مروری بر سیستم حفاظت در برابر صاعقه و اضافه ولتاژ در نیروگاه‌های خورشیدی و طراحی نرم‌افزار ارزیابی ریسک ویژه نیروگاه‌های خورشیدی (PVLPS)

محمد پرهام‌فر[۱]، امیرمحمد عادلی[۲]

۱ کارشناس ارشد انرژی‌های تجدیدپذیر، مشاور صنعت برق و انرژی، شرکت سامان انرژی اصفهان، ایران (en.parhamfar@gmail.com)
۲ کارشناس ارشد مهندسی برق، مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم‌های انرژی الکتریکی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (a.adeli@mail.sbu.ac.ir)

چکیده

یکی از موانع مهم برای ارزیابی صاعقه و محاسبات ریسک در نیروگاه‌های خورشیدی، دشواری محاسبات است. این دشواری‌ها تا حدی است که جهت اضافه کردن محاسبات ارزیابی ریسک در تدوین دستورالعمل ساتبا، اختلاف نظرهای متعددی وجود دارد. وجود یک نرم‌افزار بین‌المللی جهت اجرای محاسبات ارزیابی ریسک، نقش مهمی در محاسبات و طراحی سیستم صاعقه‌گیر در نیروگاه خورشیدی خواهد داشت. همچنین با بررسی اضافه ولتاژهای ناشی از ایجاد صاعقه و یا اضافه ولتاژهای موجود در شبکه و نحوه قرارگیری برقگیرهای حفاظتی، می‌توان پیشنهاد مناسبی جهت نصب این تجهیزات در پروژه‌های خانگی داد که این عمل، تأثیر مستقیمی بر ارزش نهایی پروژه دارد و می‌تواند یک پروژه را توجیه‌پذیر و یا بازگشت سرمایه آن را طولانی مدت نماید. در این پژوهش همچنین سعی شده است با بررسی اثرات سرج در نیروگاه‌های خورشیدی، طراحی برقگیر (صاعقه‌گیر) و نحوه انتخاب حفاظت مناسب انجام گردد. بدیهی است با پایان این پژوهش یک روند جامع برای انتخاب صاعقه‌گیر در نیروگاه‌های خورشیدی پشت بامی ارائه خواهد گردید که می‌تواند کمک شایانی به طراحی این سیستم‌ها در ایران نماید و شاید با توجه به ارزیابی‌هایی که در برخی از نقاط کشور انجام خواهد شد، باعث کاهش هزینه‌های نصب و راه‌اندازی این سیستم‌ها گردد. این مورد بخصوص برای پروژه‌های مناطق محروم که قرار هست با حمایت‌های دولتی و سازمان بسیج مهندسین اجرا گردد، می‌تواند مهم واقع شود.

واژه‌های کلیدی

حفاظت در برابر صاعقه، ارزیابی ریسک، برقگیر، اضافه ولتاژ، نیروگاه خورشیدی

مقدمه

صاعقه‌های حاصل از تخلیه جوّی الکتریکی که در حین طوفان‌های همراه با رعد و برق رخ می‌دهد و به جریان الکتریکی چند صد کیلو آمپر نیز می‌رسند، یکی از خطرات مهم در تأسیسات الکتریکی و سامانه‌های برق خورشیدی به حساب می‌آیند که ضمین عملکرد صحیح این سامانه‌ها را دشوار می‌کنند. در حال حاضر علیرغم پیشرفت‌های علمی، هیچ تجهیزی قادر نیست از وقوع صاعقه جلوگیری کند. با این وجود، یک سیستم حفاظت در برابر صاعقه[1] قادر است آسیب‌های وارده به محیط پیرامون خود را به حداقل برساند.

صاعقه‌گیرهایی در مناطق باستانی هند،کرت و فلسطین وجود دارد که نشان‌دهنده این واقعیت است که از گذشته انسان به دنبال حفاظت در برابر اثرات صاعقه بوده است. اولین نوع صاعقه‌گیر[2] توسط بنجامین فرانکلین در حدود سال‌های ۱۷۴۹ تا ۱۷۵۲ ساخته شد. این صاعقه‌گیرها به مرور زمان تکامل یافتند تا جایی که امروزه به دو دسته کلی صاعقه‌گیر اکتیو و پسیو تقسیم می‌شوند و استانداردهای مختلفی برای طراحی آن‌ها تنظیم شده است.

پیش نیاز طراحی یک سیستم صاعقه‌گیر این است که ابتدا باید بررسی گردد آیا در مکان مورد نظر نیاز به نصب صاعقه‌گیر وجود دارد یا خیر. در صورت نیاز، بهتر است از چه نوع صاعقه‌گیری استفاده شود. با توجه به این موضوع، اهمیت ارزیابی ریسک[3] مشخص می‌شود. امروزه برای طراحی نرم‌افزارهای ارزیابی ریسک تلاش‌های مختلفی انجام شده است و شرکت‌های تجاری نرم‌افزارهای مخصوص ارزیابی ریسک را توسعه و در اختیارکاربران قرار داده‌اند. این نرم‌افزارها براساس استاندارد IEC62305-2 و یا استاندارد NFPA780 طراحی شده‌اند و در کشور ما نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. با وجود اینکه مقالات مختلفی در زمینه طراحی سیستم صاعقه‌گیر و ارزیابی ریسک مخصوص نیروگاه‌های خورشیدی در دنیا ارائه شده است، اما اکثر نرم‌افزارهای ارزیابی ریسک عمومی بوده و توجه کمتری به توسعه نرم‌افزار ارزیابی ریسک ویژه نیروگاه‌های خورشیدی شده است.

[1] Lightning Protection System
[2] Surge Protective Device
[3] Risk Assessment

قبل از اینکه طراحی سیستم صاعقه‌گیر انجام شود همیشه باید یک ارزیابی ریسک توسط طراح صورت گیرید تا کلاس طراحی و حفاظت‌های آن مشخص گردد. استانداردهای مختلفی در دنیا جهت ارزیابی ریسک و طراحی سیستم پایانه هوایی وجود دارد که یکی از جامع‌ترین آنها IEC62305 می‌باشد [۱]. استانداردهای تخصصی دیگری برای ارزیابی ریسک در کشورهای فرانسه [۲] و اسپانیا [۳] مدون گردیده که بصورت جامع مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. به دلیل اینکه مرحله ارزیابی دارای محاسبات پیچیده‌ای می‌باشد، در این پژوهش نرم‌افزاری طراحی شده که علاوه بر ارزیابی تخصصی ریسک درنیروگاه‌های خورشیدی، محاسبات تعداد پایانه‌های هوایی را نیز انجام می‌دهد و یک تحلیلی از ارزیابی طراحی حفاظت در برابر سرج در سمت DC نیروگاه‌های کیلوواتی و پشت بامی[1] نیز ارائه خواهد داد.

نرم‌افزارهای مختلفی برای محاسبه ریسک پروژه‌ها طراحی شده است [۴]، [۵] اما این نرم‌افزارها مبتنی بر ویرایش جدید استاندارد IEC62305-2 یا استاندارد NFPA780 نیستند. در برخی از مقالات مانند مرجع [۶]، ارزیابی ریسک در نیروگاه‌های خورشیدی مورد تحلیل قرار گرفته است. اما نرم‌افزار محاسباتی آن ارائه نشده است، همچنین در نرم‌افزارهایی که تا این لحظه طراحی شده است، بحث ارزیابی ریسک برای برقگیرهای حفاظتی مطرح نبوده است. در برخی از مراجع منتشر شده نیز بصورت اختصاصی به تأثیر صاعقه و حفاظت در برابر سرج در نیروگاه‌های خورشیدی پرداخته شده و حتی برخی از استانداردهای کشورهایی مانند استرالیا همچون AS1768,AS5033 نیز به حفاظت در برابر صاعقه اختصاص یافته است و مبحث ارزیابی ریسک را مطرح نموده‌اند [۷]. همچنین این سیستم‌ها با توجه به اینکه در فضای باز قرار می‌گیرند و در معرض برخورد صاعقه هستند، در مرجع [۸] به بررسی محاسبات حفاظت در برابر صاعقه بصورت خلاصه مخصوص نیروگاه‌های خورشیدی پرداخته شده است و ذکر شده که در صورت عدم نصب این سیستم‌ها، ممکن است خسارت‌های جبران‌ناپذیری به این سیستم‌ها وارد شود. تحقیقات گذشته نه تنها بر روی زون‌بندی و تقسیم نواحی در نیروگاه‌های خورشیدی مطالبی را ارائه نموده‌اند، بلکه با ارائه فاصله جداسازی، دسته‌بندی‌های متفاوتی برای حفاظت در برابر صاعقه و نحوه نصب برقگیر حفاظتی مشخص نموده‌اند[۹]. در یکی دیگر از تحقیقات انجام شده حفاظت خارجی و حفاظت در برابر سرج کاملا بررسی شده است و هدف اصلی از انجام تحقیق را ایجاد یک زمینه علمی بیان نموده، که الزام طراحی این حفاظت‌ها را در پروژه مشخص می‌کند. همچنین بصورت برآوردی بیان کرده که اجرای این حفاظت‌ها در پروژه چند درصد برای مالک هزینه خواهد داشت. بعلاوه، این تحقیق به بررسی ایمنی سیستم در صورت وجود این حفاظت‌ها پرداخته است [۱۰].

با توجه به موارد مطرح‌شده، هدف این پژوهش طراحی یک نرم افزار ارزیابی ریسک ویژه نیروگاه‌های خورشیدی بر اساس استانداردهای معتبر ذکر شده است که نتیجه آن سادگی کار و جلوگیری از خطای نیروی انسانی می‌باشد. همچنین در این مقاله بحث ارزیابی ریسک برای انتخاب برقگیرهای حفاظتی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد.

معرفی روش‌های حفاظت در برابر صاعقه و خطرات موجود در طراحی این سیستم‌ها

در طراحی یک سیستم حفاظت در برابر صاعقه، موارد زیر باید مورد توجه قرار بگیرد:

- محافظت در برابر برخورد صاعقه یعنی ایجاد یک نقطه مرجع برای برخورد صاعقه به آن؛
- اتصال جریان صاعقه به زمین؛
- مصرف جریان صاعقه در زمین؛
- هم‌پتانسیل‌سازی تجهیزات برای جلوگیری از خطر اختلاف ولتاژ بین سیستم حفاظت در برابر صاعقه، سازه و تجهیزات / مدارهای داخل سازه.

سیستم حفاظت در برابر صاعقه دو بخش اجرایی دارد، یکی از این بخش‌ها شامل تجهیزات حفاظتی (پایانه‌های صاعقه‌گیر)، اتصال‌ها، تجهیزات هدایت‌کننده جریان صاعقه از محل برخورد یا سیستم صاعقه‌گیر به زمین است و بخش داخلی شامل تجهیزات هم پتانسیل‌سازی یا جداسازی است که از خطراتی ناشی از جرقه‌زنی در داخل سازه جلوگیری می‌کند.

استاندارد IEC برای اجرای سیستم حفاظتی روش‌های طراحی زیر را ارائه می‌دهد:

- روش مش (MM)؛
- روش گوی غلتان (RSM)؛
- روش زاویه حفاظتی (PAM).

این روش‌ها برای تعیین بهترین مکان نصب پایانه‌های صاعقه‌گیر استفاده می‌شوند که در نهایت مکان نصب هادی‌های نزولی و تجهیزات اتصال زمین، با مشخص شدن مکان پایانه‌های صاعقه‌گیر جانمایی می‌شوند.

[1] Rooftop

طراح باید با انتخاب تجهیزات حفاظتی در یک کلاس حفاظتی مناسب، سعی کند سیستم حفاظتی را به حد مجاز خطرپذیری تعیین شده و یا کمتر از آن برساند. بدین منظور اقدامات حفاظتی زیر می‌تواند اجرا گردد:

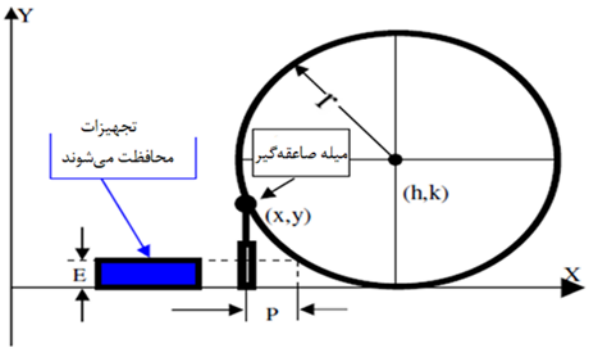
- عایق‌کاری بخش‌های بدون پوشش رسانا در جهت کاهش خطرات ولتاژ تماس و گام؛
- ایجاد محدودیت‌های فیزیکی برای دسترسی به تجهیزات سیستم حفاظت در برابر صاعقه و نصب علایم هشداردهنده؛
- استفاده ازسیستم‌های اطفای حریق، استفاده از تجهیزات نسوز، مسیرهای خروج اضطراری ایمن برای جلوگیری از خسارت‌های فیزیکی.

روش‌های محاسباتی پایانه‌های هوایی به دو روش فعال و غیرفعال

صاعقه‌گیرها از نظر نحوه عملکرد به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند:

- **صاعقه‌گیرهای غیرفعال**

صاعقه‌گیرهایی که براساس شکل و خاصیت فیزیکی متضمن تشدید پدیده-هایی مثل اثر میله نوک تیز می‌شوند و در این مسیر هیچ عامل تشدیدکننده‌ای غیر از شکل خاص آنها وجود ندارد. میله ساده فرانکلین، صاعقه-گیرهای ژوپیتر و ترمینال سیم هوایی از این نوع هستند. از روش‌های موجود جهت محاسبه شعاع حفاظتی روش گوی غلطان در این تحقیق استفاده شده است [۱۴].



شکل ۱: کوپلاژ خازنی

$$P = r + \sqrt{2Er - E^2} \qquad (1)$$

$$P = \sqrt{2ry - y^2} - \sqrt{2Er - E^2} \qquad (2)$$

در این روابط:

P : شعاع حفاظتی

r : شعاع گوی غلطان

E : ماکزیمم ارتفاع تجهیز

y : ارتفاع میله صاعقه‌گیر

شعاع حفاظتی وابسته به ارتفاع میله صاعقه‌گیر و شعاع گوی غلتان است. در صورتی که این رابطه $y \geq r$ برقرار باشد، از معادله ۲ و در غیر اینصورت ($y \leq r$) از رابطه ۳ استفاده می‌کنیم. همچنین درشکل (۱) نحوه حفاظت دربرابر تجهیزات بدست مشخص شده است که این تجهیزات می تواند پنل‌های خورشیدی باشد.

- **صاعقه‌گیرهای فعال**

صاعقه‌گیرهایی که به واسطه انرژی دریافت شده از منبع خارجی و یا تولید شده بصورت خودکفا اثر پدیده‌هایی مانند اثر میله نوک تیز و اثر کرونا را تشدید می‌نماید، صاعقه‌گیرهای فعال نام دارند. این صاعقه‌گیرها از تنوع وسیعی برخوردارند. از انواع این صاعقه‌گیرها می‌توان به اتمی، خورشیدی، خازنی، برقی و... اشاره نمود. این صاعقه‌گیرها خود به ۲ دسته تقسیم می‌گردند:

- وابسته: آنهایی که برای فعال شدن به یک منبع خارجی مثل باتری یا برق شهر نیاز دارند.
- خودکفا: گروهی هستند که انرژی را به نحوی از مکانیسم داخلی اطراف محیط خود دریافت می‌نمایند.

در قسمت قبل، محاسبات مربوط به شعاع حفاظتی در صاعقه‌گیرهای پسیو انجام شد. در این بخش، این محاسبات برای صاعقه‌گیرهای پسیو ارائه شده است.

$$R_P = \sqrt{\Delta h(2D - \Delta h) + \Delta L(2D + \Delta L)} \qquad (3)$$

R_P : شعاع حفاظتی صاعقه‌گیر اکتیو؛

h : ارتفاع واقعی صاعقه‌گیر نسبت به سطح مورد نظر؛

ΔL : فاصله‌ای که یون‌ها در جهت صاعقه می‌پیمایند (شعاع گوی یونیزه شونده)- پارامتری است متغیر براساس نوع صاعقه-گیر؛

D : شعاع جهش صاعقه که براساس درجه حفاظت مشخص می‌شود.

ارزیابی ریسک درنیروگاه‌های خورشیدی

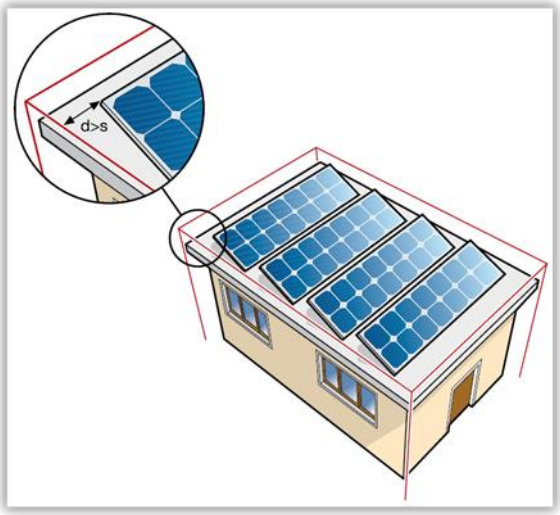
معمولاً نصب سامانه برق خورشیدی تغییری در طرح ساختمان و در نتیجه تعداد تهدیدها ایجاد نمی‌کند؛ بنابراین، به اقدام ویژه‌ای در مقابل خطر تهدیدات نیاز نیست. (شکل ۲)

شکل ۲: عدم تغییر شکل طرح ساختمان به واسطه نصب سامانه برق خورشیدی

در مقابل، حالتی کـه نصـب سـامانه بـرق خورشـیدی باعـث تغییر قابل توجهی در طرح ساختمان شود (شکل ۳)، لازم است که تعداد تهدیـدات بـه صـورت مـورد بررسـی شـود و ضـرورت پیاده‌سازی سیستم حفاظت در برابر صاعقه مد نظر قرار گیرد.

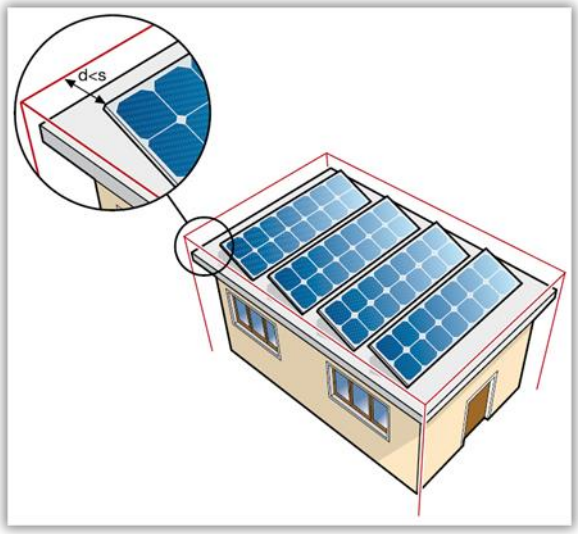
شکل ۳: تغییر طرح ساختمان بواسطه نصب سامانه برق خورشیدی

هنگامی که سیستم حفاظت در برابر تخلیه‌های جوّی وجـود دارد[1]، اگر نصب سامانه برق خورشیدی منجر به تغییری در طرح ساختمان نشده و حداقل فاصله d بین سامانه برق خورشـیدی و سیستم حفاظت در برابر صاعقه بیشتر از فاصـله ایمنـی s باشـد (EN62305-3)، بـه اقـدامات اضـافی دیگـر بـرای حفاظـت از سامانه نیاز نیست. (شکل ۴)



شکل ۴: مثالی از رعایت فاصله جداسازی

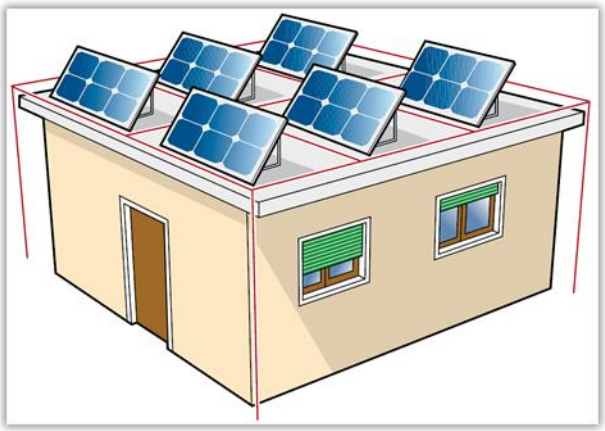
اگر سامانه برق خورشیدی تغییری در طرح ساختمان ایجـاد نکرده اما حداقل فاصله d کمتر از فاصله s باشد (شکل ۵)، بهتر است که سیستم حفاظت در برابر صاعقه گسترش داده شده و به سازه‌های نگهدارنـده فلـزی تأسیسـات بـرق خورشـیدی متصـل گردد.



شکل ۵: مثالی از عدم رعایت فاصله جداسازی

در نهایت اگر سامانه برق خورشیدی طرح ساختمان را تغییر دهد، به ارزیابی ریسک مجدد و یـا اصـلاح سیسـتم حفاظـت در برابر صاعقه نیاز است (شکل ۶).

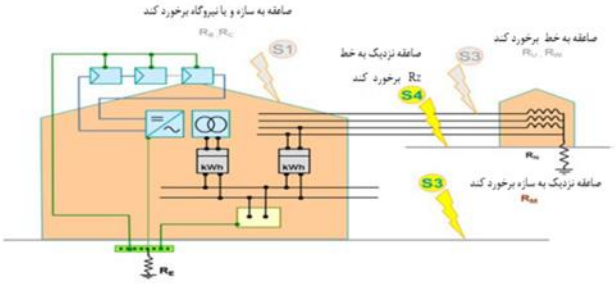
[1] توصیه می‌شود که سیستم زمین حفاظتی به سیستم زمین حفاظت در برابر صاعقه متصل شود.



شکل ۶: تغییر طرح ساختمان به واسطه نصب سامانه برق خورشیدی و وجود سیستم حفاظت صاعقه

باتوجه به تحقیقات صورت گرفته در مرجع [۶]، می‌توانیم در مرحله ارزیابی ریسک برخی از مؤلفه‌ها را حذف نماییم. درمورد R_1، ریسک مربوط به تلفات جانی با توجه به اینکه اصولا در نیروگاه‌های خورشیدی کسی حضور ندارد و همچنین این سیستم‌ها بیشتر بر روی پشت‌بام‌های کوچک با خطر برخورد کم صاعقه نصب می‌شوند و استراکچر نیز به خاطر ماهیت فلزی خودش غیرقابل اشتعال می‌باشد، می‌توانیم صرف نظر نماییم. ریسک مربوط به سرویس‌های عمومی و خدماتی نیز به خاطر اینکه این نیروگاه‌ها تاثیری در شبکه عمومی ندارند، قابل حذف می‌باشد. همچنین به ندرت پیش می‌آید که این تجهیزات در مراکز باستانی و با ارزش نصب شوند و بیشتر در بیابان‌ها و ساختمان‌های مسکونی کاربرد دارند، بنابراین تنها ریسکی که برای ارزیابی درنیروگاه‌های خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد ریسک مربوط به تلفات اقتصادی است که شامل مؤلفه‌های زیر می‌باشد:

$$R_4=R_B+R_C+R_M+R_V+R_W+R_Z \qquad (4)$$

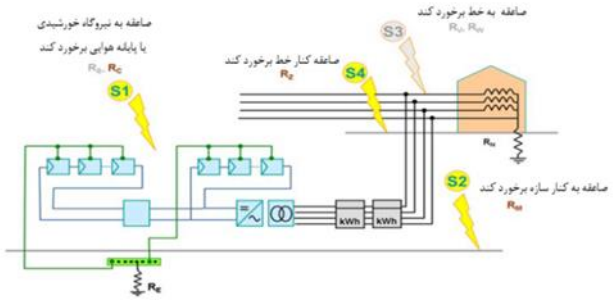


شکل ۷: مؤلفه‌های مختلف ریسک در یک شکل

در نیروگاه‌های پشت بامی، بیشترین تاثیر مربوط به مؤلفه‌های R_M، R_W، R_Z می‌باشد. که جهت کاهش این مؤلفه‌ها می‌توانیم تدابیر زیر را بیاندیشیم:

۱. قراردادن SPD و هماهنگی آن در ورودی برق ولتاژ ورودی به سازه باعث می‌شود تا دو مؤلفه R_W، R_Z کاهش یابد.
۲. قراردادن SPD و هماهنگی آن در ورودی DC مربوط به پنل‌های خورشیدی باعث می‌شود تا مؤلفه R_M کاهش یابد.

در مزارع خورشیدی و نیروگاه‌هایی که برروی زمین نصب شده‌اند، علاوه بر حفاظت‌های بالا باید پایانه‌های هوایی نیز مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۸: مؤلفه‌های ریسک در یک مزرعه خورشیدی

بنابراین کافی است در نرم‌افزار فقط محاسبات اقتصادی را در نظر بگیریم تا محاسبات با ساده‌سازی برای نیروگاه‌های خورشیدی انجام شود. بعد از ارزیابی ریسک می‌توانیم با توجه به روابط ذکر شده و مشخصات موجود تعداد پایانه‌های هوایی را بدست آوریم. در شکل (۸) مولفه های ریسک در یک مزرعه خورشیدی به تصویرکشیده شده است.

ارزیابی ریسک در سمت DC نیروگاه‌های خورشیدی جهت طراحی SPD

محاسبه ارزیابی ریسک (IEC 60364-7-712).

اطلاعات لازم:

- چگالی صاعقه‌های برخوردی به زمین در محل سامانه برق خورشیدی.
- حداکثر طول مسیر کابل بین اینورتر و اتصالات ماژول‌های برق خورشیدی.

روش انتخابی براساس ارزیابی طول بحرانی[1] است.

طول بحرانی (L_{crit}) به نوع تأسیسات برق خورشیدی بستگی دارد. متغیرهای دیگر مورد استفاده در محاسبه ارزیابی ریسک عبارتند از:

- Ng: چگالی صاعقه‌های برخوردی به زمین (تعداد صاعقه در هر کیلومتر مربع در سال) مربوط به محل خط قدرت و سازه‌های متصل است. این مقدار را

[1] Critical Length

می‌توان در بسیاری از مناطق دنیا از طریق شبکه‌های محل صاعقه‌های برخوردی به زمین تعیین کرد.

- L (برحسب متر): حداکثر طول مسیر بین اینورتر و نقاط اتصال ماژول‌های برق خورشیدی در رشته‌های[1] مختلف است.

$$Lcirt[m] = \begin{cases} \frac{115}{Ng} & \text{برای تأسیسات خورشیدی برق نصب شده در ساختمان} \\ \frac{120}{Ng} & \text{برای تأسیسات خورشیدی برق نصب نشده در ساختمان} \end{cases}$$

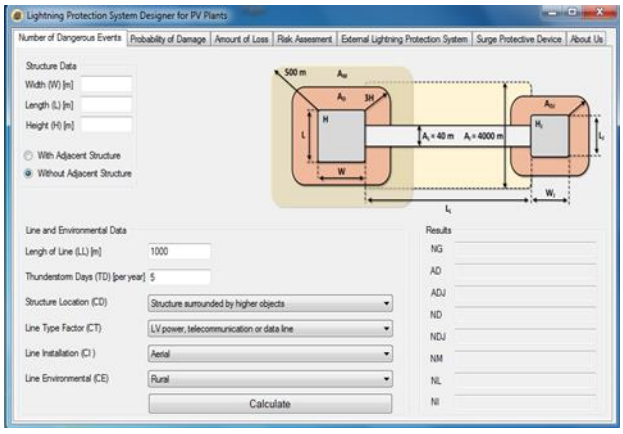
اگر $L \geq L_{crit}$ ← باید در سمت DC از برقگیر حفاظتی استفاده کرد.

نتیجه:

براساس این روش، اگر L بزرگتر از L_{crit} محاسبه شده برای تأسیسات مورد نظر باشد، بایستی از برقگیرهای حفاظتی کافی استفاده کرد.

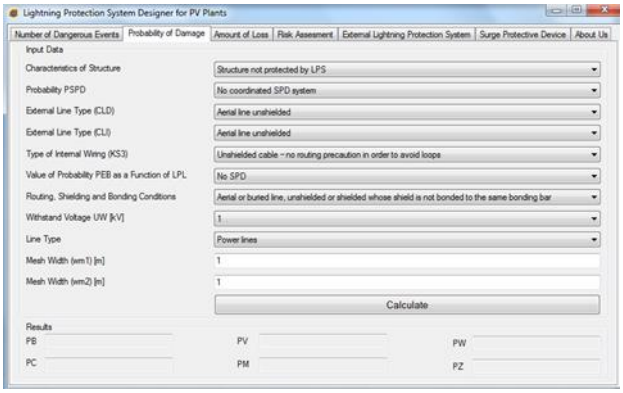
نرم افزار توسعه داده شده

در منوی اول این نرم‌افزار[2]، مؤلفه‌های مختلف ریسک محاسبه می‌شوند. مطابق شکل ۱۰ پارامترهای ورودی شامل طول و عرض و ارتفاع باید وارد گردد و برخی از اطلاعات مانند تعداد روزهای طوفانی در سال، طول کابل، نحوه استقرار سازه و محیط پیرامونی آن، نحوه نصب و محیط نصب آن (به عنوان مثال داخل شهر یا بیرون شهر بودن آن) مشخص می‌گردد.



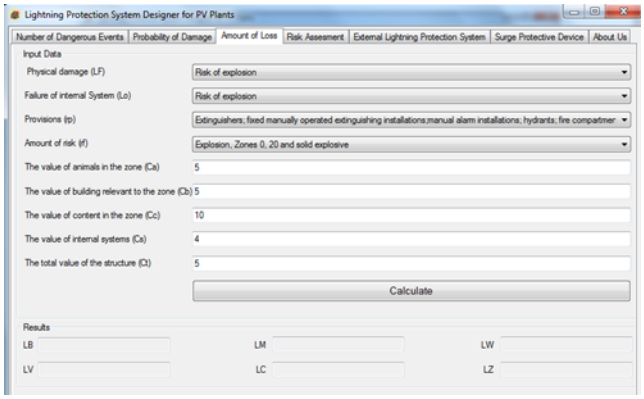
شکل ۱۰: منو اول نرم‌افزار

در قسمت دوم[3]، محاسبات مربوطه به احتمالات آسیب مطابق شکل ۱۱ صورت می‌گیرد و مشخصاتی مانند اینکه سازه در چه محیطی قرار دارد، نوع سیستم حفاظت در برابر صاعقه، برقگیر و دیگر موارد درخواست می‌گردد و در نهایت محاسبات لازم انجام خواهد شد.



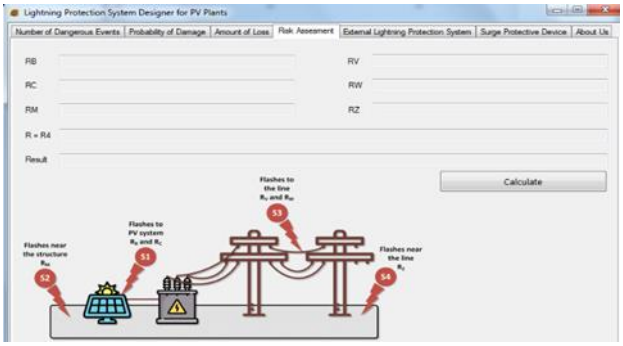
شکل ۱۱: منو دوم نرم‌افزار

قسمت سوم[4] مربوط به محاسبه تلفات می‌باشد. مطابق شکل ۱۲، اطلاعاتی مانند اینکه در صورت وجود و اصابت صاعقه امکان اشتعال، انفجار و یا سایر حوادث باشد، نوع سیستم اطفا حریق چیست و سوالاتی دیگر پرسیده می‌شود و محاسبات لازم مطابق این اطلاعات انجام خواهد گرفت.



شکل ۱۲: منو سوم نرم‌افزار

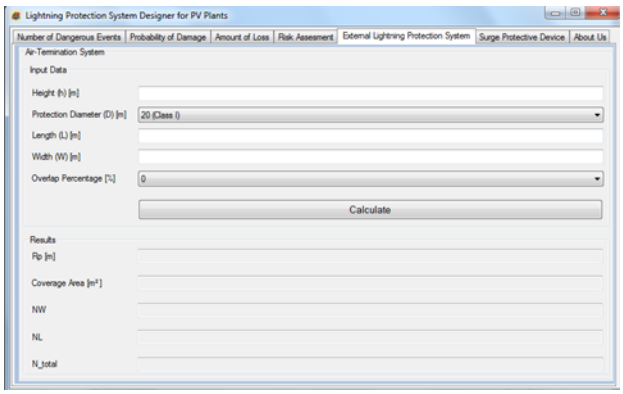
حاصل نتایج تمام ریسک‌ها در قسمت چهارم[5] قابل بررسی است و پس از انجام محاسبات امکان ارائه یک خروجی در نرم-افزار بصورت پی دی اف قابل ارائه می‌باشد.



شکل ۱۳: منو چهارم نرم‌افزار، محاسبه ارزیابی ریسک

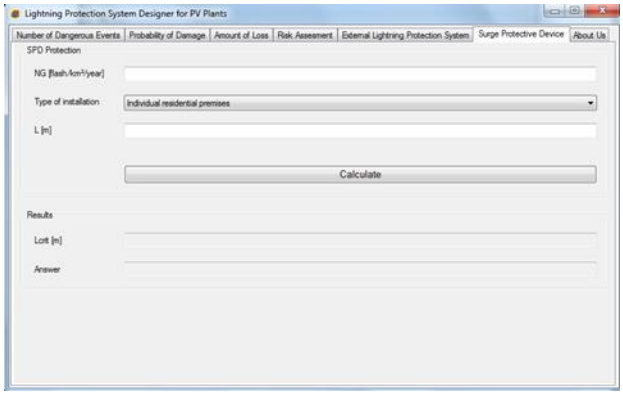
در قسمت پنجم[6] تعداد پایانه‌های هوایی در یک نیروگاه خورشیدی با توجه به کلاس آن و ارتفاع LPS و ابعاد نیروگاه قابل بررسی می‌باشد و می‌توان محاسبات مربوطه را در آن انجام داد.

[1] Strings
[2] Number of Dangerous Events
[3] Probability of Damage
[4] Amount of Loss
[5] Risk Assesment
[6] External Lightning Protection System



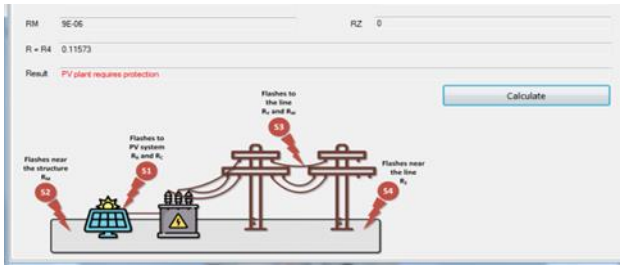
شکل ۱۴: منو پنجم نرم‌افزار، محاسبه تعداد پایانه هوایی

همانطورکه در بخش‌های قبلی توضیحات لازم ارائه گردید، می‌توانیم در قسمت ششم[1] محاسبات مربوط به ارزیابی ریسک برای حفاظت در برابر سرج در نیروگاه‌های خورشیدی بخصوص پشت بامی را انجام داد.

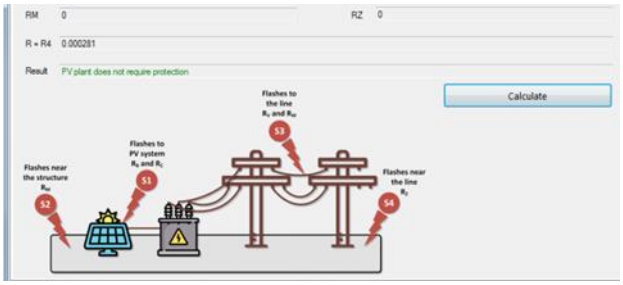


شکل ۱۵: ارزیابیSPD در سمت DC

یکی از مزیت‌های نرم‌افزار در قسمت ارزیابی ریسک این می‌باشد که با هر تغییراتی و اعمال محاسبات می‌توانیم بررسی نماییم که نیازمند حفاظت می‌باشیم یا خیر؟ در این حالت مطابق شکل ۱۶، در صورتی که اطلاعات به صورتی وارد شود که نیازمند حفاظت باشیم، نرم‌افزار هشدار مربوطه را با رنگ قرمز به کاربر اعلام می‌کند و در صورت عدم نیاز به حفاظت، این پیغام با رنگ سبز گزارش خواهد شد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۶: نحوه پیام‌دهی قسمت ارزیابی ریسک (الف) نیاز به حفاظت (ب) عدم نیاز به حفاظت

پس از انجام تغییرات لازم می‌توانیم دوباره شبیه‌سازی مربوطه را انجام دهیم و در صورتی که شرایط بصورت مناسب طراحی شده باشد نرم‌افزار پاسخ خواهد داد که سازه با توجه به شرایط اعمال شده دارای حفاظت می‌باشد.

مقایسه نرم افزار با نمونه های مشابه

در تحقیقاتی که در گذشته انجام شد [۴و۵] ارزیابی ریسک بصورت اختصاصی برای نیروگاه‌های خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است ولی نرم‌افزاری مطابق با استاندارد IEC62305 ارایه نگردیده است. همچنین نرم‌افزارهای ارائه شده براساس استانداردهای محلی یک کشور بوده و جامعیت نرم‌افزار توسعه داده شده را ندارند. بعلاوه در این نرم‌افزار، برای اولین بار محاسبات تعداد پایانه‌های هوایی در یک مزرعه خورشیدی ارائه شده و قسمتی برای محاسبات ارزیابی ریسک برقگیر در سمت DC ارائه گردیده است.

نتیجه‌گیری

این مقاله بر روی اختصاصی کردن مراحل ارزیابی ریسک که پیش‌نیاز محاسبات و طراحی سیستم حفاظت در برابر صاعقه در نیروگاه‌های فتوولتائیک می‌باشد، متمرکز شده است. با توجه به اینکه این محاسبات پیچیده و دارای پارامترهای زیادی هستند، سعی شده تا با بررسی مقالات مختلف راهکار مناسبی برای ساده‌سازی و انجام این محاسبات ارائه گردد. در ادامه، تعداد پایانه‌های هوایی مورد نیاز بررسی خواهند شد. از دیگر نوآوری‌های این مقاله، بررسی ارزیابی ریسک برای حفاظت در برابر اضافه ولتاژها در قالب یک نرم‌افزار می‌باشد که می‌تواند با بررسی‌های بیشتر باعث کاهش هزینه اجرایی بسیاری از پروژه‌هایی که در مناطق محروم ایران در حال اجرا می‌باشند گردد.

[1] Surge Protective Device

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق، مشخص شد در صورتی که نرم‌افزاری برای تحلیل ارزیابی ریسک و محاسبات مربوط به صاعقه‌گیر وجود داشته باشد، این ارزیابی‌ها به راحتی در پروژه‌ها صورت خواهد گرفت. از طرفی مشخص شد بیشتر طراحان و مهندسین بخاطر پیچیدگی مراحل ارزیابی ریسک این محاسبات را در طرح‌های خود اعمال نمی‌کنند و این نرم‌افزار می‌تواند کمک شایانی به جامعه مهندسی جهت تحلیل این محاسبات نماید.

مراحل ارزیابی ریسک همانطورکه بررسی و مطرح شد پیچیده و زمان‌بر می‌باشد. بنابراین وجود چنین نرم‌افزاری باعث می‌شود تا طراحان این فاکتورها را نیز در طراحی خود اعمال کنند. البته در مناطق مرکزی و جنوبی ایران با توجه به شرایط اقلیمی خشک، امکان اصابت صاعقه کمتر می‌باشد ولی با توجه به توسعه روزافزون تکنولوژی‌ها و امکان توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق شمالی و شمال غرب کشور، وجود چنین نرم‌افزاری می‌تواند بازگشت سرمایه نیروگاه را تضمین نماید. همچنین در کشورهای اروپایی و حتی شرق آسیا مانند تایلند و مالزی که امکان برخورد صاعقه زیاد است، این نرم‌افزار می‌تواند جهت انجام طراحی‌ها مؤثر واقع گردد.

یکی دیگر از مسائل مهمی که بخصوص در نیروگاه‌های پشت بامی برای مناطق محروم ایران که بصورت انبوه انجام می‌شود مد نظر بود، بحث حفاظت در برابر سرج می‌باشد. این محاسبات نیز در نرم‌افزار ارائه شده است.

این نرم‌افزار سرعت ما را در رسیدن به حل مسائل پیچیده بالا می‌برد و باعث افزایش دقت محاسبات می‌گردد. بدیهی است توسعه نرم‌افزارهایی مانند این نرم‌افزار، باعث سادگی محاسبات، جلوگیری از اشتباهات سهوی درحین انجام محاسبات، افزایش دقت و ترویج استانداردهای اشاره شده می‌گردد و مهندسین طراح به راحتی می‌توانند تصمیم نهایی را جهت ارائه نقشه‌های خود اتخاذ نمایند.

این نرم‌افزار می‌تواند در آینده توسعه یابد و قابلیت مکان‌یابی بهینه میله‌های صاعقه‌گیر به آن اضافه شود و همچنین با توسعه گرافیکی آن مانند طراحی سه بعدی و استفاده از تئوری گوی غلطان، مساله جایابی بهینه مد نظر قرار گیرد. همچنین دیگر روش‌ها مانند زاویه حفاظتی نیز می‌تواند در این نرم‌افزار توسعه یابد. در حال حاضر نرم‌افزار موجود، ارزیابی ریسک در نیروگاه‌های خورشیدی و مزارع بزرگ متصل به شبکه را انجام می‌دهد و در آینده می‌توان قسمت ساختمان را نیز به آن اضافه نمود؛ اگرچه با توجه به مقالات موجود و یک چشم پوشی از منابع انسانی می‌توان از همین نرم‌افزار برای قسمت ساختمان نیز بهره برد.

فهرست علائم

P : شعاع حفاظتی

r : شعاع گوی غلطان

E : ماکزیمم ارتفاع تجهیز

y: ارتفاع میله صاعقه‌گیر

R_P: شعاع حفاظتی صاعقه‌گیر اکتیو

h: ارتفاع واقعی صاعقه‌گیر نسبت به سطح مورد نظر

ΔL: فاصله‌ای که یون‌ها در جهت صاعقه طی می‌کنند (شعاع گوی یونیزه شونده)- پارامتری است متغیر براساس نوع صاعقه-گیر

D: شعاع جهش صاعقه که براساس درجه حفاظت مشخص می-شود.

مراجع و منابع

[1] IEC 62305, "Protection against Lightning", Dec 2010

[2] NFC 17-102 "Protection against lightning early streamer emission lightning protection systems"

[3] UNE 21186:2011-12-21 Protection against lighting: Surge arresters using early streamer emission air terminals

[4] IEC 61173, "Overvoltage protection for photovoltaic (PV) power generating systems – Guide", Sept 1992

[٥] S. Ittarat, S. Hiranvarodom, and B. Plangklang, "A computer program for evaluating the risk of lightning impact and for designing the installation of lightning rod protection for photovoltaic system," Energy Procedia, vol. 34, pp. 318–325, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.760.

[٦] A. J. Surtees, A. Gillespie, A. Kern, and A. Rousseau, "DEVELOPMENT OF A RISK ASSESSMENT CALCULATOR BASED ON A SIMPLIFIED FORM OF THE IEC 62305-2 STANDARD ON LIGHTNING PROTECTION."

[٧] R. Pomponi and R. Tommasini, "Risk assessment and lightning protection for PV systems and solar power plants," Renew. Energy Power Qual. J., vol. 1, no. 10, pp. 1186–1189, Apr. 2012, doi: 10.24084/repqj10.626.

[٨] "Design Guidelines for Lightning Protection of PV systems," 2012.

[٩] N. I. Ahmad et al., "Lightning protection on photovoltaic systems: A review on current and recommended practices," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 82. Elsevier Ltd,

[۱۰] C. A. Christodoulou, L. Ekonomou, I. F. Gonos, and N. P. Papanikolaou, “Lightning protection of PV systems,” Energy Syst., vol. 7, no. 3, pp. 469–482, Aug. 2016, doi: 10.1007/s12667-015-0176-2.

pp. 1611–1619, 01-Feb-2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.07.008.

[۱۱] J. C. Hernández, P. G. Vidal, and F. Jurado, “Lightning and surge protection in photovoltaic installations,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 23, no. 4, pp. 1961-1971, 2008, doi: 10.1109/TPWRD.2008.917886.