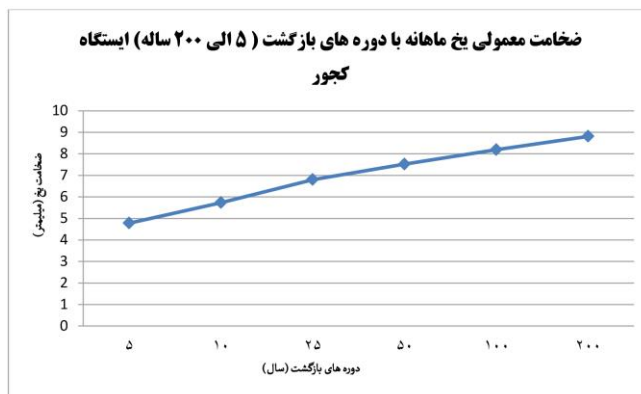
محاسبات مربوط به ایستگاه کجور

همان‌طور که در شکل ۷ و جدول ۵ مشاهده می‌شود متوسط ضخامت یخ محاسبه شده از ۳/۶ میلیمتر تا ۲۰/۵ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، در طی

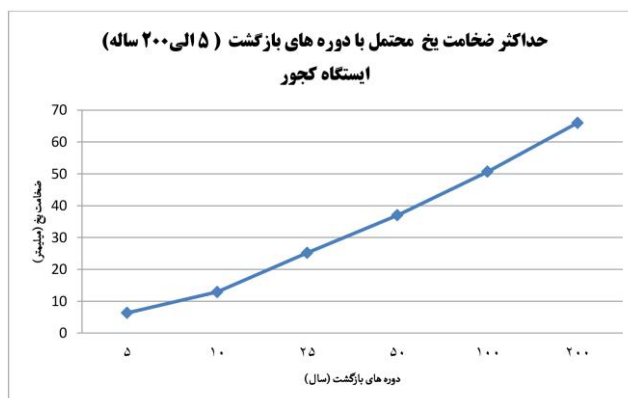
دوره آماری ایستگاه کجور بوده است، اما حداکثر یخ تشکیل شده طبق محاسبات از ۶/۴ تا ۷۰/۳ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، متغیر می‌باشد که مبنای بارگذاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط

لوگ نرمال ۳ پارامتری مناسب ترین توزیع برای برازش این داده‌ها تشخیص داده شده است. (شکل ۹). مقادیر اسمی بار برف و یخ که از این تحقیق حاصل شده با مقادیر ارائه شده توسط شرکت مشانیر مقایسه شده که در جدول ۷ آمده است.

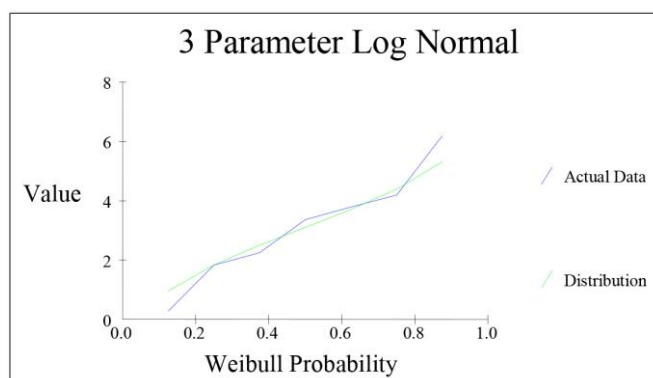
انتقال نیرو است. شکل ۸ و جدول ۶. از بین توزیع‌های مختلف آماری از نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، پیرسون تیپ ۳، لوگ پیرسون تیپ ۳، گامبل تیپ ۱، که قابلیت نکویی برازش داده‌ها را دارا بودند، توزیع احتمال



شکل ۷: نمودار مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه کجور



شکل ۸: نمودار مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه کجور



شکل ۹: نمودار مربوط به تابع توزیع احتمال لوگ نرمال سه پارامتری جهت برازش ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری ایستگاه کجور

جدول ۵: نتایج مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه کجور

نوع توزیع	انحراف معیار	متوسط ضخامت معمولی یخ (ماهانه) (mm)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
لوگ نرمال سه پارامتری	۲/۹۱	۸/۸۱	۲۰۰	۰/۹۹
لوگ نرمال سه پارامتری	۲/۴۴	۸/۱۹	۱۰۰	۰/۹۹
لوگ نرمال سه پارامتری	۲/۰۱	۷/۵۲	۵۰	۰/۹۸
لوگ نرمال سه پارامتری	۱/۶	۶/۸	۲۵	۰/۹۶
لوگ نرمال سه پارامتری	۱/۱۶	۲/۷۳	۱۰	۰/۹۰
لوگ نرمال سه پارامتری	۰/۹۳	۴/۷۸	۵	۰/۸۰

جدول ۶: نتایج مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه کجور

نوع توزیع	انحراف معیار	حداکثر ضخامت یخ (mm)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
لوگ نرمال سه پارامتری	۵۰/۶۴	۷۰/۲۶	۲۰۰	۰/۹۹
لوگ نرمال سه پارامتری	۳۱/۴۱	۵۳/۵۶	۱۰۰	۰/۹۹
لوگ نرمال سه پارامتری	۱۷/۹۷	۳۸/۷۹	۵۰	۰/۹۸
لوگ نرمال سه پارامتری	۹/۳۴	۲۶/۲	۲۵	۰/۹۶
لوگ نرمال سه پارامتری	۳/۴۶	۱۳/۲۶	۱۰	۰/۹۰
لوگ نرمال سه پارامتری	۱/۵۹	۶/۴۳	۵	۰/۸۰

جدول ۷: تعیین مقادیر اسمی متغیر تصادفی ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده، سیاه بیشه و کجور و مقایسه آنها با مقادیر ارائه شده توسط آیین نامه مشانیر

منطقه	متغیرهای تصادفی					
	ضخامت معمولی یخ ماهیانه (میلیمتر)			بیشترین ضخامت یخ (میلیمتر)		
	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی	حد مازاد	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی	حد مازاد
بلده	۲۰	۳/۵۴	۲۰	۴۰	۲۹/۱۱	۲۰
سیاه بیشه	۲۰	۲/۳۷	۲۰	۴۰	۱۷/۴	۲۰
کجور	۲۰	۳/۱۹	۲۰	۴۰	۳۶/۵۳	۲۰

کجور (۳۶/۵۳) بوده و به مقدار اسمی مشانیر نزدیک بوده است. اما ایستگاه سیاه بیشه از مقدار اسمی مشانیر کمتر می‌باشد. با توجه به مشاهدات جدول ۸، در منطقه بلده از دوره بازگشت ۵۰ سال

جدول ۷ مقادیر اسمی محاسبه شده (متوسط ضخامت و حداکثر ضخامت یخ) را با مقدار اسمی مشانیر که به ترتیب ۲۰ و ۴۰ میلیمتر هستند را نشان می‌دهند، که در ایستگاه بلده (۲۹/۱۱) و

می‌باشد. در حالی که در دوره بازگشت بین ۲۵ تا ۵۰ سال جزو مناطق سنگین و کمتر از ۲۵ سال جزو مناطق متوسط از نظر بارگذاری برف و یخ می‌باشد. برای منطقه سیاه بیشه مقدار بار برف و یخ برای دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ ساله جزو مناطق متوسط (۱۵ الی ۱۸/۷ میلیمتر) و برای دوره بازگشت بیشتر از ۱۰۰ سال تا ۲۰۰ ساله جزو مناطق سنگین بوده، که کمتر از مقدار مشانیر (مطابق با آیین نامه مشانیر) می‌باشد.

به بعد حداکثر ضخامت یخ به ۴۳ میلیمتر رسیده که بالاتر از مقدار اسمی مشانیر (۴۰) و جزو مناطق فوق سنگین از نظر آیین نامه بارگذاری می‌باشد. در حالی که در دوره بازگشت بین ۲۵ تا ۵۰ سال جزو مناطق سنگین و کمتر از ۲۵ سال جزو مناطق متوسط از نظر بارگذاری برف و یخ می‌باشد. در منطقه کجور نیز با دوره بازگشت ۵۰ سال، حداکثر ضخامت یخ به ۳۹ میلیمتر رسیده که تقریباً برابر با مقدار اسمی مشانیر (۴۰) و جزو مناطق فوق سنگین از نظر آیین نامه بارگذاری

جدول ۸: تعیین مقادیر اسمی متغیر تصادفی ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده، سیاه بیشه و کجور با دوره‌های بازگشت مختلف و مقایسه آنها با مقادیر ارائه شده توسط آیین نامه مشانیر

منطقه	متغیرهای تصادفی										
	ضخامت معمولی یخ ماهیانه (میلیمتر)					بیشترین ضخامت یخ (میلیمتر)					
	مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی				مقدار اسمی مشانیر	مقدار اسمی				
		دوره بازگشت (سال)					دوره بازگشت (سال)				
۲۵		۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰		۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	
بلده	۲۰	۸/۴	۱۰/۱۴	۱۲/۰۶	۱۴/۲۱	۴۰	۱۰/۸۹	۲۵/۵	۴۳/۰۲	۶۷/۶۷	۱۰۱
سیاه بیشه	۲۰	۸/۴۶	۱۱/۵۶	۱۵/۴۹	۲۰/۴۸	۴۰	۶/۹۷	۴/۱۱	۱۵/۰۳	۱۸/۷۷	۲۲/۵۳
کجور	۲۰	۸/۶	۷/۵۲	۸/۹	۸/۸۱	۴۰	۱۳/۲۶	۲۶/۲	۳۸/۷۹	۵۳/۵۶	۷۰/۲۶

نتیجه‌گیری

جمله بارهای موثر در بارگذاری دکل انتقال نیرو هستند با استفاده از داده‌های هواشناسی ساعتی (سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ میلادی) و روش شبیه‌سازی ارائه شده توسط آزمایشگاه و پژوهشگاه مهندسی مناطق سردسیر، سه ایستگاه کوهستانی بلده، کجور و سیاه بیشه در غرب مازندران مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مقادیر اسمی جدید با دوره بازگشت‌های مختلف پیشنهاد گردیده است. با نگاه کلی به نتایج بدست آمده، متوسط ضخامت یخ محاسبه شده از ۵ میلیمتر تا ۱۴ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰

پهنه‌بندی آب و هوایی و ارائه شرایط بارگذاری متناسب با منطقه جهت طراحی مکانیکی خطوط حائز اهمیت بوده و انتخاب صحیح این شرایط به لحاظ فنی و اقتصادی تاثیر به سزایی در طراحی پروژه خواهد داشت. نقشه بار برف و یخ که در گذشته توسط وزارت نیرو تدوین گردیده، کارایی و نوآوری لازم را نداشته و یا اینکه برای بسیاری از مناطق توسعه یافته جدید شهری و روستایی بازنگری نشده است در این تحقیق پارامتر آماری ضخامت یخ با دوره‌های بازگشت چند ساله، که از

این داده‌ها در منطقه کجور تشخیص داده شده است. در مورد منطقه بلده ضخامت یخ حاصل شده که توسط آیین‌نامه بارگذاری مشانیر جزو مناطق فوق سنگین گزارش شده است، مقادیر محاسبه شده بار برف و یخ برای ارتفاع ۳۵ متری با دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰ الی ۲۰۰ سال)، از دوره ۵۰ سال به بعد مقدار بیشترین ضخامت یخ محتمل که می‌تواند به خطوط انتقال نیرو خسارت وارد کند، بیشتر از مقدار اسمی مشانیر (عدد ۴۰) است. بنابراین برای طراحی خطوط انتقال نیرو با دوره بازگشت کمتر از ۵۰ سال منطقه بلده جزو مناطق سنگین و با دوره بازگشت بیشتر از ۵۰ سال جزو مناطق فوق سنگین (مطابق با آیین‌نامه مشانیر) می‌باشد. برای منطقه سیاه بیشه مقدار بار برف و یخ برای دوره بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ ساله جزو مناطق متوسط و برای دوره بازگشت بیشتر از ۱۰۰ سال جزو مناطق سنگین بوده، که کمتر از مقدار مشانیر (مطابق با آیین‌نامه مشانیر) می‌باشد. در منطقه کجور نیز ضخامت یخ حاصل شده که توسط آیین‌نامه بارگذاری مشانیر جزو مناطق فوق سنگین گزارش شده است، مقادیر محاسبه شده بار برف و یخ برای دکل‌های فشار قوی با دوره بازگشت‌های مختلف (۱۰ الی ۲۰۰ سال)، از دوره ۵۰ سال به بعد مقدار بیشترین ضخامت یخ محتمل که می‌تواند به خطوط انتقال نیرو خسارت وارد کند، بیشتر از مقدار اسمی مشانیر (عدد ۴۰) است. بنابراین برای طراحی خطوط انتقال نیرو با دوره بازگشت کمتر از ۵۰ سال منطقه کجور همانند بلده جزو مناطق سنگین و با دوره بازگشت بیشتر از ۵۰ سال جزو مناطق فوق سنگین (مطابق با آیین‌نامه مشانیر) می‌باشد. با توجه نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با احداث ایستگاه‌های

الی ۰/۹۹، در طی دوره آماری ایستگاه بلده بوده است، اما حداکثر یخ تشکیل شده طبق محاسبات از ۴/۷ تا ۱۰۱ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، متغیر می‌باشد که مبنای بارگذاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط انتقال نیرو است. از بین توزیع‌های مختلف آماری از نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، پیرسون تیپ ۳، لوگ پیرسون تیپ ۳، گامبل تیپ ۱، که قابلیت نکویی برازش داده‌ها را دارا بودند، توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ مناسب‌ترین توزیع برای برازش این داده‌های بلده تشخیص داده شده است. متوسط ضخامت یخ محاسبه شده از ۳/۶ میلیمتر تا ۲۰/۵ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، در طی دوره آماری ایستگاه سیاه بیشه بوده است، اما حداکثر یخ تشکیل شده طبق محاسبات از ۴/۰۷ تا ۲۲/۵ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، متغیر می‌باشد که مبنای بارگذاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط انتقال نیرو است. از بین توزیع‌های مختلف آماری توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳، مناسب‌ترین توزیع برای برازش این داده‌ها تشخیص داده شده است. متوسط ضخامت یخ محاسبه شده از ۳/۶ میلیمتر تا ۲۰/۵ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، در طی دوره آماری ایستگاه کجور بوده است، اما حداکثر یخ تشکیل شده طبق محاسبات از ۶/۴ تا ۷۰/۳ میلیمتر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله با احتمال ۰/۸۰ الی ۰/۹۹، متغیر می‌باشد که مبنای بارگذاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط انتقال نیرو است. از بین توزیع‌های مختلف آماری توزیع احتمال لوگ نرمال ۳ پارامتری مناسب‌ترین توزیع برای برازش

سپاس‌گزاری

از دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات سازمان هواشناسی کشور به خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات و آمار هواشناسی سپاس‌گزاری می‌گردد.

هواشناسی خودکار در منطقه و مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، نتایج دقیق‌تری بدست آید. ضمناً با استفاده از مدل‌های عددی و شبکه‌های عصبی و جفت نمودن آن با نرم‌افزار GIS بتوان نقشه‌های بار برف و یخ را با دقت مکانی بالا ترسیم نمود.

پانویس

1-POT
2-GIS
3-WRF
4-Wet Snow Overload ALert and Forecast

5-Chaotic sine cosine operator extreme learning machine
6-CCREL
7-Excel
8-SMADA

منابع

-قلیچی، ف.، درساره، م. و معانی، ع.، ۱۳۹۰. شناسایی تجهیزات بحرانی شبکه‌های توزیع از نظر قابلیت اطمینان، نشریه هوش مصنوعی و ابزار دقیق، شماره ۲۶(۲)، ص ۴-۵.
-میر شریفی، ا.، ۱۳۸۵. تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری در طراحی دکل‌های انتقال نیروی ایران، نشریه دانشکده فنی، شماره ۴۰ (۵)، ص ۷۱۳-۷۲۲.
-نوحی، ا.، ۱۳۹۱. مبانی هواشناسی و اقلیم‌شناسی، تهران، انتشارات آب و هوا، ۳۹۶ ص.
-یوسفی، ی.، ۱۳۹۵. تغییرپذیری بارش و دوره‌های تر و خشک در بخش‌های جنوبی دریای خزر، پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۵، ص ۱۶-۳۰.

-براتی، غ.، احمدی، م.، میرزایی، ا. و بیتار، م.، ۱۳۹۵. ترازایی زبانه‌های پرفشار سیبری هنگام رخداد سرماهای بحرانی در ایران مرکزی، نشریه پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۶، ص ۱۲۲-۱۲۴.
-شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)، ۱۳۷۸. نقشه‌های پهنه‌بندی مناطق چهارگانه آب و هوایی کشور، وزارت نیرو: دپارتمان تحقیقات و استانداردها.
-شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر)، ۱۳۷۷. آیین‌نامه و استاندارد بارگذاری برج‌های انتقال نیرو، وزارت نیرو: استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیرو.

-Bonanno, R., Lacavallan, M. and Marcacclp, P., 2017. Weather Forecast and monitoring system of wet snow sleeve on overhead power lines in Italy, World Energy and Meteorology Council, 28 p.
-Ducloux, H. and Nygaard, B.E., 2014. 50-year return-period wet-snow load estimation based on weather station data for overhead line design in France,

Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 14(1), p. 3031-3041.
-Gumbel, E.J., 2004. Statistics of Extremes, Dover Publications, 375 p.
-Lehtonen, I., Hoppula, P. and Gregow, H., 2014. Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods, Silva Fennica, v. 48(3), p. 1120-1139.
-JilinCai, Q., Minjian, C. and Bin, Y., 2019. A novel importance sampling

- method of power system reliability assessment considering multi-state units and correlation between wind speed and load, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 109(3), p. 217-226.
- Nygaard, B.E., Ágústsson, H. and Somfalvi-Tóth, K., 2013. Modeling wet-snow accretion on power lines: Improvements to previous methods using 50 years of observations, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 52(1), p. 2189-2203.
- Nygaard, B.E. and AmbjørnSeierstad, I., 2014. A new snow and ice load map for mechanical design of power lines in Great Britain, *Cold Regions Science and Technology*, v. 108(2), p. 28-35.
- 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, Department of Physics, Indiana University, Bloomington, Indiana 47405,U.S.A.*
- Rantaab, J., Polojärviab, A. and Tuhkuriab, J., 2017. The statistical analysis of peak ice loads in a simulated ice-structure interaction process, *Cold Regions Science and Technology*, v. 133, p. 46-55.
- Xiang-junZeng, X., longLuo, J. and Ting-tingXiong, H., 2012. A novel thickness detection method of ice covering on overhead transmission line, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 14(5), p. 1349-1354.
- Wang, W. and Peng, W., 2019. Study on sustainable development of power transmission system under ice disaster based on a new security early warning model, *Journal of Cleaner Production*, v. 228(5), p. 175-184.
- Zarnani, A. and Musilek, P., 2012. Learning to predict ice accretion on electric power lines, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 25(3), p. 609-617.
- Nygaard, B.E. and Carlshem, L., 2019. Development of a 50-years return value ice load map for Sweden, *Int.workshop on Atmospheric Icing of structures, Reykjavik*, p. 1-5.
- Solangi, A.R., 2018. Icing Effect on Power Lines and Anti-icing and De-icing Methods, *Master's Thesis in Technology and safety in High North, The ARCTIC UNIVERSITY of NoRWAY*, p. 60-65.