

رامین اخوت
کارشناس ارشد برق*

صاعقه و روش‌های طراحی و نصب سیستم حفاظت اولیه برای ساختمان‌ها و تأسیسات

چکیده

تخلیه‌ی ناگهانی بارهای الکتریکی مابین ابرها، داخل یک ابر و مابین ابرها و زمین را صاعقه، آذرخش و یا رعد و برق می‌نامند. بر اساس تحقیقات به طور متوسط در هر ثانیه بیش از ۱۰۰ صاعقه از ابرها به زمین اصابت می‌کند و خسارت‌های جانی و مالی فراوانی بر جای می‌گذارد. شرایط بروز صاعقه در نقاط مختلف زمین و در فصول مختلف سال متفاوت است. ولی به طور معمول در شرایطی که ابرها به حد پتانسیل الکتریکی ۱۰ تا ۱۵ کیلو ولت بر متر برسند صاعقه ایجاد می‌شود. بر طبق برآوردها حدود ۹۰٪ از تخلیه‌ی الکتریکی صاعقه‌ها بین ابرها صورت می‌گیرد و ۱۰٪ از تخلیه‌ی الکتریکی بین ابرها و زمین اتفاق می‌افتد. [۱]-[۳]

سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه در حالت کلی به دو نوع سیستم حفاظت اولیه (جلد خارجی) و ثانویه تقسیم می‌شوند. در حقیقت، هدف از نصب سیستم حفاظت اولیه، حفاظت از جلد خارجی سازها و ساختمان‌ها در برابر برخورد مستقیم صاعقه و جلوگیری از آثار مخرب آن است و سیستم‌های حفاظت ثانویه برای مراقبت از تجهیزات حساس نصب شده در داخل سازها و ساختمان‌ها است. هدف اصلی در این مقاله، تشریح عوامل مؤثر در تشکیل صاعقه و آثار و تبعات ناشی از آن با تمرکز بر روش‌های طراحی و نصب سیستم حفاظت اولیه منطبق با استانداردهای IEC، BS، NFPA و NFC است.

مقدمه

براساس آمارها در سال ۱۹۹۳ از خسارت‌های طبیعی ناشی از طوفان، آتش‌سوزی، دزدی و ...، ۳۴ درصد مربوط به صاعقه و اثرات ثانویه‌ی آن بوده است. از طرفی، مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که به طور متوسط در هر ثانیه ۱۰۰ بار صاعقه در سراسر جهان رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، در حدود ۸/۶ میلیون ضربه صاعقه در هر روز در جهان ایجاد می‌شود. [۱۴] از این رو شناخت و راه کارهای مقابله با این پدیده لازم و ضروری است.

سیستم‌های حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه با توجه به نوع پایانه‌ی هوایی (صاعقه‌گیر) استفاده شده، به دو نوع غیرفعال (Passive) و فعال (Active) تقسیم‌بندی می‌شود. اولین بار در سال ۱۷۵۰ میلادی بنجامین فرانکلین (پدر علم حفاظت در برابر صاعقه) برای مقابله با پدیده‌ی مخرب صاعقه میله‌ی سنتی صاعقه‌گیر که در واقع همان صاعقه‌گیر غیرفعال است را در مجله‌ی جنتلمن معرفی کرد. سپس در سال ۱۸۷۶ تحقیقات فرانکلین توسط ماکسول پی‌گیری و در نهایت پیشنهاد مدل کامل سیستم حفاظت در برابر صاعقه یعنی محصور شدن ساختمان در میان تسمه‌های فلزی مطرح شد. این پیشنهاد در نهایت

*- مجتمع گاز پارس جنوبی



منجر به روش مقرون به صرفه‌ای به نام قفس فاراده (روش هادی مش) شد که امروزه مورد تأیید همه‌ی استانداردهای معتبر است. [۲]-[۳]

استاندارد IEC 62305 به‌جز روش‌های میله‌ی صاعقه‌گیر غیرفعال و قفس فاراده (هادی‌های مش)، روش سیم‌گارد و تجهیزات فلزی سازه را نیز برای سیستم صاعقه‌گیر غیرفعال پیشنهاد می‌کند.

عملکرد مناسب سیستم‌های حفاظت در برابر اصابت صاعقه، وابستگی مستقیمی به مکان نصب پایانه‌های هوایی دارد. از این رو، در استاندارد IEC 62305 روش زاویه‌ی حفاظتی، مش‌بندی و گوی‌گلطان برای این منظور معرفی شده است. هرچند در میان این روش‌ها، روش گوی‌گلطان جامع‌ترین روش طراحی و روش مش‌بندی برای حفاظت سطوح صاف و روش زاویه‌ی حفاظتی تنها برای فاصله‌های عمودی محدود مناسب است و به‌کارگیری هم‌زمان هر سه روش برای بخش‌های مختلف سیستم صاعقه‌گیر یک سازه نیز وجود دارد.

در این مقاله پس از معرفی منشأ پیدایش صاعقه و آثار و مشخصات و تبعات ناشی از برخورد آن به ساختمان‌ها و سازه‌ها به روش‌های مقابله با صاعقه منحصرأً حفاظت اولیه (جلد خارجی) پرداخته شده است. در این راستا، ضمن بیان چهار سطح حفاظت در برابر صاعقه و معرفی قوانین پایه‌ی طراحی بر اساس LPL به ارتباط میان LPL و کلاس LPS پرداخته شده است. همچنین با بهره‌گیری از استانداردهای معتبری همچون BS، IEC، NFPA و NFC به معرفی جنس تجهیزات و روش‌های نصب و طراحی سیستم‌های حفاظت اولیه اشاره شده است.

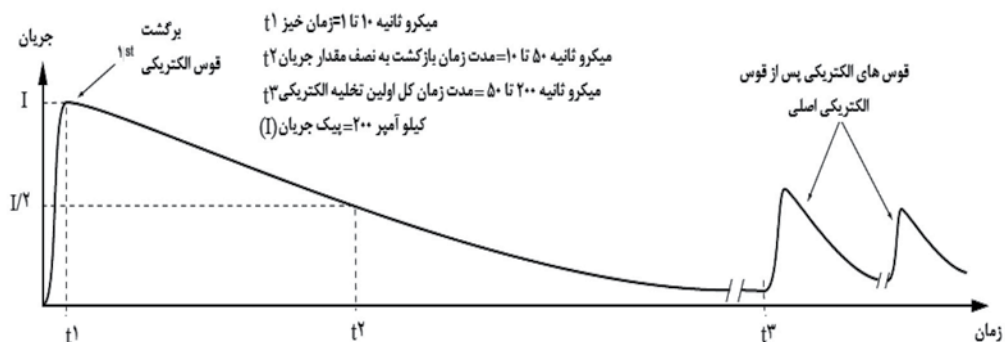
منشأ پیدایش صاعقه

درون یک ابر صاعقه‌دار با عمق حداقل ۳ تا ۴ کیلومتر [۳]، دما پایین است و جریان هوا شرایط ایده‌آلی را برای تشکیل صاعقه ایجاد می‌کند. قطرات کوچک و بسیار سرد آب به همراه کریستال‌های ریز یخ درون ابر به‌وسیله‌ی جریان هوا شروع به حرکت به سمت بالا می‌کنند. قطرات متراکم‌تر و با چگالی بیشتر که گلوله‌ی برفی (Graupel) نامیده می‌شوند، نسبتاً بدون حرکت باقی می‌ماند یا به سمت پایین حرکت می‌کنند. با حرکت کریستال‌های یخ و گلوله‌های برفی در خلاف جهت یکدیگر درون ابر و برخورد آن‌ها با یکدیگر، الکترون‌هایی بین این دو جابه‌جا می‌شود. در نتیجه، کریستال‌های یخ و قطرات آب بسیار سرد دارای بار مثبت و گلوله‌های برفی دارای بار منفی می‌شوند. با حرکت کریستال‌های یخ به سمت بالا و گلوله‌های برفی به سمت پایین خیلی زود اختلاف بار بین بالا و پایین ابر ایجاد می‌شود. در قسمت بالای ابر بار مثبت و در قسمت میانی و پایین ابر بار منفی قرار می‌گیرد. تجمع بارهای منفی در مرکز ابر باعث دفع الکترون‌های پایین آن روی زمین می‌شود. در نتیجه جاذبه بین بار منفی ابر و بار مثبت زمین قدرت کافی برای یک جریان الکترونی از ابر به سمت زمین با سرعت تقریبی ۲۷۰۰۰۰ مایل در ساعت و جریان ۲۰ تا ۲۰۰ کیلو آمپر در مدت زمان چند میکروثانیه را به وجود خواهد آورد. [۴] در این حالت پدیده‌ی صاعقه که به طور معمول تخلیه‌ی الکتریسیته بین ابر و زمین است و از آن تحت عنوان آذرخش (Lighning) یا رعد و برق یاد می‌شود، اتفاق می‌افتد. [۵]

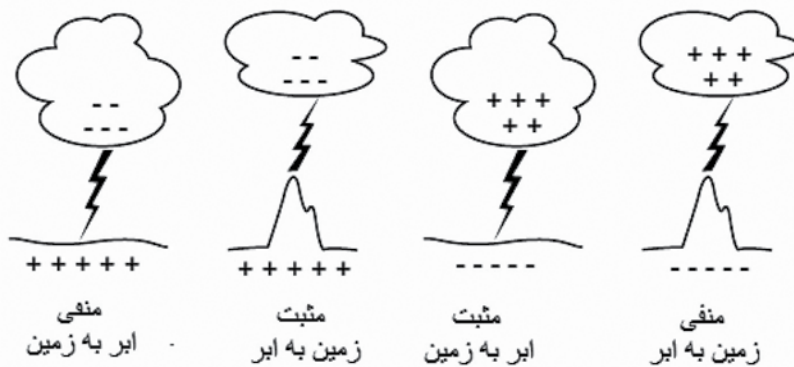
صاعقه‌ها با توجه به موقعیت شکل‌گیری (مابین ابرها، مابین ابرها و زمین و داخل یک ابر)، پلاریته، مسیر حرکت (صعودی یا نزولی)، رنگ و دما از یکدیگر تفکیک می‌شوند. در یک دسته‌بندی صاعقه‌ها را می‌توان از لحاظ پلاریته به صورت منفی و مثبت در نظر گرفت. صاعقه‌ی منفی، صاعقه‌هایی هستند که از قسمت انتهایی ابر جایی که بار منفی در آن قرار دارد خارج و به هدف اصابت می‌کند. در حدود ۹۰ درصد صاعقه‌ها از نوع صاعقه‌های منفی هستند. نوع دیگری از صاعقه‌ها مثبت هستند؛ به این مفهوم که از بالای ابر طوفانی که دارای بار مثبت است خارج و به هدف اصابت می‌کند. فراوانی این نوع از صاعقه‌ها در مقایسه با صاعقه‌های منفی کمتر و در حدود ۱۰ درصد است و به طور معمول در زمستان ظاهر می‌شوند. از دیگر ویژگی‌های این نوع صاعقه‌ها، دامنه‌ی بیش‌تر و زمان طولانی‌تر نسبت به صاعقه‌های منفی است و به همین دلیل این صاعقه‌ها اغلب باعث ایجاد خسارت بیش‌تر می‌شوند. به این نوع از صاعقه «صاعقه‌ی آتش» نیز گفته می‌شود. [۱]

در شکل شماره‌ی (۱)، شکل موج جریان تخلیه‌ی الکتریکی برخورد صاعقه‌ی منفی از ابر به زمین نشان داده شده است.

شکل شماره‌ی (۱): شکل موج جریان تخلیه‌ی الکتریکی برخورد صاعقه منفی از ابر به زمین [۶]

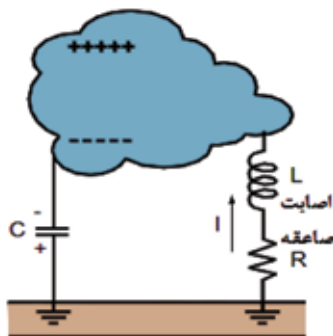


بستگی به مسیر تخلیه‌ی الکتریکی از ابر به زمین و یا از زمین به طرف ابر و با در نظر گرفتن شارژ الکتریکی منفی و یا مثبت صاعقه، چهار نوع برخورد صاعقه به زمین ایجاد می‌شود که شامل شارژ الکتریکی مثبت و منفی ابر به زمین و زمین به ابر است. شکل شماره‌ی (۲) چهار نوع برخورد صاعقه به زمین را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه ضربه‌ی صاعقه در نقاط پست زمین در اروپای شمالی بیش‌تر ناشی از صاعقه‌ی منفی ابر به زمین است. [۶]



شکل شماره‌ی (۲): چهار نوع برخورد صاعقه به زمین [۶]

هم‌چنین در شکل شماره‌ی (۳) مدل الکتریکی اولین مسیر تخلیه‌ی الکتریکی از ابر به طرف زمین در یک مسیر تصادفی نشان داده شده است. [۶]



شکل شماره‌ی (۳): مدل الکتریکی اولین مسیر تخلیه‌ی الکتریکی از ابر به طرف زمین [۶]

مشخصات و آثار و خسارت‌های صاعقه

صاعقه یک تخلیه‌ی الکتریکی شدید و بسیار سریع در هوا است و همین تخلیه‌ی الکتریکی است که نور و صدا تولید می‌کند. با افزایش بار الکتریکی میان ابر و زمین که اختلاف پتانسیلی در حدود ۱۰۰ میلیون ولت به همراه دارد [۳] امکان یونیزه و رسانا شدن هوا در یک مسیر و کانال خاص ایجاد می‌شود. به محض این‌که چنین مسیری از مولکول‌های یونیزه رسانا از ابر تا زمین تشکیل می‌شود، بارهای الکتریکی به طرف هم حرکت می‌کنند و در عرض یک ده هزارم ثانیه متوسط جریان پیک وحشتناکی در حدود ۳۰ هزار آمپر [۳] از هوای یونیزه عبور می‌کند. با برخورد این جریان به مقاومت اتم‌های روبرو آن بخشی از انرژی الکتریکی به گرما تبدیل می‌شود و در صورتی‌که توان گرمایی صاعقه در حدود ۱۰۰ میلیارد وات باشد، در مدت زمان ناچیز یک ده هزارم ثانیه می‌تواند انرژی گرمایی در حدود ۱۰ میلیون ژول ایجاد کند. این انرژی گرمایی باعث می‌شود دمای هوا در مسیر صاعقه به ۳۰ هزار تا ۵۰ هزار درجه‌ی سانتی‌گراد برسد و این تغییر افزایش ناگهانی دما از حدود ۳۰۰ کلوین به ۳۰ هزار کلوین باعث افزایش حجم هوا تا ۱۰۰ برابر و در نتیجه ایجاد یک موج ضربه در مسیر هوای اطراف می‌شود که با سرعت صوت و به شکل رعد به گوش می‌رسد. از طرفی گرمای ایجاد شده حاصل از جریان شدید صاعقه باعث تابش هوا و در نتیجه ایجاد یک مسیر نورانی بین ابر و زمین می‌شود.

مشاهدات و محاسبات دقیق سازمان فضایی آمریکا (ناسا) نشان می‌دهد که تخلیه‌ی الکتریکی ابرها معمولاً در مدت زمانی کم‌تر از چند صدم تا چند هزارم ثانیه رخ می‌دهد. هم‌چنین صاعقه گاهی می‌تواند تا ۴۰ هزار کیلومتر در ثانیه سرعت بگیرد. با اصابت صاعقه به زمین، ولتاژ گامی به وجود می‌آید که برای لحظاتی در زمین باقی می‌ماند تا جذب زمین شود و یا تبدیل به گرما شود. این ولتاژ گام در زمین حرکت می‌کند، اما مسیر حرکت مشخصی ندارد. معمولاً قسمت عمده‌ی برق زمینی در اعماق فرو می‌رود، اما اگر سطح زمین مرطوب یا دارای بستر سنگی یا پوشیده از خاک مناسب و یا علف‌زار باشد، ترجیح می‌دهد



که روی سطح زمین و در جهات مختلف حرکت کند. ولتاژ گام می‌تواند تا شعاع چندین متر در اطراف محل اصابت صاعقه پراکنده شود، ولی به‌ندرت بیش‌تر از ۱۰۰ متر در سطح زمین پیش می‌رود. [۵] استاندارد BS EN/IEC 62305-1 انواع خسارت‌های ناشی از برخورد صاعقه را در چهار بخش شامل حیات نیروی انسانی، خدمات عمومی، میراث فرهنگی و ارزش‌های اقتصادی تقسیم‌بندی می‌کند. [۷] هم‌چنین، در شکل شماره‌ی (۴) بررسی آماری تلفات صاعقه بر روی انسان و فعالیت روزانه‌ی آن از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۳ به صورت نمونه‌ی آماری در ایالات متحده آمریکا نشان داده شده است.



شکل شماره‌ی (۴): بررسی آماری تلفات صاعقه بر روی انسان و فعالیت روزانه‌ی آن را از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۳ در ایالات متحده آمریکا [۱۳]

در استاندارد BS EN/IEC 62305-1 چهار سطح حفاظت در برابر صاعقه، معرفی و قوانین طراحی بر اساس LPL (Lightning Protection Level) در واقع حداقل و حداکثر میزان جریان صاعقه بر اساس LPL مشخص می‌گردد. [۷] هم‌چنین، در جدول شماره‌ی (۱) سطوح حفاظت در برابر صاعقه برای حداکثر و حداقل جریان قابل انتظار به همراه احتمال کوچک‌تر و بزرگ‌تر شدن جریان واقعی صاعقه از مقدار حداقل و حداکثر پیک جریان صاعقه نشان داده شده است. در این جدول در سیستم LPL 1 موقعیت قرارگیری پایانه‌های هوایی به گونه‌ای است که از ۹۹ درصد از اصابت ضربه صاعقه جلوگیری می‌کند و تنها ۱ درصد احتمال دارد که صاعقه کمتر از ۳ کیلو آمپر اتفاق بیافتد و پایانه‌های هوایی به اندازه کافی به یکدیگر برای جلوگیری کردن از اصابت ضربه صاعقه نزدیک نباشند. [۳]

در استاندارد BS EN/IEC 62305-1 حداکثر پیک جریان LPL معیاری برای طراحی تجهیزات حفاظت در برابر صاعقه و تجهیزات SPD (Surge Protective Device) و حداقل جریان LPL معیاری جداگانه برای تعیین کردن توانایی تحمل کافی سطوح در برابر اصابت مستقیم صاعقه است. مطابق با این استاندارد کلاس‌های LPS (Lightning Protection System) که در واقع سیستمی کامل با هدف کاهش خسارات فیزیکی ناشی از اصابت مستقیم صاعقه به ساختمان است، معادل با سطوح حفاظت در برابر صاعقه (LPL) در نظر گرفته می‌شود. جدول شماره‌ی (۲) ارتباط میان LPL و کلاس‌های LPS را بر اساس استاندارد BS EN/IEC 62305-1 نشان می‌دهد. در حقیقت کلاس LPS/LPL سبب تأثیرگذاری بر فاصله‌ی مجاز بین هادی‌های نزولی و بین حلقه‌های هادی‌ها، فاصله‌ی جداسازی، حداقل طول الکترودهای اتصال زمین و شعاع گوی غلتان، ابعاد مش و زاویه‌ی حفاظتی می‌شود. [۳]-[۸]

جدول شماره‌ی (۱): سطوح حفاظت در برابر صاعقه برای حداکثر و حداقل جریان قابل انتظار به همراه احتمال کوچک‌تر و بزرگ‌تر شدن جریان واقعی صاعقه از مقدار حداقل و حداکثر پیک جریان صاعقه [۸].

احتمالی که جریان واقعی صاعقه بزرگ‌تر از حداقل مقدار پیک جریان صاعقه باشد. (%)	حداقل پیک جریان صاعقه (KA)	احتمالی که جریان واقعی صاعقه کوچک‌تر از حداکثر مقدار پیک جریان صاعقه باشد. (%)	حداکثر پیک جریان صاعقه (kA) صاعقه 10/350 μ S	سطوح حفاظت در برابر صاعقه (LPL)
۹۹	۳	۹۹	۲۰۰	I
۹۷	۵	۹۸	۱۵۰	II
۹۱	۱۰	۹۵	۱۰۰	III
۸۴	۱۶	۹۵	۱۰۰	IV

جدول شماره‌ی (۲): ارتباط میان LPL و کلاس‌های LPS بر اساس استاندارد BS EN/IEC 62305-1 [۷]

LPL	LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV





روش‌ها و راه‌کارهای حفاظت در برابر اصابت صاعقه به ساختمان‌ها و تأسیسات

حفاظت ساختمان‌ها و تأسیسات به‌طور کلی شامل حفاظت از جلد خارجی در برابر اصابت ضربه‌های مستقیم صاعقه و حفاظت داخلی از تجهیزات نصب شده در مقابل آثار ثانویه صاعقه است. [۳] به عبارت دیگر، منظور از حفاظت خارجی، حفظ بدنه و سازه‌ی ساختمان‌ها و تأسیسات از آتش‌سوزی، انهدام، انفجار، خسارت‌های مکانیکی و حرارتی در اثر اصابت مستقیم صاعقه است و منظور از حفاظت داخلی، تهیه‌ی وسایل و تجهیزاتی است که به کمک آن‌ها بتوان اثرات اضافه و لتازهای القایی حاصل از جریان‌های صاعقه را بر روی تجهیزات داخل ساختمان را کنترل و خنثی کرد.

سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه برای محافظت از جلد خارجی ساختمان‌ها و تأسیسات، بر اساس نوع عمل‌کرد به دو دسته‌ی اصلی تقسیم‌بندی می‌شود که شامل صاعقه‌گیرهای غیرفعال (Passive) و فعال (Active) است. صاعقه‌گیرهای غیرفعال هیچ‌گونه عمل‌گر فعال‌کننده‌ای قبل از وقوع صاعقه به‌منظور تسریع در پاسخ واکنشی ندارند و به همین دلیل غیرفعال یا ساده نامیده می‌شود. بر اساس استاندارد IEC 62305-3 صاعقه‌گیر غیرفعال به چهار نوع میله‌ی ساده، سیم‌گارد و هادی مش و اجزای فلزی سازه تقسیم‌بندی می‌شود. [۳]

در صاعقه‌گیر فعال، اثر پدیده‌هایی همانند کرونا به‌واسطه‌ی انرژی دریافتی از منبع خارجی و یا تولید شده به صورت خودکفا ایجاد می‌شود. این نوع از صاعقه‌گیرها به انواع مختلفی شامل اتمی، بادی، خورشیدی، الکترونیک خازنی- اتمسفریک تقسیم‌بندی می‌شوند. از جمله صاعقه‌گیرهای فعالی که امروز در مراکز صنعتی و تجاری به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرد، صاعقه‌گیر مولد برق اولیه موسوم به الکترونیک (ESE (Early Streamer Emission است. این نوع صاعقه‌گیرها در سال ۱۹۹۵ توسط سازندگان فرانسوی و با استاندارد NFC 17-102 به دنیا معرفی شد. در این صاعقه‌گیرها از سیستمی استفاده می‌شود که دارای زمان فعال‌سازی (Triggering Advance Δt) بوده و در هنگام وقوع صاعقه نسبت به جذب صاعقه عمل‌کرد سریع‌تری (در حدود ۴۰ تا ۶۰ میکروثانیه) دارد. همچنین وجود زمان فعال‌سازی (Δt) موجب افزایش شعاع حفاظتی در این نوع از صاعقه‌گیرها می‌شود. تحقیقات صورت گرفته و از جمله در مؤسسه‌ی استانداردهای برقی اروپا (CELENEC)، بر عدم کارایی این نوع از صاعقه‌گیرها تأکید و آن را مردود اعلام کرده‌اند و بر همین اساس نیز در ایران شرکت ملی گاز از سال ۱۳۸۸ استفاده از صاعقه‌گیرهای فعال به دلیل استقبال از خطر صاعقه برای همه‌ی سایت‌های صنعتی زیرمجموعه را ممنوع اعلام کرد.

استانداردهای تأمین و نصب تجهیزات حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه

به‌طور کلی سیستم‌های حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه از سه بخش اصلی شامل پایانه‌های هوایی، هادی نزولی و سیستم زمین تشکیل شده است. [۹]

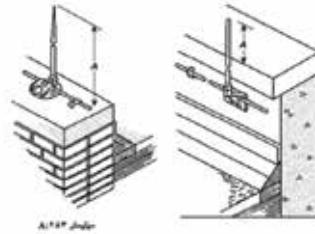
بر اساس استاندارد NFPA 780-08 تجهیزات مورد استفاده در حفاظت از ساختمان‌ها و سازه‌ها در برابر برخورد صاعقه شامل هادی‌های صاعقه‌گیر، پایانه‌های هوایی، الکترودهای سیستم زمین و اتصالات مورد نیاز در دو کلاس I و II تقسیم‌بندی می‌شود. کلاس I برای سازه‌هایی با ارتفاع کم‌تر از ۲۳ متر و کلاس II برای سازه‌هایی با ارتفاع بیش‌تر از ۲۳ متر است. جدول شماره‌ی (۳) حداقل تجهیزات مورد نیاز در سیستم حفاظت از جلد خارجی ساختمان‌ها و سازه‌ها در دو کلاس I و II را نشان می‌دهد. [۱۰]

جدول شماره‌ی (۳): حداقل تجهیزات مورد نیاز در سیستم حفاظت از جلد خارجی سازه‌ها و ساختمان‌ها در کلاس I و کلاس II [۱۰]

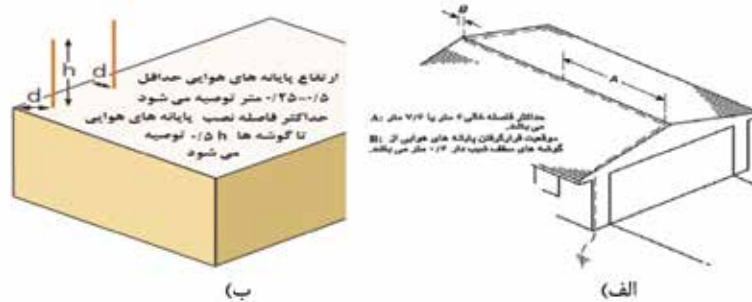
نوع هادی	پارامتر	کلاس I		کلاس II	
		مس	آلومینیوم	مس	آلومینیوم
پایانه‌های هوایی توپر	قطر	SI/U.S ۹/۵mm	SI/U.S ۱۲/۷mm	SI/U.S ۱۲/۷mm	SI/U.S ۱۵/۹mm
پایانه‌های هوایی توخالی	قطر	۱۵/۹mm	۱۵/۹mm	----	----
	ضخامت دیوار	۰/۸mm	۱/۶۳mm	----	----
هادی اصلی از نوع کابل	سایز هر رشته	۱۷AWG	۱۴AWG	۱۵AWG	۱۳AWG
	وزن در هر متر طول	۲۷۸g/m	۱۴۱g/m	۵۵۸g/m	۲۸۳g/m
	سطح مقطع	۲۹mm ²	۵۰mm ²	۵۸mm ²	۹۸mm ²
هادی همبندی از نوع کابل (توپر یا رشته‌ای)	سایز هر رشته	۱۷AWG	۱۴AWG	۱۷AWG	۱۴AWG
	سطح مقطع	۲۶۲۴۰-Cir.mils	۴۱۱۰۰-Cir.mils	۲۶۲۴۰-Cir.mils	۴۱۱۰۰-Cir.mils
هادی همبندی تسمه‌ای	ضخامت	۱/۳mm	۱/۶۳mm	۱/۳mm	۱/۶۳mm
	پهنای	۱۲/۷mm	۱۲/۷mm	۱۲/۷mm	۱۲/۷mm
هادی اصلی از نوع تسمه‌ای	ضخامت	۱/۳mm	۱/۶۳mm	۱/۶۳mm	۲/۶۱mm
	سطح مقطع	۲۹mm ²	۵۰mm ²	۵۸mm ²	۹۷mm ²

- پایانه‌های هوایی (صاعقه‌گیرها)

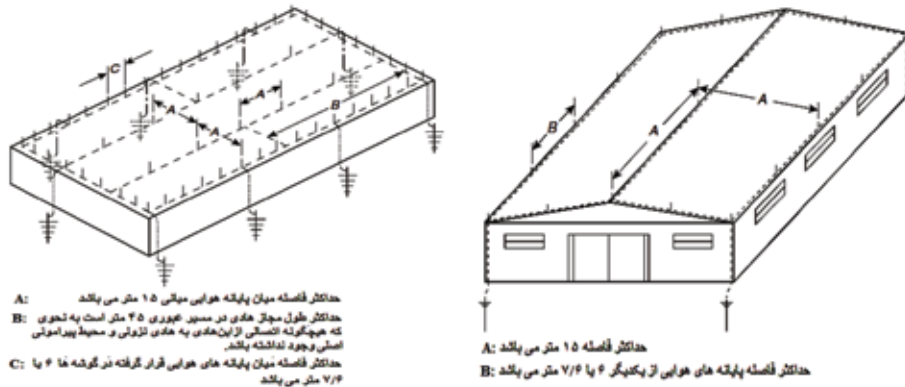
بر اساس استاندارد NFPA 780 نوک پایانه‌های هوایی می‌تواند به صورت نوک تیز و یا غیر نوک تیز (پهن) باشد و در هر صورت نوک پایانه‌های هوایی نباید ارتفاعی کم‌تر از ۲۵۴ میلی‌متر بالای ناحیه و یا تجهیز مورد حفاظت داشته باشد. همچنین پایانه‌های هوایی باید در خط‌الراس سقف‌های شیب‌دار نصب و فاصله آن‌ها از یکدیگر و از گوشه‌های سقف به ترتیب حداکثر ۶ متر و ۰/۶ متر است. در صورتی که ارتفاع پایانه‌های هوایی بالای ناحیه و یا تجهیز مورد حفاظت ۰/۶ متر و بیش‌تر باشد، فاصله‌ی آن‌ها می‌تواند به ۷/۶ متر نیز افزایش یابد. از طرفی برای سقف‌های مسطح و یا با شیب کم و دارای طول و عرض بیش‌تر از ۱۵ متر بایستی علاوه بر پایانه‌های هوایی نصب شده در گوشه‌ها، پایانه‌های هوایی اضافی بلندتری در میانه‌ها نصب شود که حداکثر فاصله‌ی پایانه‌های هوایی اضافی نباید بیش‌تر از ۱۵ متر باشد و ناحیه‌ی تحت حفاظت باید به گونه‌ای محافظت شود که سطح گوی غلتان هیچ‌گونه برخوردی با سقف مسطح و یا شیب‌دار نداشته باشد. در استاندارد IEC حداقل ارتفاع پایانه‌های هوایی ۰/۲۵ متر توصیه شده است (ارتفاع ۰/۵ متر ترجیح داده شده است) و برای تأثیر بیش‌تر کارایی پایانه‌های هوایی با ارتفاع کم‌تر از ۰/۵ متر، فاصله‌ی آن‌ها از گوشه نباید کم‌تر از نصف ارتفاع پایانه‌های هوایی باشد. همچنین در استاندارد BS 6651-1991 حداکثر فاصله مورد پذیرش نصب هادی‌ها افقی سیستم صاعقه‌گیر از گوشه‌های ساختمان‌ها ۰/۱ متر عنوان شده است. [۳]-[۱۰] شکل شماره‌ی (۵) و (۶) و (۷) به ترتیب ارتفاع پایانه‌ی هوایی در دو نوع نوک تیز و پهن برای محافظت در برابر برخورد مستقیم صاعقه از سازه و فاصله‌ی پایانه‌های هوایی از یکدیگر و از گوشه‌های در سقف‌های مسطح بر اساس استاندارد IEC و با طول و عرض کم‌تر و بیش‌تر از ۱۵ متر براساس استاندارد NFPA را نشان می‌دهد. [۳]



شکل شماره‌ی (۵) : ارتفاع پایانه‌ی هوایی در دو نوع نوک تیز و پهن برای محافظت در برابر برخورد مستقیم صاعقه به سازه بر اساس استاندارد NFPA [۱۰]



شکل شماره (۶) : ارتفاع و فاصله‌ی پایانه‌های هوایی از گوشه‌های سقف‌های مسطح بر اساس استاندارد IEC و (ب) فاصله‌ی پایانه‌های هوایی از یکدیگر و از گوشه‌های سطح شیب‌دار با طول و عرض کم‌تر از ۱۵ متر بر اساس استاندارد NFPA [۳]-[۱۰]



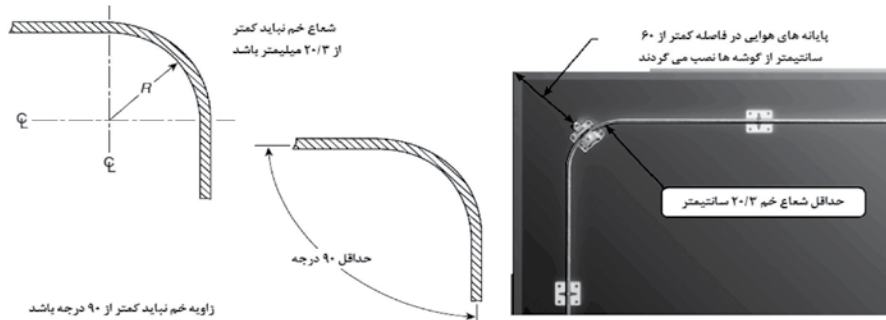
شکل شماره‌ی (۷) : فاصله‌ی پایانه‌های هوایی از یکدیگر و از گوشه‌های سقف‌های شیب‌دار با طول و عرض بیش‌تر از ۱۵ متر بر اساس استاندارد NFPA [۱۰]

- هادی‌های میانی (نزولی) و نگاه‌دارنده‌ها

هادی‌های میانی استفاده شده در سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه برای ایجاد مسیری جهت تخلیه‌ی ایمن جریان صاعقه از



پایانه‌های هوایی تا سیستم اتصال به زمین هستند. برای این منظور هادی‌های میانی علاوه بر تعداد زیاد مسیر موازی باید تا حد امکان کوتاه، مستقیم و بدون حلقه باشد. همچنین این هادی‌ها نباید در مسیر جریان آب و در معرض آسیب‌های موضعی نصب شوند و در مکان‌هایی که پتانسیل خطر در اثر لمس وجود دارد، باید توسط عایق **XLPE** با سطح مقطع ۳ میلی‌متر محافظت شوند. حداقل زاویه و شعاع خم در هادی‌ها به ترتیب باید بیش‌تر از ۹۰ درجه و ۲۰/۳ میلی‌متر باشد. شکل شماره‌ی (۸) حداقل زاویه و شعاع خم در هادی‌های سیستم حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه‌گیر را نشان می‌دهد. [۱۰]



شکل شماره‌ی (۸) : حداقل زاویه و شعاع خم در هادی‌های سیستم حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه [۱۰]

بر اساس استاندارد **NFPA 780** حداقل تعداد هادی میانی برای انواع ساختمان و سازه‌ها دو عدد است و در صورتی که محیط ساختمان‌ها و سازه‌ها بیش‌تر از ۷۸ متر باشد، در هر ۳۰ متر باید یک هادی میانی نصب شود. همچنین هادی‌های میانی به دلیل محافظت در برابر هرگونه آسیب فیزیکی باید در فاصله‌ی ۱/۸ متری بالای سطح زمین محافظت شوند و در صورتی که این هادی‌ها به محیط‌هایی با خاک خورنده وارد شوند، باید توسط پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی محافظت شوند. این پوشش از فاصله‌ی ۰/۹ متر بالاتر از سطح زمین شروع و تا انتهای مسیر ادامه پیدا می‌کند. [۱۰] در جدول شماره‌ی (۴) و (۵) به ترتیب جنس و فاصله‌ی میان هادی‌های میانی مطابق با استاندارد **NFC 17-102** و **IEC 62305-3** نشان داده شده است. همچنین در استاندارد **NFC 17-102** سطح مقطع هادی‌های میانی در انواع شکل‌ها کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر مربع تأیید نشده است. به‌منظور جلوگیری از آسیب‌های ناشی از پتانسیل خطر صاعقه هنگام عبور از هادی‌های میانی برای انسان (طول قد با دست بلند شده کم‌تر از ۲/۵ متر) هنگامی که در زیر جان‌پناه‌های ساختمان‌ها و سازه‌های با ارتفاع بیش‌تر از آن قرار می‌گیرند و همچنین برای تعیین فاصله میان **LPS** های خارجی و قسمت‌های فلزی سازه‌ها و تجهیزات زمین شده نزدیک هادی‌های میانی حداقل فاصله‌ی ایمن از رابطه‌ی شماره‌ی (۱) به دست می‌آید. [۳]-[۱۵]

$$S = \frac{K_i}{K_m} * K_c * l \quad (1)$$

در این رابطه k_p ضریبی وابسته به انتخاب سطوح حفاظتی و k_c ضریبی وابسته به تعداد هادی‌های میانی و k_m ضریبی وابسته به جنس عایق الکتریکی و l طول هادی میانی از نقطه تقریباً شروع قسمت فلزی سیستم زمین به نزدیک‌ترین نقطه‌ی هم‌پتانسیل‌سازی است. جدول شماره‌ی (۶) به ترتیب مقادیر ضرایب k_p و k_c و k_m را نشان می‌دهد.

جدول شماره‌ی (۴) : جنس هادی‌های میانی مطابق استاندارد **NFC 17-102** [۱۵]

توضیحات	حداقل ابعاد	شکل هادی	جنس هادی میانی
هدایت خوب و مقاومت در برابر خوردگی	۳۰ × ۲ میلی‌متر	صلب تسمه‌ای	مس الکترولیتی قلع اندود شده یا مس لخت
	قطر ۸ میلی‌متر	سطح مقطع گرد	
	۳۰ × ۲/۵ میلی‌متر	بافته شده	
توصیه شده برای محیط‌های خورنده	۳۰ × ۲ میلی‌متر	صلب تسمه‌ای	فولاد ضد زنگ ۳۰۴-۱۸/۱۰
	قطر ۸ میلی‌متر	سطح مقطع گرد	
مورد استفاده برای سطوح آلومینیومی	۳۰ × ۲ میلی‌متر	صلب تسمه‌ای	آلومینیوم A ۵
	قطر ۱۰ میلی‌متر	سطح مقطع گرد	

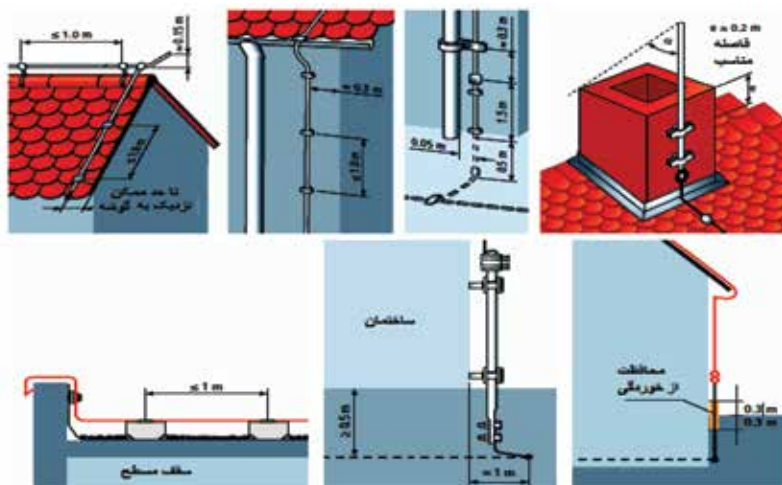
جدول شماره ۵) : فاصله‌ی میان هادی‌های میانی مطابق با استاندارد IEC 62305-3 [۳]

کلاس LPS(LPL)	فاصله معمولی (m)
I	۱۰
II	۱۰
III	۱۵
IV	۲۰

جدول شماره ۶) : مقادیر ضرایب k_m و k_c و k_l [۳]

جنس	k_m
هوا	۱
بتن و آجر	۰/۵
n	k_c
(فقط درحالی‌که LPS ایزوله است)	۱
۲	۰/۶۶
۳ و بیش‌تر	۰/۴۴
LPS کلاس	k_l
I	۰/۰۸
II	۰/۰۶
III و IV	۰/۰۴

در استاندارد NFPA 780 فاصله‌ی نگهدارنده‌هایی که هادی‌های میانی را به سازه‌ها و ساختمان متصل می‌کند، حداکثر ۰/۹ متر بیان شده است. [۱۰] در شکل شماره ۹) مطابق با استاندارد IEC 62306-3، علاوه بر نشان دادن فاصله‌های افقی و عمودی مجاز نصب الکترودها و هادی‌های سیستم زمین، فاصله‌های مجاز نصب همه‌ی نگهدارنده‌های سیستم صاعقه‌گیر در سقف‌های شیب‌دار و مسطح نشان داده شده است. بر اساس تجربه‌های عملی در صورت استفاده از نگهدارنده‌ها از جنس آلومینیوم حداکثر فاصله‌ی مجاز بین آن‌ها ۱ متر و برای نگهدارنده از جنس فولاد گالوانیزه‌ی گرم، حداکثر فاصله ۱/۲ متر است. [۸] باید به این نکته نیز اشاره شود در صورتی که سطوح حفاظتی قابل احتراق باشند و افزایش درجه‌ی حرارت ناشی از برخورد صاعقه از هادی‌های میانی مطابق با ضمیمه‌ی D.4 استاندارد IEC 62305-1 خطرناک نباشد، امکان نصب مستقیم نگهدارنده بر روی این سطوح وجود دارد و در غیر این صورت حتماً بایستی هادی‌های پایین میانی با استفاده از نگهدارنده با فاصله‌ی ۱۰۰ میلی‌متر نسبت به سطوح نصب شوند. [۳]



شکل شماره ۹) : فاصله‌های افقی و عمودی مجاز نصب الکترودها و هادی‌های سیستم زمین و فاصله‌های مجاز نصب همه‌ی نگهدارنده‌ها، سیستم صاعقه‌گیر در سقف‌های شیب‌دار و مسطح بر اساس استاندارد IEC 62306-3 [۸]

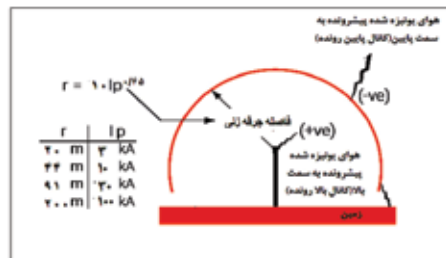
روش‌های طراحی تعیین موقعیت قرارگیری پایانه‌های هوایی

مسئله‌ی اصلی برای تعیین مکان قرار گرفتن پایانه‌های هوایی، حداقل میزان مورد انتظار جریان تخلیه و توانایی جلوگیری سیستم حفاظتی در برابر صاعقه‌هایی با جریان پایین‌تر است. شدت میدان الکتریکی با نزدیک شدن پدیده‌ی کرونا به سطح زمین و یا سازه به اندازه‌ی افزایش پیدا می‌کند که در نهایت منجر به تخلیه از نزدیک‌ترین محدوده‌ی یونیزه شده‌ی هوا می‌شود، به



این محدوده فاصله‌ی جرقه‌زنی گفته می‌شود. در رابطه‌ی شماره‌ی (۲) فاصله‌ی جرقه‌زنی نشان داده شده است. در این رابطه شعاع فاصله‌ی جرقه‌زنی و جریان I مقدار پیک جریان ضربه‌ی صاعقه است. همچنین این رابطه نشان می‌دهد که جلوگیری از برخورد صاعقه‌های کوچک به سازه‌ها توسط پایانه‌های هوایی بسیار دشوار از صاعقه‌های بزرگ است؛ چراکه صاعقه‌های کوچک برای برقراری اتصال با هوای یونیزه شده‌ی اطراف پایانه‌های هوایی باید بیش‌تر به سمت آن‌ها نزدیک شوند. از این‌رو پایانه‌های هوایی برای محافظت از سازه‌ها باید با فاصله‌ی نزدیک‌تری نسبت به یکدیگر نصب شوند. همچنین در صورتی که صاعقه‌گیرها به اندازه‌ی کافی بلند نباشند، صاعقه‌های کوچک به نزدیک‌ترین نقطه از سازه که امکان برقراری تماس را دارد، برخورد می‌کند. [۳] شکل شماره‌ی (۱۰) رابطه‌ی فاصله‌ی جرقه‌زنی و شدت جریان پیک صاعقه را نشان می‌دهد. [۳]

$$r = 10I^{0.65} \quad (2)$$



شکل شماره‌ی (۱۰) : رابطه‌ی فاصله‌ی جرقه‌زنی و شدت جریان پیک صاعقه [۳]

با توجه به اهمیت محل نصب پایانه‌های هوایی در کاهش ریسک خطر برخورد صاعقه روش‌های طراحی متداول و منطبق با استاندارد IEC همچون روش گوی غلتان، مش و زاویه‌ی حفاظتی بیان شده‌اند. انتخاب مکان مناسب پایانه‌های هوایی توسط این روش‌ها می‌تواند در نهایت منجر به نصب بهینه‌ی هادی‌های میانی و سیستم زمین مورد نیاز شود. [۳]

۱- روش گوی غلتان [۳]-[۸]

روش گوی غلتان، روش عمومی برای طراحی سازه‌های هندسی پیچیده است. در این روش کره‌ای فرضی بر روی سازه غلتانیده می‌شود و قسمت‌هایی از سازه که گوی با آن محدوده‌ها تماس پیدا می‌کند، مستعد برخورد صاعقه و نیازمند حفاظت هستند و باید پایانه‌های صاعقه‌گیر در آن مناطق نصب شوند. نصب پایانه‌ها به شکلی است که گوی با نواحی که قبلاً با آن‌ها در تماس بوده است، دیگر تماسی نداشته باشد. سادگی روش گوی غلتان در این مسئله نهفته است که مقیاس به کار رفته در این روش با توجه به مدل ساختمان قابل تنظیم است و با بخش‌بندی ساختمان به نماهای متفاوت می‌توان این روش را با رسم بر جهت‌های مختلف اجرا کرد و در اجرای پایانه‌های هوایی ممکن است از میله‌های ساده، هادی‌های مش، کابل‌های معلق یا قسمت‌های فلزی سازه استفاده شود. گفتنی است که برای ساختمان‌هایی که ارتفاعی کم‌تر از ۶۰ متر دارند، احتمال برخورد صاعقه به دیوارهای آن‌ها کم است و بنابراین نیازی به حفاظت در برابر صاعقه برای بخش‌های عمودی زیر چتر حفاظتی ندارند. لیکن برای ساختمان‌هایی با ارتفاع بیش‌تر از ۶۰ متر بر اساس استاندارد IEC، سیستم حفاظتی باید برای ۲۰ درصد بالایی کناره‌های ساختمان نصب شود. شکل شماره‌ی (الف/ب/ج-۱۱) به ترتیب طرح کلی استفاده از روش گوی غلتان در ساختمان‌ها با سطوح نامنظم و عمق نفوذ (P) گوی غلتان و سیستم پایانه‌های هوایی نصب شده برای حفاظت از سطح مسطح ساختمان را نشان می‌دهد. [۸] همچنین روابط (۳) و (۴) به ترتیب فاصله‌ی بین دو پایانه‌ی هوایی و میزان رخنه‌ی گوی غلتان بین دو پایانه‌ی هوایی برای حفاظت از سطح بالایی و تجهیزات موجود در پشت‌بام ساختمان و جدول شماره‌ی (۷) و (۸) و (۹) به ترتیب حداکثر میزان شعاع گوی غلتان بر اساس کلاس LPS و فاصله‌ی میان پایانه‌های هوایی با توجه به ارتفاع پایانه‌ها و میزان رخنه‌ی گوی مطابق با کلاس سطوح حفاظت در برابر صاعقه را نشان می‌دهد. [۳]-[۹]

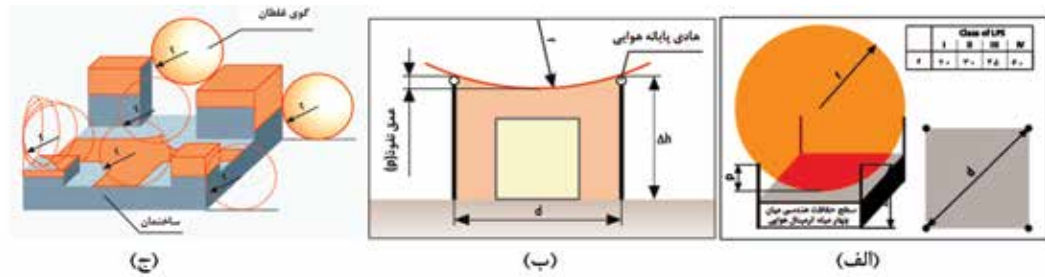
$$d = 2\sqrt{2rh - h^2} \quad (3)$$

در این رابطه، d فاصله‌ی بین دو پایانه‌ی هوایی برحسب متر و r شعاع گوی غلتان برحسب متر و h ارتفاع پایانه‌ی هوایی برحسب متر است. همچنین، رابطه‌ی شماره‌ی (۴) میزان رخنه‌ی گوی غلتان بین دو پایانه‌ی هوایی که برای حفاظت از تجهیزات پشت‌بام استفاده می‌شود را نشان می‌دهد.

$$\rho = r - \sqrt{r^2 - \left[\frac{d}{2}\right]^2} \quad (4)$$

در این رابطه، ρ میزان رخنه‌ی گوی غلتان برحسب متر و r شعاع گوی غلتان برحسب متر و d فاصله‌ی بین دو میله‌ی پایانه‌ی هوایی یا دو هادی موازی پایانه‌ی هوایی برحسب متر است. [۳]-[۹]





شکل شماری (۱۱) : الف) طرح کلی استفاده از روش گوی غلتان در ساختمان‌ها با سطوح نامنظم ب) عمق نفوذ (P) گوی غلتان ج) سیستم پایانه‌های هوایی نصب شده برای حفاظت از سطح مسطح ساختمان [۹]

جدول شماری (۷) : حداکثر میزان شعاع گوی غلتان بر اساس کلاس LPS و استاندارد IEC BS EN /IEC62305-3 [۱۱]

کلاس LPS	شعاع گوی غلتان
I	۲۰
II	۳۰
III	۴۵
IV	۶۰

جدول شماری (۸) : فاصله‌ی میان پایانه‌های هوایی با توجه به ارتفاع پایانه‌ها و کلاس سطوح حفاظت در برابر صاعقه [۳]

ارتفاع میله‌های صاعقه‌گیر (m)	فاصله‌ی میان پایانه‌های هوایی (m)			
	LPL I r=۲۰m	LPL II r=۳۰m	LPL III r=۴۵m	LPL IV r=۶۰m
۰/۵	۸/۸	۱۰/۹	۱۳/۳	۱۵/۴
۱	۱۲/۴	۱۵/۳	۱۸/۸	۲۱/۸
۱/۵	۱۵/۲	۱۸/۷	۲۳	۲۶/۶
۲	۱۷/۴	۲۱/۵	۲۶/۵	۳۰/۷

جدول شماری (۹) : فاصله‌ی میان میله‌ی پایانه‌ی هوایی با توجه به میزان رخنه‌ی گوی غلتان و کلاس سطوح حفاظت در برابر صاعقه [۳]

فاصله‌ی میان میله‌های صاعقه‌گیر (m)	میزان رخنه‌ی گوی غلتان (m)			
	LPL I r=۲۰m	LPL II r=۳۰m	LPL III r=۴۵m	LPL IV r=۶۰m
۱	۰/۱	-	-	-
۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
۳	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲
۴	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳
۵	۰/۱۶	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۵
۶	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۸
۷ (۵۰۵M)	۰/۳۱	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱
۸	۰/۴	۰/۳۷	۰/۱۸	۰/۱۳
۹	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۲۳	۰/۱۷
۱۰	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۲۱
۱۴ (۱۰۰۱۰M)	۱/۳۷	۰/۸۳	۰/۵۵	۰/۴۱
۱۵	۱/۴۶	۰/۹۵	۰/۶۳	۰/۴۷
۲۰	۲/۶۸	۱/۷۲	۱/۱۳	۰/۸۴
۲۱ (۱۵۰۱۵M)	۲/۹۸	۱/۹	۱/۲۴	۰/۹۳
۲۸ (۲۰۰۲۰M)	۵/۲۷	۳/۴۷	۳/۳۴	۱/۶۶
۳۰	۶/۷۷	۴/۰۲	۲/۵۷	۱/۹۱

۲- روش حفاظتی مش

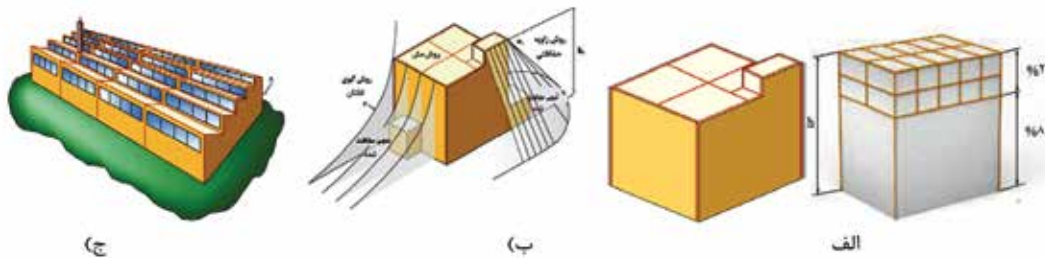
روش حفاظتی مش در ساختمان‌های دارای سطوح منحنی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد؛ اما از این روش می‌توان برای سطوح غیر افقی یا دارای شکل ترکیبی استفاده کرد. به عنوان مثال، برای حفاظت دیوارهای عمودی ساختمان‌های بلند در برابر برخورد صاعقه و یا سطوح ترکیبی همانند پشت‌بام کارخانه‌ها می‌توان از این روش استفاده کرد. همچنین باید به این نکته توجه کرد که



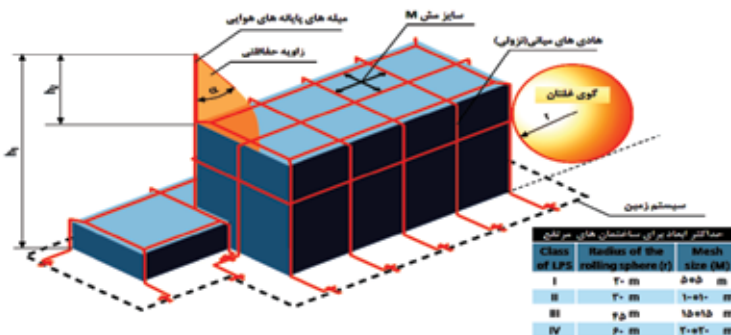
در سطوح ترکیبی شیب‌دار، شیب لبه‌ی سقف محل قرار گرفتن هادی‌های پایانه‌ی هوایی نباید از ۱/۱۰ متر تجاوز نماید. [۳]

برای ساختمان‌های با ارتفاع بیش‌تر از ۶۰ متر و درجه‌ی ریسک بالا توصیه به استفاده و نصب مسیر احاطه‌کننده‌ای برای بخش بالای ۸۰ درصد ساختمان می‌شود که به شبکه‌ی مش حفاظت‌کننده از ساختمان متصل می‌شود و کلاس حفاظتی آن متناسب با کلاس حفاظتی اصلی ساختمان است. شکل شماره‌ی (الف/ب/ج ۱۲) به ترتیب حجم حفاظت شده توسط شبکه‌ی مش مطابق با روش حفاظتی زاویه و گوی غلتان و روش حفاظت ساختمان‌های مسطح و شیب‌دار توسط هادی‌های شبکه‌ی مش و حفاظت ۲۰ درصد بالایی کناره‌های ساختمان بلند توسط هادی‌های شبکه‌ی مش و شکل شماره‌ی (۱۳) دستورالعمل نصب پایانه‌های هوایی

بر اساس استاندارد IEC 62305-3 در ساختمان‌های بلند را نشان می‌دهد. همچنین در جدول شماره‌ی (۱۰) ابعاد شبکه‌ی اتصال برای روش مش با توجه به سطوح حفاظت در برابر صاعقه (LPL) نشان داده شده است. [۱۲]



شکل شماره‌ی (۱۲): (الف) حجم حفاظت شده توسط شبکه‌ی مش، مطابق با روش حفاظتی زاویه و گوی غلتان (ب) روش حفاظت ساختمان مسطح و شیب‌دار توسط هادی‌های شبکه‌ی مش (ج) حفاظت ۲۰ درصد بالایی کناره‌های ساختمان بلند توسط هادی‌های شبکه‌ی مش [۳]-[۱۲]



شکل شماره‌ی (۱۳): دستورالعمل نصب پایانه‌های هوایی بر اساس استاندارد IEC 62305-3 در ساختمان‌های بلند [۸]

جدول شماره‌ی (۱۰): ابعاد شبکه‌ی اتصال برای روش مش با توجه به سطوح حفاظت در برابر صاعقه (LPL) [۳]

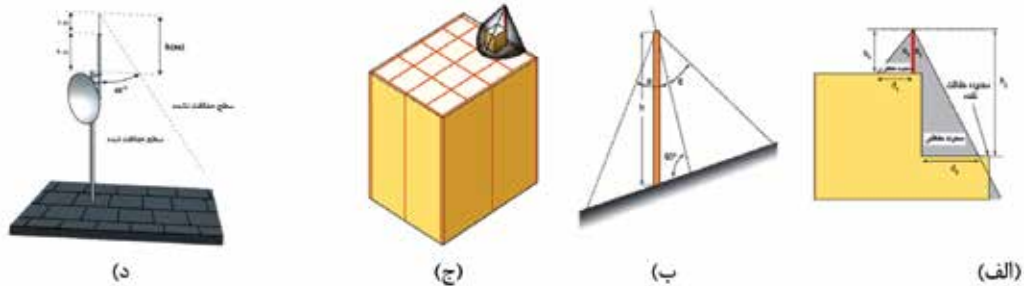
ابعاد شبکه اتصال (با محاسب متر)	سطوح حفاظت در برابر صاعقه (LPL)
۵x۵	کلاس حفاظتی I
۱۰x۱۰	کلاس حفاظتی II
۱۵x۱۵	کلاس حفاظتی III
۲۰x۲۰	کلاس حفاظتی IV

۳- روش زاویه حفاظتی

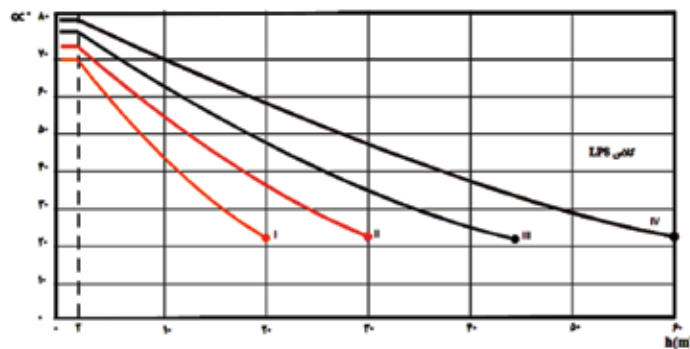
در واقع این روش، ساده شده‌ی روش حفاظتی گوی غلتان است و از محاسبات این روش به دست می‌آید. در این روش محل قرار دادن میله‌های پایانه‌ی هوایی به گونه‌ای مشخص می‌شود که محدوده‌ی حفاظتی مورد نظر توسط زاویه‌ی حفاظتی احاطه شود. کاربرد روش زاویه‌ی حفاظتی، محدود به ارتفاعاتی می‌شود که برابر یا کوچک‌تر از شعاع گوی غلتان است. به طور معمول در مکان‌هایی که تنها از این روش استفاده می‌شود، چندین میله‌ی پایانه‌ی هوایی برای کل سازه کافی است. برای تکمیل روش حفاظتی مش در برآمدگی‌های موجود در سطوح هموار از روش زاویه‌ی حفاظتی استفاده می‌شود. این روش برای سطوح شیب‌دار نیز قابل استفاده است. در این سطوح، میله‌های پایانه‌ی هوایی نسبت به افق عمودی نصب می‌شود و زاویه‌ی حفاظتی آن به وسیله‌ی خطی که بر سطح عمود است و با نوک میله برخورد می‌کند به دست می‌آید. [۳] مزیت اصلی این روش، سادگی آن است و نقص آن نیز غیرقابل اطمینان و مؤثر نبودن در مقایسه با روش گوی غلتان است. شکل شماره‌ی (الف/ب/ج د-۱۴) به ترتیب روش زاویه‌ی حفاظتی برای سطوح مسطح و سطوح شیب‌دار و حفاظت ترکیبی روش مش و زاویه‌ی حفاظتی و روش زاویه‌ی حفاظتی برای دکل مخابراتی ایزوله به همراه هادی میانی ایزوله را نشان می‌دهد. یادآوری این نکته مهم است که بر



اساس پذیرش استاندارد IEC، فاصله‌ی جداسازی پایانه‌ی هوایی از انتهای دکل ۱ متر و سطح مقطع هادی میانی بدون روپوش (لخت) برای اتصال به سیستم زمین (مجزا موجود یا غیر مجزا LPS) برابر با ۵۰ میلی‌متر مربع است. همچنین در شکل شماره‌ی (۱۵) مقدار زاویه‌ی حفاظتی (α) متناسب با ارتفاع پایانه‌ی هوایی نشان داده شده است. به وضوح مشخص است که زاویه‌ی حفاظتی برای ارتفاع کم‌تر از ۲ متر تغییر نخواهد داشت. [۳]



شکل شماره‌ی (۱۴): (الف) روش زاویه‌ی حفاظتی برای سطوح مسطح (ب) روش زاویه‌ی حفاظتی برای سطوح شیب‌دار (ج) حفاظت ترکیبی روش مش و زاویه‌ی حفاظتی (د) روش زاویه‌ی حفاظتی دکل مخابراتی ایزوله به همراه هادی میانی ایزوله [۳]



شکل شماره‌ی (۱۴): مقدار زاویه‌ی حفاظتی (α) متناسب با ارتفاع پایانه‌ی هوایی [۳]

۷- نتیجه گیری

از آن جایی که صاعقه یکی از مخرب‌ترین پدیده‌های طبیعی برای آسیب زدن به انسان، تأسیسات و تجهیزات است و می‌تواند در کوتاه‌ترین ثانیه، فاجعه‌آمیزترین آثار را ایجاد کند، روش‌ها و راه‌کارهای حفاظت در برابر آن لازم و ضروری است. این موضوع از سال ۱۷۵۰ میلادی توسط فرانکلین شروع و تاکنون ادامه دارد.

سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه برای ساختمان و تأسیسات به دو بخش حفاظت از جلد خارجی و حفاظت داخلی تقسیم‌بندی می‌شوند. در واقع سیستم حفاظت از جلد خارجی وظیفه‌ی محافظت از بدنه و سازه‌ی ساختمان‌ها و تأسیسات از آتش‌سوزی، انفجار، خسارت‌های مکانیکی و حرارتی در اثر اصابت مستقیم صاعقه را بر عهده دارد و سیستم حفاظت داخلی، تهیه‌ی وسایل و تجهیزاتی است که به کمک آن‌ها بتوان اثرات اضافه ولتاژهای القایی حاصل از جریان‌های صاعقه را بر روی تجهیزات داخل ساختمان کنترل و خنثی کرد. از طرفی، سیستم‌های حفاظت در برابر صاعقه برای محافظت از جلد خارجی ساختمان‌ها و تأسیسات بر اساس نوع عمل‌کرد به دو دسته‌ی اصلی تقسیم‌بندی می‌شود که شامل صاعقه‌گیرهای غیرفعال (Passive) و فعال (Active) است. تحقیقات صورت گرفته و از جمله در مؤسسه‌ی استانداردهای برقی اروپا (CELENEC)، بر عدم کارایی صاعقه‌گیرهای فعال تأکید و آن را مردود اعلام کرده است و شرکت ملی گاز ایران نیز از سال ۱۳۸۸ استفاده از این صاعقه‌گیرها را به دلیل استقبال از خطر صاعقه برای همه‌ی سایت‌های صنعتی زیر مجموعه ممنوع کرده است.

در این مقاله ضمن بیان چهار سطح حفاظت در برابر صاعقه و معرفی قوانین پایه‌ی طراحی بر اساس LPL به ارتباط میان LPL و کلاس LPS پرداخته شده است. همچنین استانداردهای تأمین و نصب تجهیزات حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه بر اساس استانداردهای BS، IEC، NFPA و NFC به تفصیل مطرح و روش‌های و راه‌کارهای حفاظت در برابر اصابت مستقیم صاعقه به ساختمان‌ها و تأسیسات بررسی شده است. در این راستا به دلیل اهمیت محل نصب پایانه‌های هوایی در کاهش ریسک خطر برخورد صاعقه روش‌های طراحی متداول و منطبق با استاندارد IEC هم‌چون روش گوی غلتان، مش و زاویه‌ی حفاظتی نیز مطرح شده است. هرچند در میان این روش‌ها، روش گوی غلتان جامع‌ترین روش طراحی و روش مش‌بندی برای حفاظت سطوح صاف و روش زاویه‌ی حفاظتی تنها برای فاصله‌های عمودی محدود مناسب است و به‌کارگیری هم‌زمان هر سه روش برای بخش‌های مختلف سیستم صاعقه‌گیر یک سازه نیز وجود دارد.



- [1]: WWW.SCALAR.SI
- [2]: THE SCIENTIFIC BASIS FOR TRADITIONAL LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS, Report of The Committee on Atmospheric and Space Electricity of The American Geophysical Union, June 2001.
- [3]: TECHNICAL HANDBOOKnVent ERICO Lightning Protection Handbook Designing to the IEC 62305 Series of Lightning Protection Standards, ERICO-TH-E907W-E696LT10WWEN-EN-1805,2018.
- [4]: CHEMINFINITY.COM/ATMOSPHERIC-CHEMISTRY
- [5]: WWW.PHYSIC-AH.BLOGFA.COM
- [6]: Protection Against Lightning Effects, Power Guide, BOOK 07, Legrand,2009.
- [7]: Guide to BS EN/IEC 62305, Furse, protection against lightning 3rd edition.
- [8]: LIGHTNING PROTECTION GUIDE,DEHN+SOHNE, 3rd updated Edition,2014, ISBN 978-3-9813770-1-9.
- [9]: Adoption of IEC 62305 as the Basis for One Major U.S. Electric Utility's Lightning Protection Standard, Gary T. Brandon, D. Energy,25th international lightning detection conference&7th international lightning meteorology conference, march 2018.
- [10]: NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems, 2008 Edition,
- [11]: BS EN/ IEC 62305 Lightning protection standard,Technical reference.
- [12]: Lightning protection guide, To assist in the planning and design of lightning and surge protection systems, OBO Bettermann GmbH & Co. KG, Building Connection, 2016.
- [13]: National Weather Service, National Oceanic and Atomospheric Adminstration, Lightning Safety Awareness Week,US Dept of Commerce,<https://www.weather.gov/iln/lightningsafetyweek>
- [14]:Public safety emergency management, lightning fact,www.discover.pbcgov.org
- [15]:French standard,Lightning Protection,NFC17-102,1995. ■

