

## مدلسازی بار برف و یخ جهت طراحی خطوط انتقال نیرو (مطالعه موردی: بلده نور)

غلامعلی احمدی، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران.

غلامرضا جانباز قبادی\*، استادیار آب و هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران.

صدرالدین متولی، دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران.

شهریار خالدي، استاد گروه آب و هواشناسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۳

**چکیده:** امروزه با توسعه مناطق شهری و روستایی خصوصا در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی غرب استان مازندران، لزوم برق‌رسانی به این مناطق امری ضروری است، از طرفی با توجه به تغییرات اقلیمی گسترده در دهه‌های اخیر، که خود برف و یخبندانهای ناگهانی را در این مناطق به دنبال داشته، 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. بدین منظور با جمع آوری و اصلاحات بر روی داده‌های هواشناسی (سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ میلادی) برای منطقه بلده و با استفاده از روش شبیه‌سازی ارائه شده توسط آزمایشگاه و پژوهشگاه مهندسی مناطق سردسیر<sup>۱</sup>، برنامه مورد نظر جهت محاسبه مقدار ضخامت یخ در محیط اکسل<sup>۲</sup> در دو ارتفاع ۱۰ و ۳۵ متری (ارتفاع متوسط کابلها) نوشته شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار اسمادا<sup>۳</sup>، هیستوگرام‌های مربوطه رسم شده‌اند. 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 جزو مناطق سنگین و با دوره بازگشت بیشتر از ۵۰ سال جزو مناطق فوق سنگین (مطابق با آیین نامه مشانیر) می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** متغیرهای هواشناسی، بار برف و یخ، دکلهای انتقال نیرو، CCREL، بلده نور

## Modeling Ice and Snow Accretion for Designing Power Lines (Case Study: Baladeh Nur Area)

Gholamali Ahmadi, Phd Student, Noor Branch, Islamic Azad University, Noor, Iran

Gholamreza Janbaz Ghobadi, Assistant Professor, Noor Branch, Islamic Azad University, Noor, Iran

Sadrodin Motavali, Associate Professor, Noor Branch, Islamic Azad University, Noor, Iran

Shahryar Khaledi, Professor, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Abstract:** With the development of urban and rural areas, specifically in the foothills and mountainous areas of West Mazandaran province, electricity supply has become a necessity today. On the other hand, due to the massive climate changes in recent decades, which in turn has caused sudden snow and freezing in this region, the map of snow and ice loads that has been developed previously by the Ministry of Energy is not applicable anymore, or has not been reviewed for many newly developed urban and rural areas. Therefore, in this research, we try to calculate snow and ice loads by using the latest data, meteorological statistics and statistical methods for the design of electricity transmission lines. For this purpose, by using meteorological data (from 2005 to 2018) for Baladeh area and using simulation method provided by laboratory and engineering institute of cold regions (CCREL), the program is applied to calculate the amount of ice thickness in Excel environment. They were written at two heights of 10 and 35 meter (average height of the cables) and then the histograms were plotted using the Smada software. In this research, the statistical parameter of ice load has been investigated in the multi-year return periods for the mountainous area of Baladeh as one of the most important loadings on the transmission tower. Finally, nominal values with different return periods are proposed. The results showed that for the design of power transmission lines with a return period of less than 50 years, the region of Baladeh is a heavy region, and with the return period of more than 50 years, it is a super-heavy region (in accordance with the code).

**Keywords:** meteorological parameters, snow and ice load, electricity transmission lines, CCREL, Baladeh Nur area

**نویسنده مسئول:** غلامرضا جانباز قبادی، استادیار آب و هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران،

<sup>1</sup> -CCREL

<sup>1</sup> -Excel

<sup>1</sup> -SMADA

## مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است. کشور ایران و به تبع آن استان مازندران نیز از این پدیده مستثنی نیستند و در چند سال اخیر شاهد خشکسالی‌های شدید، طوفان، سیل، موج گرما و موج سرما (زمستان ۹۵-۹۲-۱۳۸۶) در استان بوده‌ایم. پیش بینی‌ها حاکی از شدیدتر شدن این تغییرات همزمان با پیشرفت پدیده تغییر اقلیم است. اجرای طرح‌های عمرانی، اقتصادی، اجتماعی و دیگر طرح‌ها نیاز به شناخت تغییرات اقلیمی جهت برنامه ریزی صحیح داشته و از این رو ضرورت و اهمیت مطالعات اقلیمی در کالبد برنامه ریزی خرد و کلان کشور و در مقیاس کوچکتر استان و شهر قابل لمس است. (نوحی، ۱۳۹۱: ۶۲)

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 کننده‌ای 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 مورد نظر دارد. یکی از مشکلات شرکت برق منطقه‌ای در مناطق سردسیر، یخ‌زدگی و نشست برف بر روی کابلها 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: ۱۷). با توجه به تغییرات اقلیمی گسترده در دهه‌های اخیر، که خود برف و یخبندانهای ناگهانی را در این مناطق به دنبال داشته، 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 تقسیم بندی 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، ۱۳۸۷: ۱۲) شکل (۲). 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 شبیه سازی و تخمین بار برف و یخ انجام گردید.

در بریتانیا بار یخ با دوره برگشت ۵۰ ساله به روش آستانه- حداکثر<sup>۱</sup>، تخمین و نقشه با روش رگرسیونی و کریجینگ تهیه شد. (نیگارد<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۸). شبکه‌های عصبی از طریق شبیه‌سازی 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. (ژیانگ ژونگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۵۱).

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. (داکلوکس<sup>۴</sup> و نیگارد، ۲۰۱۴: ۳۰۳۱).

1. POT
2. Nygaard
3. Xiang-junZeng
4. Ducloux

توزیع‌های آماری گامبل (گامبل<sup>۱</sup>، ۸۴:۲۰۰۴)، سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup>، مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا<sup>۳</sup> (نیگارد و همکاران، ۲۰۱۳:۹۳-۲۱۹۰)، الگوریتم مقایسه داده‌ها (زرنانی<sup>۴</sup> و موسیلک<sup>۵</sup>، ۶۱۱:۲۰۱۲)، مدل‌های<sup>۶</sup> WOLF (بونانو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۷:۲۸)، تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری (میرشریفی، ۷۲۱-۷۱۹:۱۳۸۵)، شبیه‌سازی روش المان محدود و گسسته D۲ (راتنا<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۹-۵۰)، پیش‌بینی خسارت پوشش یخ توسط مدل<sup>۹</sup> CSCWOA-ELM (ونگ<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۸۰)، بررسی اثر یخبندان بر روی خطوط انتقال نیرو در نروژ با مدل Imai (سولنگی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۸: ۶۳-۶۲)، محاسبه بار برف و یخ با مدل‌های پیش‌بینی عددی با دوره بازگشت ۵۰ ساله در سوئد (نیگارد و همکاران، ۲۰۱۹: ۴-۳)، از جمله مواردی هستند که می‌توانند بار برف و یخ را با دقت بالا شبیه‌سازی نمایند. 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.



شکل (۱): خسارت برف بر روی دکل‌های انتقال نیرو در منطقه مورد مطالعه

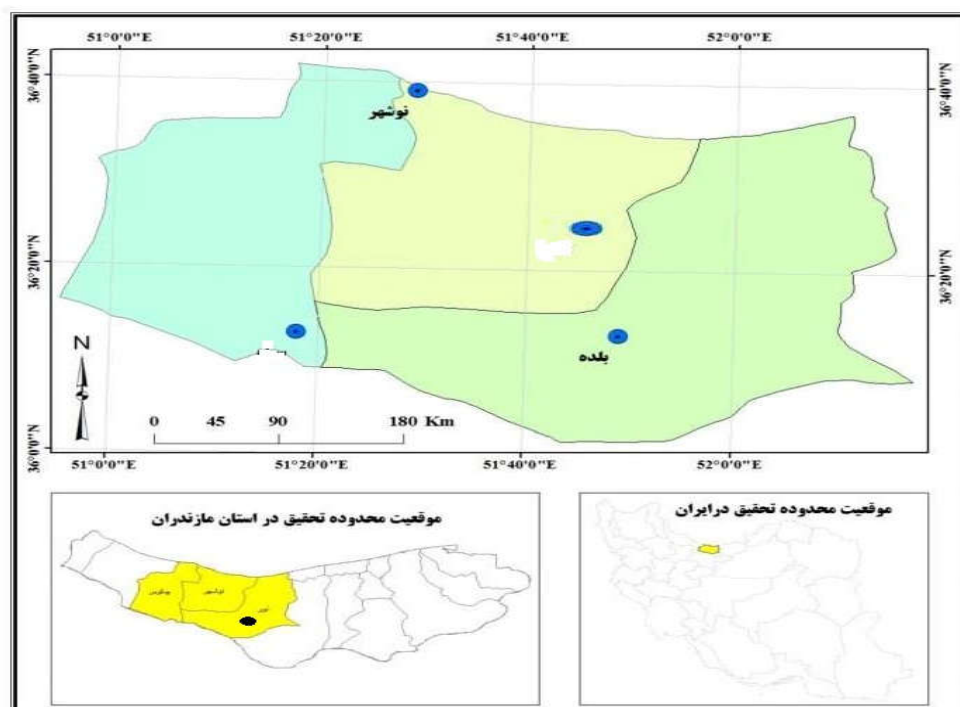


شکل (۲): خسارت برف بر روی دکل‌های انتقال نیرو فشار قوی در منطقه مورد مطالعه

1. Gumbel
2. GIS
3. WRF
4. Zarnani
5. Musilek
6. Wet Snow Overload ALert and Forecast
7. Bonanno
8. Ranta
9. Chaotic sine cosine operator extreme learning machine
10. Wang
11. Solangi

### مشخصات منطقه و داده‌های مورد استفاده

منطقه بلده یکی از مناطق کوهستانی شهرستان نور می‌باشد. این شهرستان از شمال به دریای مازندران، از جنوب به استان تهران، از شرق به شهرستان آمل و از غرب به شهرستان نوشهر محدود است. ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی بلده در ناحیه جغرافیایی ۳۶/۱۲ درجه شمالی و ۵۱/۴۸ درجه شرقی و ارتفاع ۲۱۲۰ متر از سطح دریا واقع شده است. در این مقاله از داده‌های هواشناسی ایستگاه بلده نور در طول دوره آماری ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۸ میلادی که در فاصله‌های زمانی یک ساعته ثبت شده اند استفاده گردید. اطلاعات خام هواشناسی به صورت ساعتی در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه گیری شده و قبل از استفاده باید یکسری فرضیات و ملاحظات روی داده‌های خام اولیه صورت گیرد، تا بتوان از روابط 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 کابل است.



شکل (۳): موقعیت محدوده تحقیق در استان مازندران

معرفی روش شبیه سازی ارائه شده توسط آزمایشگاه و پژوهشگاه مهندسی مناطق سردسیر ایالات متحده آمریکا<sup>۱</sup> در مدل سازی ضخامت یخ:

در این روش ضخامت یخ دورکابلها، بصورت باران منجمد که بصورت شعاعی و یکنواخت حول کابل تشکیل می‌شود، مدل می‌گردد. (ژیانگ ژونگ ژن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۵۲). در این روش جهت مدلسازی ضخامت یخ نیاز به اطلاعات خام هواشناسی زیر می‌باشد.

شدت بارش در هر ساعت از روز.

سرعت باد در هنگام بارش در ارتفاع سیم

دمای هوادر هنگام بارش.

1. CCREL  
2. Xiang-junZeng

نوع بارندگی (رگبار، برف، تگرگ و ...) که با شناسه هوای حاضر<sup>۱</sup> تعیین می‌شوند.

پس از آن که 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.

$$R_{eq} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{\rho_j \pi} \left[ (P_j \rho_0)^2 + (3.6 V_j W_j)^2 \right]^{1/2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

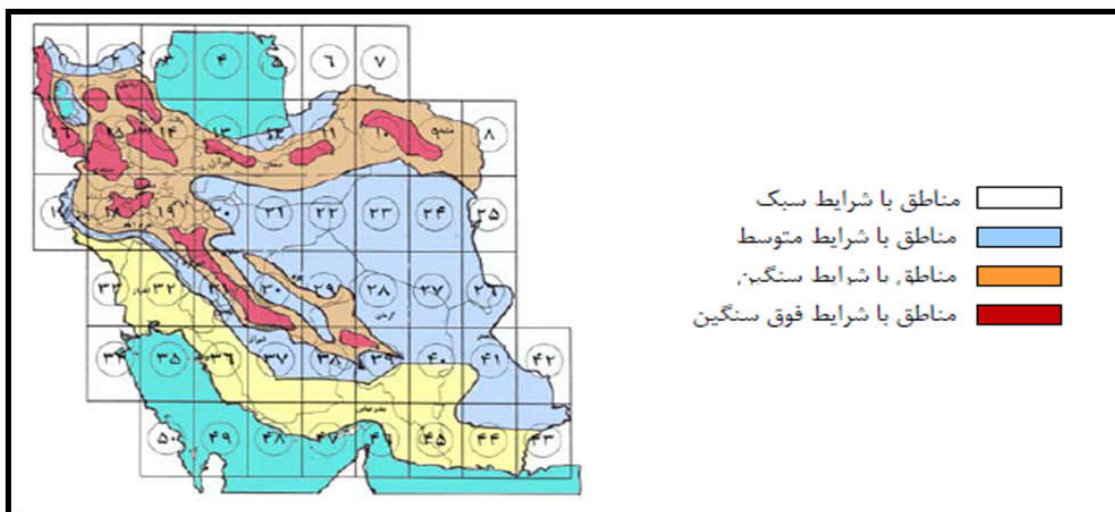
که در رابطه فوق  $R_{eq}$ : ضخامت یکنواخت یخ دور سیم بر حسب میلیمتر؛  $P_j$ : شدت بارش بر حسب میلیمتر بر ساعت؛  $\rho_0$ : چگالی آب (۱ گرم بر سانتیمتر مکعب)؛  $\rho_j$ : چگالی یخ منجمد (۰٫۹، ۰ گرم بر سانتیمتر مکعب)؛  $V_j$ : سرعت باد در ارتفاع سیم در  $Z$  امین ساعت (متر بر ثانیه)؛  $W_j$ : وزن آب مایع موجود در واحد حجم هوا در  $Z$  امین ساعت بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب؛  $N$  تعداد ساعاتی است که یخ بصورت پیوسته روی کابل تشکیل می‌شود (دوره یخ‌زدگی).

اثر ارتفاع در تعیین سرعت باد (تبدیل سرعت پایه باد به سرعت آن در ارتفاع سیم): مقادیر ارایه شده سرعت باد در ایستگاههای هواشناسی در ارتفاع ۱۰ متری اندازه گیری شده، حال آنکه ارتفاع دکلهای انتقال قدرت در ارتفاعات (۲۰ تا ۵۰ متری) مختلف قرار دارند، جهت محاسبه سرعت باد در ارتفاع  $Z$  رابطه زیر پیشنهاد می‌گردد.

$$V_w = V_0 \left( \frac{h_w}{h_A} \right)^{0.14} \quad \text{رابطه (۲)}$$

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 معمولا در ارتفاع ۱۰ متری قرار دارد. هر دوره یخ‌زدگی 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 فرض می‌شود که اگر دمای هوا برای ۶ ساعت متوالی بالای صفر درجه سانتیگراد و پایینتر از آن باشد، کل یخ بجا مانده 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: ۳). با اعمال اصلاحات فوق که بر روی رابطه (۱) تاثیر گذار هستند و با جاگذاری بعضی ثابتها، می‌توان رابطه شماره (۳) را به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$R_{eq} = 1.061 \left[ P_j^2 + [(0.1897 \times V_j P_j^{0.846})]^2 \right]^{1/2} \quad \text{رابطه (۳)}$$



شکل (۴): نقشه پهنه بندی مناطق چهارگانه بارگذاری کشور (طبق آیین نامه مشابیر)

## روش تحقیق

بعد از جمع آوری و اصلاحات بر روی داده‌های هواشناسی، در محیط اکسل<sup>۱</sup> و در کار برگ نهایی برنامه مورد نظر جهت محاسبه مقدار ضخامت یخ روزانه، ماهانه و سالانه نوشته و پارامترهای آماری در دو ارتفاع ۱۰ و ۳۵ متری (ارتفاع متوسط کابلها) محاسبه و سپس با استفاده از نرم افزار اسمادا<sup>۲</sup>، هیستوگرام‌های مربوطه رسم شده‌اند. سری‌های آماری تاریخ یخبندان و ضخامت یخ بدون در نظر گرفتن نوع آن با توزیع‌های مختلف آماری نرمال، لوگ نرمال، پیرسن، لوگ پیرسن، گمبل و گاما برازش داده شدند و سپس شاخص‌های آماری شامل میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب چولگی، ضریب کشیدگی، محاسبه شدند. علاوه بر محاسبه آماره‌های مذکور، تحلیل آماری نیز بر اساس آماره‌های مختلف فراسنج‌های یخبندان صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که محاسبات آماری مربوط به این بررسی با استفاده از نرم افزار جامپ<sup>۳</sup>، اکسل و نرم افزار اسمادا انجام شد.

نظر به اینکه طول دوره آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت بود، جهت تعیین تأثیر طول دوره آماری در انتخاب نوع توزیع و سایر شاخص‌های آماری فراسنج‌های مختلف یخبندان، کوتاه ترین طول دوره آماری ایستگاه‌ها یعنی ۱۳ سال به عنوان دوره آماری شاخص در نظر گرفته شد و آماره‌های فراسنج‌های مختلف یخبندان در این دوره محاسبه شد. پس از مشخص شدن طول دوره آماری شاخص، مجدداً تحلیل‌های آماری مختلف بر روی داده‌ها صورت گرفت. سپس در دوره شاخص، احتمالات ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد تاریخ‌های رخداد یخبندان و برف، به طور کلی فراسنج‌های مختلف محاسبه و تعیین شدند.

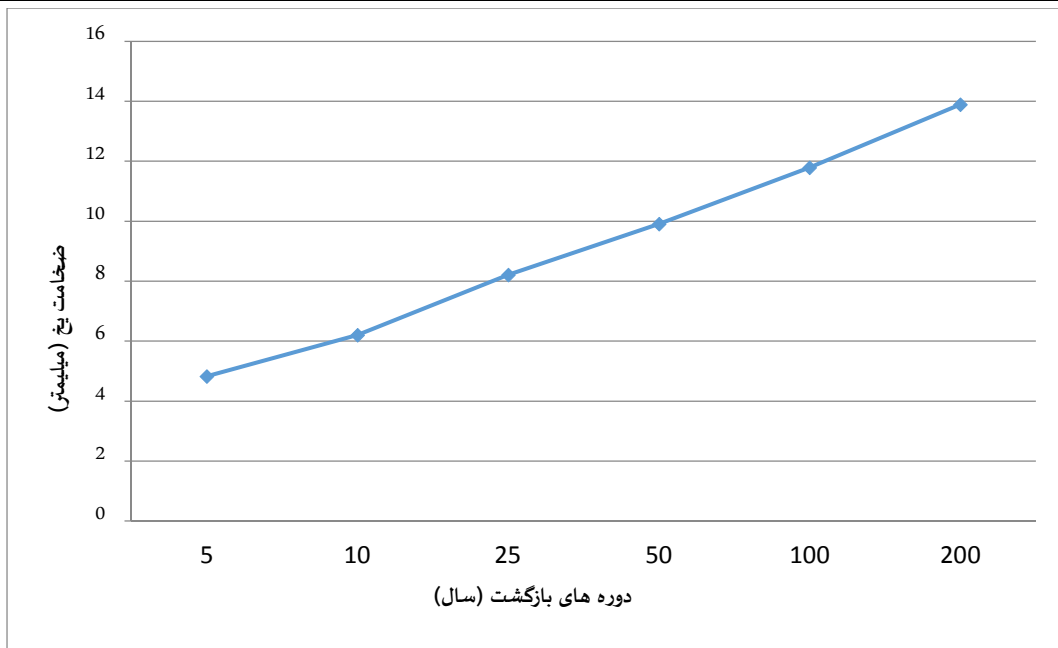
## یافته‌های تحقیق

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، ایستگاه کوهستانی بلده، مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مقادیر اسمی جدید با دوره بازگشت‌های مختلف پیشنهاد گردیده است. در این تحقیق ضخامت یخ بر روی کابل برای منطقه بلده، در دو ارتفاع ۱۰ و ۳۵ متری 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 مختلف، توزیع آماری احتمال جهت برازش ضخامت یخ برای منطقه بلده تشریح شده است.

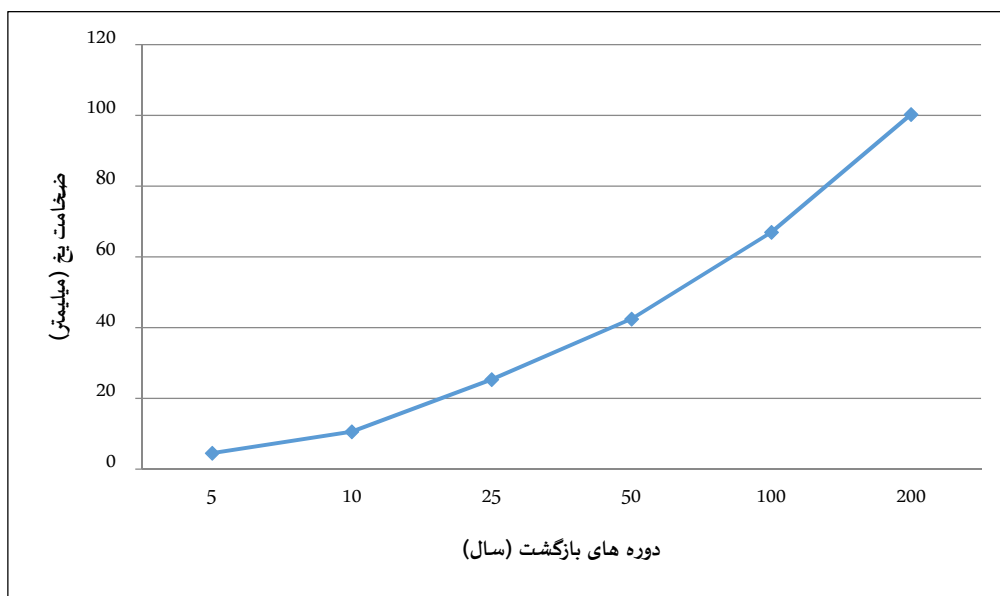
## محاسبات مربوط به ایستگاه بلده:

در جداول و نمودارهای 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 دو ارتفاع ۱۰ و ۳۵ متری، در منطقه مورد مطالعه به طور مبسوط تشریح گردید.

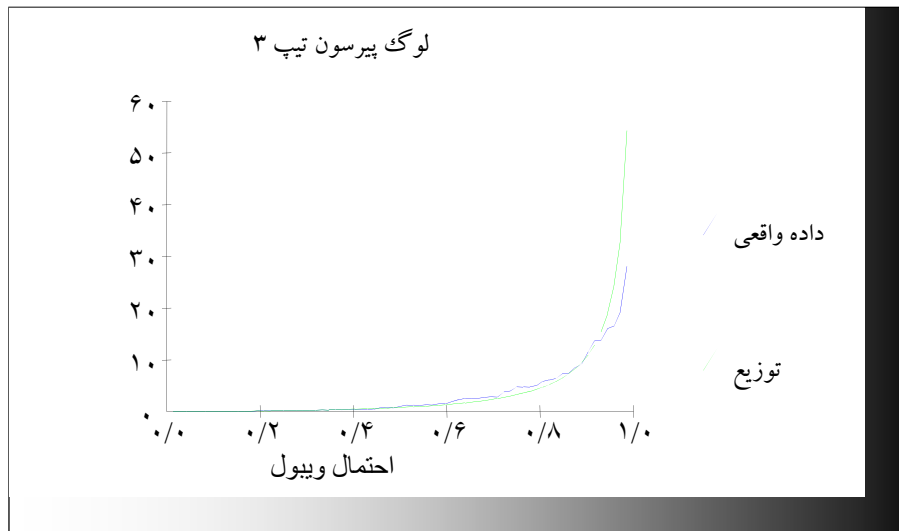
1. Excel  
2. SMADA  
3. Jump



شکل (۵): نمودار مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و پارامترهای آن در ارتفاع ۱۰ متری منطقه بلده



شکل (۶): نمودار مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۱۰ متری منطقه بلده



شکل (۷): نمودار مربوط به تابع توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ جهت برازش ضخامت یخ در ارتفاع ۱۰ متری

جدول (۱): نتایج مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و مقادیر آن در ارتفاع ۱۰ متری منطقه بلده

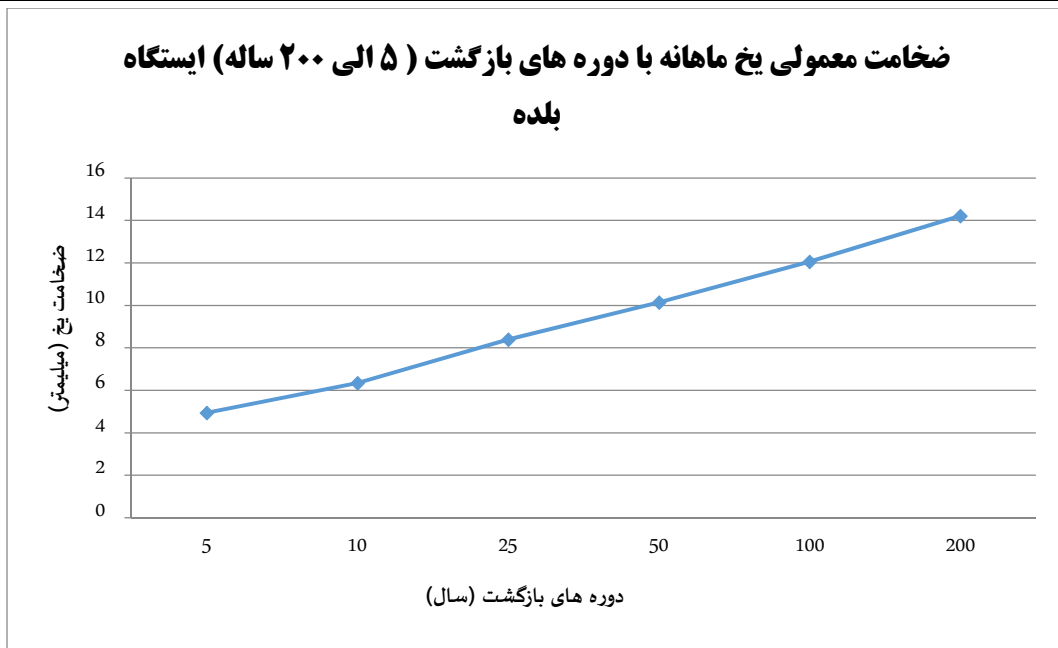
نوع توزیع	انحراف معیار	متوسط ضخامت معمولی یخ (ماهانه) (میلیمتر)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
پیرسون تیپ ۳	۱۱/۵۶	۱۳/۸۹	۲۰۰	۰/۹۹
پیرسون تیپ ۳	۸/۰۵	۱۱/۷۹	۱۰۰	۰/۹۹
پیرسون تیپ ۳	۵/۴۴	۹/۹۱	۵۰	۰/۹۸
پیرسون تیپ ۳	۳/۵۵	۸/۲۱	۲۵	۰/۹۶
پیرسون تیپ ۳	۱/۹۲	۶/۲۱	۱۰	۰/۹۰
پیرسون تیپ ۳	۱/۱۹	۴/۸۳	۵	۰/۸۰

جدول (۲): نتایج مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و مقادیر آن در ارتفاع ۱۰ متری منطقه بلده

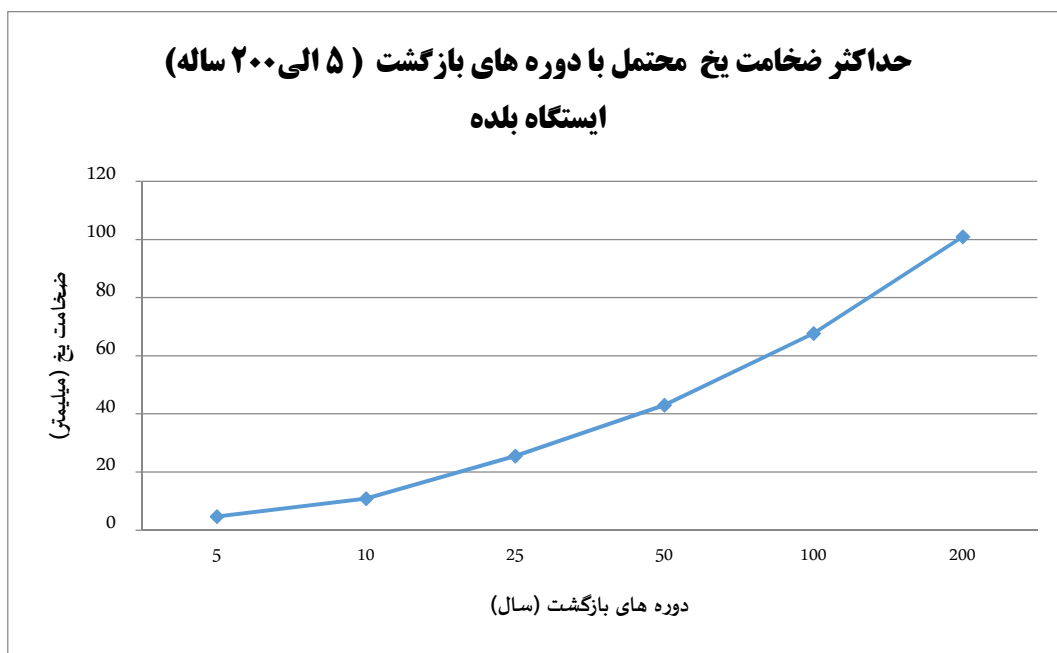
نوع توزیع	انحراف معیار	حداکثر ضخامت یخ (میلیمتر)	دوره بازگشت (سال)	حداکثر احتمال
پیرسون تیپ ۳	۷۳/۶۷	۱۰۰/۲۵	۲۰۰	۰/۹۹
پیرسون تیپ ۳	۴۰/۷۳	۶۶/۹۶	۱۰۰	۰/۹۹
پیرسون تیپ ۳	۲۱/۰۲	۴۲/۴	۵۰	۰/۹۸
پیرسون تیپ ۳	۱۰/۰۱	۲۵/۰۳	۲۵	۰/۹۶
پیرسون تیپ ۳	۳/۲۹	۱۰/۶۲	۱۰	۰/۹۰
پیرسون تیپ ۳	۱/۲۷	۴/۵۴	۵	۰/۸۰

همانطور که در نمودار شکل (۵) و جدول (۱) مشاهده می‌شود، میانگین ضخامت معمولی یخ در ارتفاع ۱۰ متری دکلها از ۴/۸ میلی متر تا ۱۳/۹ میلی متر برای دوره‌های بازگشت ۵ الی ۲۰۰ سال در منطقه بلده را نشان می‌دهد. در حالی که حداکثر مقدار یخ محتمل تشکیل شده بر روی کابل‌های با ارتفاع ۱۰ متر از ۱۰۰ میلیمتر الی ۴/۵ میلی متر با دوره بازگشت ۲۰۰ تا ۵ ساله متغیر هست. (نمودار شکل ۶، جدول ۲). تابع توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ جهت برازش ضخامت یخ در ارتفاع ۱۰ متری بهترین توزیع، جهت تعیین برآورد احتمالات وقوع یخبندان در این محاسبات نشان می‌دهد. (شکل ۷).

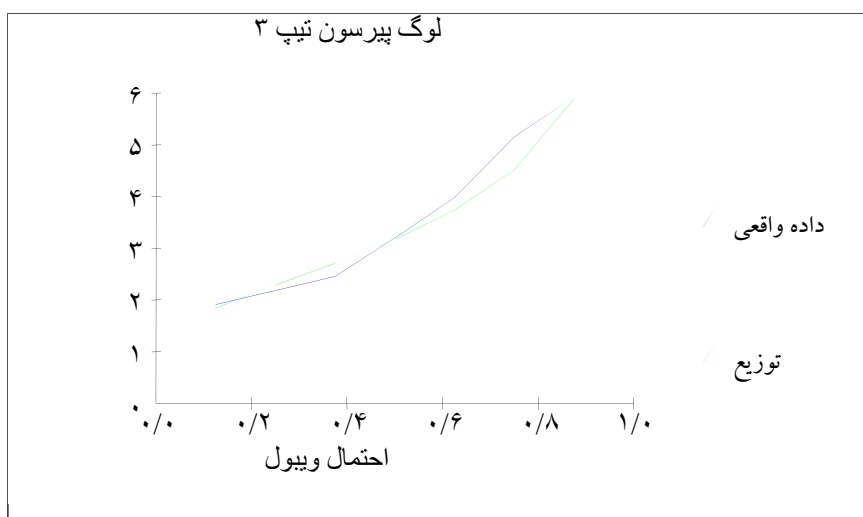




شکل (۸): نمودار مربوط به توزیع متوسط ضخامت معمولی یخ و پارامترهای آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده



شکل (۹): نمودار مربوط به توزیع حداکثر ضخامت یخ و مقادیر آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده



شکل (۱۰): نمودار مربوط به تابع توزیع احتمال لوگ پیرسون تیپ ۳ جهت برازش ضخامت یخ در ارتفاع ۳۵ متری

جدول (۳): نتایج مربوط به توزیع ضخامت معمولی یخ ماهانه و مقادیر آن در ارتفاع ۳۵ متری منطقه بلده

نوع توزیع	انحراف معیار	متوسط ضخامت معمولی یخ (ماهانه) (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 (۴): 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

تحلیل‌های نمودار شکل (۸) و جدول (۳) نشان می‌دهد که میانگین ضخامت معمولی یخ در ارتفاع ۳۵ متری دکلها از ۴/۹۵ میلی‌متر تا ۱۴/۲۱ میلی‌متر برای دوره‌های بازگشت ۵ الی ۲۰۰ سال در منطقه بلده را نشان می‌دهد. در حالی که حداکثر مقدار یخ محتمل تشکیل شده بر روی کابل‌های با ارتفاع ۳۵ متر از ۱۰۱ میلی‌متر الی ۴/۶۸ میلی‌متر با دوره بازگشت ۵ تا ۲۰۰ ساله متغیر هست که مبنای بارگذاری جهت انجام عملیات کابل‌گذاری خطوط انتقال نیرو است. (نمودار شکل ۹، 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 (۱۰).

مقایسه مقادیر اسمی بار برف و یخ که از این تحقیق حاصل شده با مقادیر ارایه شده توسط شرکت مشانیر:

مقادیر اسمی بار برف و یخ که از این تحقیق حاصل شده با مقادیر ارایه شده توسط شرکت مشانیر مقایسه شده که در جدول زیر آمده است.

جدول (۵): تعیین مقادیر اسمی متغیر تصادفی ضخامت یخ در دو ارتفاع ۱۰ و ۳۵ متری و مقایسه آنها با مقادیر ارائه شده توسط آیین نامه مشانیر

ارتفاع دکل	متغیرهای تصادفی					
	بیشترین ضخامت یخ (میلیمتر)			ضخامت معمولی یخ ماهیانه (میلیمتر)		
	حد مازاد	مقدار اسمی	مقدار اسمی مشانیر	حد مازاد	مقدار اسمی	مقدار اسمی مشانیر
۱۰ متری	۲۰	۲۸/۱۳	۴۰	۲۰	۳/۴۴	۲۰
۳۵ متری	۲۰	۲۹/۱۱	۴۰	۲۰	۳/۵۴	۲۰

جدول (۶): تعیین مقادیر اسمی متغیر تصادفی ضخامت یخ در دو ارتفاع ۱۰ و ۳۵ متری با دوره‌های بازگشت مختلف و مقایسه آنها با مقادیر ارائه شده توسط آیین نامه مشانیر

ارتفاع دکل (متر)	متغیرهای تصادفی									
	بیشترین ضخامت یخ (میلیمتر)					ضخامت معمولی یخ ماهیانه (میلیمتر)				
	مقدار اسمی					مقدار اسمی مشانیر				
	دوره بازگشت (سال)					دوره بازگشت (سال)				
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰
۱۰	۱۰۰/۳	۶۶/۹۴	۴۲/۴	۲۵/۰	۱۰/۶۲	۱۳/۸۹	۱۱/۸	۹/۹۱	۸/۲۱	۲۰
۳۵	۱۰۱	۶۷/۷	۴۳/۰	۲۵/۵	۱۰/۹	۱۴/۲۱	۱۲/۰۶	۱۰/۱۴	۸/۴	۲۰

در مورد منطقه بلده ضخامت یخ حاصل شده که توسط آیین نامه بارگزاری مشانیر جزو مناطق فوق سنگین گزارش شده است، مقادیر محاسبه شده بار برف و یخ برای ارتفاع ۱۰ متری (کمتر از ۶۶ کیلو وات) و ۳۵ متری (بالتر از ۲۲۰ کیلو وات) اختلاف معنی دار نداشته‌اند، بدلیل آنکه بیشترین تاثیر در میزان بار برف و یخ بر روی کابلها، میزان حجم بارش برف می‌باشد، نه سرعت باد، به طوری که با افزایش ارتفاع از دکل ۱۰ متری به ۳۵ متری و افزایش سرعت باد با ارتفاع، اختلاف معنی داری بین ضخامت بار برف و یخ در دو ارتفاع مشاهده نشد. همچنین با توجه به داده‌های بدست آمده 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 آیین نامه مشانیر) می‌باشد.

### نتیجه گیری و بحث

با نگاه کلی به نتایج بدست آمده، میانگین ضخامت معمولی یخ در ارتفاع ۱۰ متری دکلها از ۴/۸ میلی متر تا ۱۳/۹ میلی متر برای دوره‌های بازگشت ۵ الی ۲۰۰ سال در منطقه بلده متغیر است. در حالی که حداکثر مقدار یخ محتمل تشکیل شده بر روی کابل‌های

با ارتفاع ۱۰ متر از ۱۰۰ میلیمتر الی ۴/۵ میلی متر با دوره بازگشت ۲۰۰ تا ۵ ساله می باشد. در مورد منطقه بلده ضخامت یخ حاصل شده که توسط آیین نامه بارگزاری مشانیر جزو مناطق فوق سنگین گزارش شده است، مقادیر محاسبه شده بار برف و یخ برای ارتفاع ۳۵ متری با دوره بازگشت های مختلف (۱۰ الی ۲۰۰ سال)، از دوره ۵۰ سال به بعد مقدار بیشترین ضخامت یخ محتمل که می تواند 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 آیین نامه مشانیر) می باشد، اگر چه امروزه بحث گرمایش جهانی و افزایش دمای هوا در سالهای آینده مطرح می باشد، اما یکی از اثرات مخرب تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی، وقوع پدیده های حدی نظیر، برف و یخبندان شدید بوده، که نمونه آن را به صورت برف سنگین در سالهای اخیر در نواحی شمالی کشور (خصوصاً گیلان و مازندران) شاهد بوده ایم، که رخداد برف و یخبندان طی سالهای ۱۳۹۵، ۱۳۹۲، ۱۳۸۶ و بهمن ۱۳۹۸ بیانگر این موضوع می باشد. همچنین بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین تاثیر در میزان بار برف و یخ میزان حجم بارش برف می باشد، به طوری که با افزایش ارتفاع از دکل ۱۰ متری به ۳۵ متری و افزایش چینش باد اختلاف معنی داری بین ضخامت بار برف و یخ را نشان نمی داد.

### پیشنهادات

پیشنهاد می شود با توجه به توپوگرافی کوهستانی منطقه، با نصب ایستگاههای خودکار هواشناسی بیشتری در منطقه نتایج دقیق تری حاصل گردد. پیشنهاد می شود در مطالعات آینده در کنار مطالعات نظری، مطالعات میدانی و آزمایشگاهی جهت بدست آوردن نتایج بهتر صورت گیرد.

### تقدیر و تشکر

از دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات سازمان هواشناسی کشور بخاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات و آمار هواشناسی سپاسگزاری می گردد.

### منابع

- ۱- شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر). (۱۳۷۸). نقشه های پهله بندی مناطق چهارگانه آب و هوایی کشور. وزارت نیرو: دپارتمان تحقیقات و استانداردها.
- ۲- شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر). (۱۳۷۷). آیین نامه و استاندارد بارگذاری برجهای انتقال نیرو. وزارت نیرو: استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیرو.
- ۳- قلیچی فرامرز؛ درساره مهدی؛ معانی علی. (۱۳۹۰). شناسایی تجهیزات بحرانی شبکه های توزیع از نظر قابلیت اطمینان، نشریه هوش مصنوعی و ابزار دقیق، ۲۶(۲): ۴.
- ۴- میر شریفی؛ سید احمد. (۱۳۸۵). تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری در طراحی دکلهای انتقال نیروی ایران، نشریه دانشکده فنی، ۴۰(۵): ۷۱۳-۷۲۲.
- ۵- نوحی؛ احمد. (۱۳۹۱). مبانی هواشناسی و اقلیم شناسی. انتشارات آب و هوا. ۲.

6. Bonanno, R., Lacavallan, M., 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.

7. Ducloux, H., Nygaard, B.E., (2014), 50-year return-period wet-snow load estimation based on weather station data for overhead line design in France. Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 14(1), 3031-3041.

8. Easterling, D. R., (2002). Recent changes in frost days and the frost in the United States, *Bull. American Meteor. Soc.*, 83: 1327-1332.
9. Gumbel, E. J., (2004), *Statistics of Extremes*. Dover Publications, 375 p.
10. Lehtonen, I., Hoppula, Petri., and Gregow, Hilppa., (2014), Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods. *Silva Fennica*, 48 ( 3): 1120.
11. Ilari Lehtonen, Petri Hoppula, Pentti Pirinen and Hilppa Gregow, (2014). Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods. *Silva Fennica* vol. 48 no. 3 article id 1120. *SILVA FENNICA*.
12. Jilin Cai, 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*, 109(3) : 217-226.
13. M Ronnfors, R-Z Szasz, J Revstedt. (2014). Numerical simulation of ice accretion on an airfoil. *SNIC/Lunarc*, Lund University.
14. 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, *J. Appl. Meteorol. Clim*, 52(1), 2189–2203.
15. Nygaard, B.E., Ambjørn Seierstad, I., (2014), A new snow and ice load map for mechanical design of power lines in Great Britain. *Cold Regions Science and Technology*, 108(2), 28-35.
16. Rantaab, J., Polojärvi, A., Tuhkuri, J., (2017), The statistical analysis of peak ice loads in a simulated ice-structure interaction process, *Cold Regions Science and Technology*, 133, :46-55.
17. Xiang-jun Zeng, X., long Luo, J., Ting-ting Xiong, H., (2012), A novel thickness detection method of ice covering on overhead transmission line, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 14(5):1349-1354.
18. Wang, W., 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*, 228(5): 175-184.
19. Zarnani, A., Musilek, P., (2012). Learning to predict ice accretion on electric power lines, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 609-617.
20. Nygaard, B.E., Carlshem, L., (2019). Development of a 50-years return value ice load map for Sweden, *Int. work shop on Atmospheric Icing of structures*, Reykjavik. 1-5pp.
21. 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, 60-65pp.

