



بررسی آسیب‌های ناشی از صاعقه و روشهای کنترل آن

تهیه کننده : سودابه سلیمانی

مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار

پیش درآمد

مهم ترین سرمایه هر جامعه نیروی انسانی فعال آن است و باتکیه بر توان و تفکر این نیرو یک کشور می تواند در جهت توسعه گام بردارد. حال آنکه کمهواره خطرات کوناگون این سرمایه ارزشمند را تهدید می کند. با توجه به این که انرژی برق یکی از اصلی ترین منابع انرژی می رر صنایع می باشد، مخاطرات ناشی از صاعقه خطرات جبران ناپذیری را به بار می آورد. صاعقه از جمله منابع انتقال انرژی الکتریکی به زمین است که می تواند خطرات و آسیب های جدی به همراه داشته باشد.

لذا در راستای وظایف خطیر مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت و بهداشت کار در خصوص حفظ و صیانت از نیروی انسانی، طرح "بررسی آسیب های ناشی از صاعقه و راه های کنترل آن" در زمره فعالیت های تحقیقاتی این مرکز قرار گرفت. مجموعه حاضر به حواله و قوه الهی حاصل تلاش و مطالعات در این خصوص طی ۱۶ ماه می باشد. در این خصوص ضمن تشکر از زحمات ریاست محترم مرکز تحقیقات جناب آقای مهندس مصریان، جادار د از حمایت های بی شائبه جناب آقای مهندس اسکندری معاون محترم تحقیقات این مرکز در اجرای این طرح قدردانی شود.

امید است این طرح گامی هر چند گوناگون در راستای ارتقای فرهنگ ایمنی باشد. ان شاء الله

چکیده

صاعقه پدیده‌ای طبیعی است که سالیانه خسارات مالی و جانی فراوانی ببار می‌آورد. متأسفانه در اکثر کشورها سیستم ثبت اطلاعات مربوط به حوادث ناشی از صاعقه همانند سایر حوادث استاندارد نشده است. علی‌ایحال، آمار موجود نشان می‌دهد که سالیانه ۲۴۰۰۰ حادثه ناشی از صاعقه اتفاق می‌افتد که از این میان در حدود یک سوم آن، حوادث ناشی از کار محسوب می‌شود. خسارت مالی ناشی از صاعقه تنها در ایالات متحده آمریکا سالیانه ۴ الی ۵ میلیارد دلار برآورد شده است.

در این تحقیق ضمن مطالعه ماهیت صاعقه و مشخصات فنی آن، آسیب‌ها و آمار حوادث ناشی از صاعقه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس به روش‌های کنترل خسارات ناشی از صاعقه و برآورد میزان خطر صاعقه اشاره شده است. آمار مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی در سراسر کشور از لحاظ تعداد روزهای همراه با صاعقه برای برآورد میزان خطر ناشی از صاعقه و لزوم سرمایه‌گذاری برای راه‌های کنترلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در نهایت یک روش معمول سیستم صاعقه‌گیر با جزئیات لازم تشریح شده است.

سودابه سلیمانی

رئیس اداره آزمایشگاه حفاظت کار

مقدمه

صاعقه تخلیه الکتریکی قابل مشاهده ناشی از الکتریسیته ساکن انباشته شده در ابرهای طوفانی است که با توجه به شرایط جغرافیایی ایجاد می شود. صاعقه می تواند در ابرها یا بین ابرها یا از ابرها به زمین یا سازه های زمینی رخ دهد. صاعقه یک پدیده طبیعی ناشی از بارهای الکتریکی جدا از هم در ابرهای طوفانی است. ابرهای طوفانی ۵ الی ۱۰ کیلومتر با زمین فاصله دارند و ارتفاع آنها حتی به ۱۲ کیلومتر نیز می رسد. بار الکتریکی ابر از نوع منفی است که همین ابر باری برابر و مخالف بار مذکور روی سطح زمین القا می کند. براساس برآوردهای انجام شده در هر لحظه ۲۰۰۰ رعدوبرق به وقوع می پیوندد که در حدود ۳۰ الی ۱۰۰ صاعقه به زمین برخورد می کند.

طی یک قرن گذشته اطلاعات ثبت شده میزان مرگ و میر و آسیب های ناشی از تغییرات جوی نشان می دهد که همواره صاعقه یکی از سه عامل اصلی مرگ و میر ناشی از تغییرات جوی و همچنین بعد از سیل، دومین عامل مرگ و میر ناشی از طوفان ها بوده است.

سالانه ۲۴۰۰۰۰ حادثه ناشی از صاعقه اتفاق می افتد که از این میان در حدود یک سوم آن حوادث ناشی از کار محسوب می شوند. خسارت مالی ناشی از صاعقه تنها در ایالات متحده امریکا سالانه ۴ الی ۵ میلیارد دلار برآورد شده است .

هدف طرح آشناسازی جامعه صنعتی کشور با پدیده صاعقه و روش های جلوگیری از خسارات ناشی از آن است.

تعیین نقاط بحرانی از نظر برخورد صاعقه با زمین بر اساس نقشه ها و اطلاعات ثبت شده سازمان هواشناسی کشور از دیگر موارد مد نظر این طرح است.

فصل اول – ماهیت صاعقه

جریان‌های سریع هوا باعث می‌شوند که میان ذرات آب، کریستال‌های یخ و ذرات غبار مالش پدید آید و در نتیجه در ابر اصطکاک ایجاد شود. طبق یک قاعده، بارهای الکتریکی مثبت (پروتون‌ها) در بالای ابر تشکیل می‌شوند و بارهای الکتریکی منفی (الکترون‌ها) در پایین ابر. اگر ابر طوفانی از بالای زمین عبور کند، الکترون‌های سطح زمین را دفع می‌کند و آنها را به سطوح زیرین زمین می‌فرستد. این امر سبب می‌شود که یک بار مثبت در سطح زمین زیر ابر ایجاد شود. در اثر جاذبه بین این بارهای مخالف، الکترون‌ها و پروتون‌ها به سمت یکدیگر جذب می‌شوند؛ اما هوا که یک هادی ضعیف الکتریسیته است، به عنوان عایق عمل می‌کند و بارهای الکتریکی را از یکدیگر دور نگه می‌دارد. بار مثبت روی زمین زیر ابر حرکت می‌کند و روی درختان، برج‌ها، ساختمان‌ها و هر شیء بلند که در مسیر است، می‌نشیند.

در یک مدت زمان کوتاه، بار منفی ابر آن قدر افزایش می‌یابد که یک ضربه صاعقه کوتاه پیشرو را به زمین می‌فرستد. اگر این ضربه پیشرو به اندازه $2/4 \text{ m}$ زیر ابر پرتاب شود، الکترون‌ها با اتم‌های هوا برخورد می‌کنند و آن‌ها را می‌شکنند. وقتی اتم‌های هوا شکسته می‌شوند (به اصطلاح هوا یونیزه می‌شود)، به هادی‌های الکتریسیته بهتری تبدیل می‌شوند. اگر تعداد الکترون‌های بیشتری مسیر یونیزه هوا را دنبال کنند، تعداد اتم‌های بیشتری شکسته می‌شوند و بیشتر به سمت زمین منتقل می‌شوند. در همین زمان بار مثبت زمین توسط الکترون‌های پایین رونده جذب و متمرکز می‌شود.

این جذب حتی می‌تواند آن قدر قوی باشد که باعث شود یک ضربه پیشرو از بارهای الکتریکی سطح زمین به سمت بالا فرستاده شود. در اثر برخورد دو فلاش صاعقه (از ابر به زمین و از زمین به ابر)، هوای یونیزه شده از ابر به سمت زمین گسترده شده و مدار الکتریکی کامل می‌شود. اگر چه فقط یک پرتو صاعقه مشاهده می‌شود، در واقع یک ضربه برگشتی از زمین به سمت ابر وجود دارد که خیلی قوی‌تر از ضربه پایین رونده است. حرکت ضربه پایین رونده تقریباً 0.005 ثانیه طول می‌کشد، در حالی که در مورد ضربه برگشتی این زمان فقط $\frac{1}{50}$ زمان فوق (یک ده هزارم 0.0001 ثانیه) است. چندین ضربه کوچک‌تر نیز ممکن است مسیر بین ابر و زمین را طی کند، اما این حرکت‌ها آن قدر سریع اتفاق می‌افتند که به صورت قسمتی از یک شعاع صاعقه مشاهده می‌شوند. مدت زمان بین رسیدن اولین ضربه پیشرو به زمین و آخرین ضربه کوچک تنها کسری از یک ثانیه است.

علاوه بر این ضربه‌های بار الکتریکی از ابر به زمین، صاعقه می‌تواند از ابری به ابر دیگر بجهد و یا در یک ابر از پایین به بالا عبور کند.

آمار نشان داده است که بین ۸ تا ۱۲ میلیون صاعقه در روز اتفاق می‌افتد. صاعقه می‌تواند با سرعت تقریباً $150,000 \text{ km/s}$ حرکت کند و در حین عبور از هوا در زمان یک میلیونیم ثانیه دمای آن را تا 8315 الی 33315 درجه سانتی‌گراد افزایش بدهد.

علیرغم خطرات صاعقه، این پدیده طبیعی فواید قابل توجهی دارد که دو نمونه از

مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱- هر ساله در حدود ۱۰۰ میلیون تن تقویت‌کننده نیتروژنی خاک ارزشمند توسط صاعقه تولید می‌شود و با توجه به نسبت ۴ به ۱ گاز نیتروژن و اکسیژن در هوا، در اثر آزاد شدن انرژی عظیم ضربات صاعقه، تعدادی از اکسیژن‌ها و نیتروژن‌ها با یکدیگر ترکیب شده، NO_x تولید می‌کنند که با باران مخلوط و همراه آن به زمین منتقل می‌شود که در تقویت باروری ریشه گیاهان بسیار مفید است.

۲- صاعقه باعث تبدیل اکسیژن به ازن می‌شود که محافظ زمین در برابر پرتوهای ماوراء بنفش خورشید است. بنفش خورشید است. لذا آنچه مهم است کاهش خطرات ناشی از صاعقه می‌باشد، چرا که کنترل صاعقه امری غیر ممکن است.

فصل دوم - آسیب های ناشی از صاعقه

(۱-۲) انواع آسیب ها

برخورد صاعقه با زمین باعث آسیب هایی می شود که مهم ترین انواع آن ها عبارتند

از:

- ۱- صدمه به سلامت انسان
- ۲- زیان ناشی از عدم سرویس دهی قابل قبول به جامعه
- ۳- زیان میراث فرهنگی غیر قابل جایگزین
- ۴- خسارت های مالی تحمیل شده به فرد و جامعه
- ۵- زیان های معنوی تحمیل شده به فرد آسیب دیده و اعضای خانواده و تبعات آن

(۲-۲) راه های آسیب رساندن صاعقه به انسان ها

براساس میزان حوادثی که در اثر صاعقه اتفاق می افتد ، می توان راه های صدمه زدن صاعقه به افراد را به پنج گروه طبقه بندی نمود.

- ۱- برخورد مستقیم ضربه صاعقه با فرد (تقریباً ۳ تا ۵ درصد حوادث)
- ۲- جرقه جانبی از یک شیء دیگر (تقریباً ۳۰ درصد حوادث)
- ۳- ولتاژ تماسی از طریق تماس با یک شیء که صاعقه به آن برخورد کرده (تقریباً ۱ الی ۲ درصد حوادث)
- ۴- اثر جریان الکتریکی زمین در شرایطی که انرژی صاعقه در سطح زمین تخلیه و پراکنده می شود (تقریباً ۳۰ درصد حوادث)

۵- ضربه بالا رونده صاعقه که با ابر پیشرو برخورد نمی کند و در نتیجه یک کانال صاعقه را تشکیل نمی دهد (تقریباً ۳۰ درصد حوادث)

(۲-۳) صدمات ناشی از صاعقه

معمولاً صدمات ناشی از صاعقه به سختی قابل تشخیص هستند ، مخصوصاً زمانی که فرد حادثه دیده قادر به بیان جزئیات نباشد و هیچ شاهد عینی غیر از او در زمان حادثه در محل حضور نداشته باشند .

مهم ترین تفاوت بین آسیب های ناشی از صاعقه و صدمات ناشی از ولتاژ فشار قوی در مدت زمان قرار گرفتن در معرض جریان الکتریکی است. وقتی صاعقه به سطح بدن شخص برخورد می کند ، انرژی بسیار زیادی (جریان الکتریکی بسیار بزرگی) در مدت زمان بسیار کوتاهی (در حد چند میلی ثانیه) در بدن شخص جاری می شود. صاعقه تماس کوتاهی با پوست دارد و در اکثر موارد تماس آن قدر کوتاه است که باعث سوختگی جدی پوست نمی شود و فقط در حدود یک سوم افرادی که ضربه صاعقه به آنها برخورد کرده ، دچار سوختگی می شوند .

علی ایحال ، در یک طبقه بندی کلی می توان صدمات جانی ناشی از برخورد صاعقه را به شرح ذیل بیان نمود:

۱- مرگ ناشی از صاعقه

مهم ترین عوامل مرگ ناشی از صاعقه عبارتند از : فیبریلاسیون قلب ، اختلال در مراکز تنفسی و مغز و نیز از بین رفتن چند سیستم در بدن که باعث مرگ با تأخیر می شود . قابل ذکر است که طبق آمار بدست آمده فقط ۲۰٪ قربانیان صاعقه بلافاصله می میرند و ۸۰٪ بقیه به دلیل عدم آگاهی از چگونگی درمان افرادی که صاعقه به آن ها برخورد کرده ، از بین می روند.

۲- صدمات قلبی-عروقی

از اهم این صدمات می توان به موارد زیر اشاره نمود:

(۱-۲) تغییرات در نمودار نوار قلب

(۲-۲) عملکرد نادرست قلب

(۳-۲) سندرم مشکلات تنفسی مربوط به عروق

(۴-۲) تغییرات فشار خون در شریان

۳- صدمات عصبی-روانی

ضربات صاعقه اساساً یک ضربه عصبی است که هر سه بخش سیستم عصبی را تحت

تأثیر قرار می دهد.

از مهم ترین صدمات این دسته موارد زیر را می توان نام برد:

(۱-۳) بیهوشی - کما

(۲-۳) حملات عصبی ، گیجی و عصبی شدن

(۳-۳) غیر عادی بودن نمودارهای الکتروانسفالوگرافی

(۴-۳) آسیب های مغزی

(۳-۵) بی حسی و یا ضعف در دست و پاها و یا بی حسی کلی اما موقتی

(۳-۶) دردهای عصبی

(۳-۷) پارکینسون

(۳-۸) صدمات به نخاع

(۳-۹) ناهنجاری‌های خواب و حافظه، از دست دادن تمرکز، زود رنجی، سردردهای مزمن

و افسردگی که می‌تواند حتی منجر به خودکشی شود.

(۳-۱۰) خستگی

۴- سوختگی‌ها

(۴-۱) سوختگی‌های نقاط ورود و خروج ضربه صاعقه

(۴-۲) تماس با فلزات داغی که در اثر حرارت صاعقه دمای آنها بالا رفته است.

(۴-۳) جرقه

۵- شوک‌های شدید و آنی در اثر پرتاب شدن یا سقوط ناشی از برخورد ضربه صاعقه

آسیب‌های وارده به مغز، شش‌ها، روده‌ها و کبد

۶- آسیب‌های حسی

(۶-۱) ناشنوایی

(۶-۲) نابینایی موقت

(۶-۳) اختلال در شبکیه

(۶-۴) کاتاراکت (آب مروارید)

(۲-۴) آمار حوادث ناشی از صاعقه

همواره به دلیل فقدان سیستم ثبتی مناسب در اکثر کشورها ، تفسیر و ثبت آمار بین المللی حوادث ناشی از صاعقه به عنوان چالشی بزرگ مطرح است .

بر اساس آمار بدست آمده ، میزان تقریبی حوادث ناشی از برخورد صاعقه سالانه در حدود ۲۴۰/۰۰۰ مورد می باشد که از این میان ۲۴۰۰۰ مورد منجر به فوت می شود . نرخ مرگ و میر ناشی از صاعقه ۸ الی ۱۰ درصد است و معمولاً حمله قلبی در زمان حادثه عامل اصلی مرگ گزارش شده است .

لازم به ذکر است که آمار فوق الذکر فقط بر اساس اطلاعات موجود می باشد . چه بسا حوادثی رخ می دهد که در هیچ منبعی ثبت نمی شوند . به عنوان مثال ، نتایج حاصل از یک تحقیق در ایالات متحده امریکا نشان داده است که تعداد مرگ و میر ناشی از صاعقه در حدود ۲۸ الی ۴۲ درصد کمتر از میزان واقعی گزارش شده است . یکی از دلایل این امر اتکای آمار حوادث ناشی از صاعقه به داده های ثبت شده در جراید و وسایل ارتباط جمعی است و در نتیجه در مواردی که اخبار برخورد صاعقه به افراد از طریق منابع اعلام نشود یا اصلاً خبری به این منابع گزارش نشود ، داده های مربوط به آن ها در آمار محسوب نمی شوند . از سوی دیگر ، اکثر افرادی که در معرض برخورد ضربه صاعقه قرار می گیرند ، بلافاصله نیاز به مراقبت های پزشکی ندارند . در چنین شرایطی نیز ارتباط بین مشکلات جسمی به وجود آمده و ضربه صاعقه کمتر مد نظر قرار می گیرد و لذا آمار این دسته از حوادث نیز توسط هیچ منبعی ثبت نمی شود.

علی‌ایحال ، آمار حوادث و مرگ و میر ناشی از صاعقه در ایالات متحده نشان می‌دهد که تنها در ۷ ماهه اول سال ۲۰۰۷ ، ۲۶ مورد مرگ ناشی از صاعقه اتفاق افتاده است که ۸۸٪ قربانیان (۲۳ نفر) مرد و ۱۲٪ آن‌ها (۳ نفر) زن می‌باشند.

بیشترین این حوادث (تقریباً ۳۸٪) برای افراد دارای سن بین ۲۰ تا ۲۹ سال اتفاق افتاده است. رده‌های سنی ۱۰ تا ۱۹ سال و ۵۰ تا ۵۹ سال (به ترتیب ۱۹٪ و ۱۵٪) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. این در حالی است که در گروه‌های سنی زیر ۹ سال و بالای ۷۰ سال هیچ مرگ ناشی از صاعقه گزارش نشده است.

باید توجه داشت که تفاوت‌های موجود در آمار بین زنان و مردان و نیز گروه‌های سنی مختلف ، به دلیل تفاوت‌های فیزیولوژیکی نیست ، بلکه یکی از دلایل آن درجه بالای ریسک پذیری مردان نسبت به زنان است . میزان فعالیت‌های خارج از منزل یا مشاغلی که ماهیت آن‌ها ایجاب می‌کند فرد بیشتر در فضای آزاد قرار گیرد، عوامل تعیین‌کننده دیگر در آمار مذکور می‌باشند .

ذکر این مطلب ضروری است که اگر چه در کشورهای توسعه‌یافته ، بیشتر حوادث ناشی از صاعقه در زمان فعالیت‌های خارج از محیط کار از جمله در مکان‌های تفریحی اتفاق می‌افتد، تقریباً یک سوم حوادث ناشی از صاعقه در گروه حوادث شغلی قرار می‌گیرند که این نسبت در کشورهایی که پایه اقتصادی کشاورزی دارند ، به مراتب بالاتر است.

(۲-۵) خسارات مالی ناشی از صاعقه

صاعقه از جنبه‌های مختلف می‌تواند زیان‌های مادی عظیمی در پی داشته باشد که

اهم آن‌ها عبارتند از :

- آتش سوزی جنگل‌ها
 - تخریب ساختمان‌های مسکونی ، اداری و آموزشی
 - از بین رفتن غلات
 - صدمه به سیستم‌های مخابراتی
 - از بین رفتن میراث فرهنگی
 - خسارات بخش حمل و نقل از جمله اسکله‌ها ، هواپیما یا تجهیزات فرودگاهی (قابل ذکر است که سالانه ۲ میلیارد دلار خسارت ناشی از صاعقه در خطوط هوایی و هزینه تأخیر مسافران در ایالات متحده برآورد می‌شود).
 - خسارات وارده به پمپ بنزین‌ها
 - خسارات وارده به تأسیسات و تجهیزات کشاورزی
 - هزینه‌های مربوط به آسیب‌های جانی ناشی از صاعقه
- آمار نشان می‌دهد که تنها ایالات متحده سالانه متحمل ۴ ال ۵ میلیارد دلار ضرر مالی ناشی از صاعقه می‌شود.

باید توجه داشت که هدف ذکر آمار مربوط به ایالات متحده در این بحث تنها اشاره‌ای

به آمار یک منطقه به عنوان مثال و برای تشریح ملموس خسارات ناشی از صاعقه می‌باشد.

آنچه حایز اهمیت است ، توجه به روش های کنترل حوادث و کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از صاعقه می باشد . از جمله عوامل مؤثر در کاهش مرگ و جراحات ناشی از صاعقه می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- ۱- هشدارها و هواشناسی مناسب
 - ۲- تجهیز سازه ها به سیستم های صاعقه گیر مناسب
 - ۳- استحکام ساختمان های مسکونی ، اداری
 - ۴- تغییرات اقتصادی و اجتماعی
 - ۵- پیشرفت در مراقبت های پزشکی و مخابرات
- جالب توجه است که عامل اخیر یعنی مراقبت های پزشکی و مخابرات پیشرفته می تواند خسارات ناشی از صاعقه را تا ۴۰ درصد کاهش دهد. همچنین تحقیقات نشان داده است که آسیب ها و مرگ و میر ناشی از صاعقه در هر کشور ، متناسب با بهبود سیستم اقتصادی ، شهر نشینی و اسکان افراد کاهش می یابد.

فصل سوم – مشخصات فنی صاعقه

(۳-۱) جریان در یک برخورد صاعقه

ارایه محدودده هایی برای عوامل مختلف آسان تر از تشریح فلاش میانگین صاعقه است. با در نظر گرفتن نتایج خسارت، قسمت مهم فلاش صاعقه ، ضربه برگشتی آن است . ضربه برگشتی قسمتی از فلاش صاعقه است که در آن باتری های شارژ شده ابر رعد را به زمین تخلیه می شوند. اندازه جریان ضربه بازگشتی حدوداً بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۰.۰۰۰ آمپر است و شکل توزیع آن به نحوی است که به تناوب در طبیعت اتفاق می افتد . بنابراین به آن توزیع نرمال لگاریتمی می گویند .

توزیع جریان به شکل ذیل صورت می گیرد :

۱٪ از ضربات تا ۲۰۰.۰۰۰ آمپر افزایش می یابد .

۱۰٪ از ضربات تا ۸۰.۰۰۰ آمپر افزایش می یابد .

۵۰٪ از ضربات تا ۲۸۰۰۰ آمپر افزایش می یابد .

۹۰٪ از ضربات تا ۸۰۰۰ آمپر افزایش می یابد .

۹۹٪ از ضربات تا ۳۰۰۰ آمپر افزایش می یابد .

جریان برق در بیشتر فلاش های زمینی از سلول های شارژ شده منفی ابر رعد را ناشی می شود . بنابراین برق فلاش یک جریان منفی از ابر به زمین است . ضمناً به ندرت اتفاق می افتد که ضرباتی از قسمت مثبت ابر به زمین اصابت کند . به هرحال برای هر یک

از دونوع قطبش (+ یا -) انتشار جریان صاعقه در تمامی جهات امکان دارد و زمان صعود این انتشار برای فلاش منفی کمتر از ۱۰ میکرو ثانیه است . (برای فلاش مثبت زمان انتشار طولانی تر است) . سپس این مقدار ضعیف شده و کاهش می یابد و مدت کاهش برای یک ضربه تنها و ساده ۱۰۰ میکرو ثانیه یا کمتر طول می کشد . بعضی از فلاش ها از دو یا چند ضربه تشکیل شده اند که چشم ما آن ها را یک ضربه می بیند ، درحالی که ممکن است ۵۰ الی ۱۰۰ میلی ثانیه از هم فاصله داشته باشند و فلاش های پراکنده چند ضربه ای که بیش از ۱۰ ضربه دارند ، ممکن است تا ۱ ثانیه تداوم یابند .

به منظور طراحی سیستم حفاظتی صاعقه گیر ، سعی می کنند مقدار جریان قلّه صاعقه (ماکزیمم) و میزان افزایش جریان صاعقه را به قطعات زیادی تقسیم کنند .

$$I_{\max} = 200 \text{ KA}$$

$$= 200 \left(\frac{dj}{dt} \right)_{\max} \frac{\text{KA}}{\mu\text{s}}$$

(۲-۳) ولتاژ

قبل از اینکه فلاش اتفاق بیفتد با در نظر گرفتن اینکه بار داخل سلول ۱۰۰ کولن و شعاع سلول کروی معادل یک کیلومتر است ، امکان دارد پتانسیل سلول شارژ شده قابل تخمین باشد . بنابراین ظرفیت خازنی سلول (C) حدود ۱۰ فاراد (F) بوده و منطقی است که فرض کنیم ولتاژ ابر بیش از ۱۰۰ MV است . اگر چه ضربه برگشتی مهم ترین پالس ضربه

صاعقه است ، ضروری است به منظور درک علت آسیب پذیرتربودن ساختمان های بلند نسبت به ساختمان های دیگر، با فرآیند پیش از آن آشنا شویم.

ضربه صاعقه با کاهش قدم به قدم از ابرپیشرو شروع می شود و هرگام چند ده متر در یک زمان است . هنگامی که نوک آخرین قدم ابر پیشرو به حد کافی به زمین نزدیک شد، یک ضربه بالارونده زمین را ترک می کند تا به نوک ابر پیشرو پایین رونده ملحق شود .

شروع جریان ضربه بالا رونده بستگی به یک میدان بحرانی دارد که در نقطه انتشار زمین زیاد شده است و بنابراین تابعی است از بار فرود آمده توسط ابر پیشرو و هر نوع افزایش میدان که توسط شکل هندسی زمین ایجاد شده است . طول ضربه بالا رونده برای بارهای بزرگ تر طولانی تر خواهد بود و در نتیجه فلاش های جریان بالا به دلیل بالا بودن گسترش میدان ، ترجیحاً از سازه های بلند شروع خواهند شد .

فصل چهارم - اثرات ضربه صاعقه

(۴-۱) اثرات الکتریکی

در اثر تخلیه جریان صاعقه روی مقاومت الکتروود زمین سیستم صاعقه گیر، افت ولتاژ مقاومتی ایجاد می‌شود که ممکن است باعث افزایش آنی پتانسیل سیستم حفاظتی به مقدار بالایی نسبت به زمین واقعی شود. همچنین ممکن است در اطراف الکتروود زمین پتانسیل گرادیان (شیب) بالا و خطرناکی برای انسان و حیوان ایجاد کند. ضمناً اندوکتانس سیستم حفاظتی نیز باید به خاطر لبه پیشرو پالس صاعقه بررسی شود. افت ولتاژ در سیستم حفاظتی صاعقه، نتیجه جمع حسابی ولتاژ دارای مقاومت اهمی و مقاومت سلفی (اندوکتانس) تجهیزات سیستم است.

(۴-۲) جرقه جانبی

نقطه برخورد ضربه صاعقه روی سیستم حفاظتی می‌تواند باعث ایجاد پتانسیل بالا نسبت به فلز مجاور شود. بنابراین امکان خطر جرقه زنی از سیستم حفاظتی به هر فلز دیگر که رو یا داخل سازه قرار دارند، وجود دارد. در صورت بروز چنین اتفاقی بخشی از جریان صاعقه روی قسمت‌های داخلی مانند لوله‌ها و سیم‌کشی‌ها تخلیه می‌شود و به این ترتیب جرقه زنی خطری را متوجه ساکنین و اسکلت ساختمان می‌کند.

(۳-۴) اثرات گرمایی

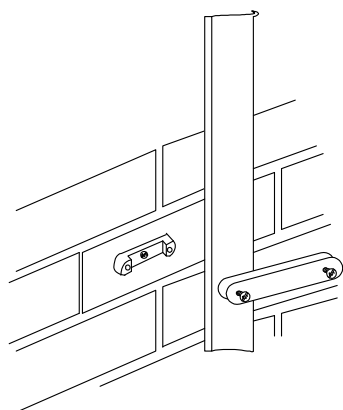
تنها اثر گرمایی تخلیه صاعقه با هدف محافظت از صاعقه ، افزایش دمای هادی جریان صاعقه است . اگرچه جریان زیاد است ولی مدت عبور آن کوتاه است و اثر گرمایی روی سیستم محافظتی معمولاً کم اهمیت می باشد .

به طور کلی سطح مقطع هادی صاعقه گیر طوری انتخاب می شود که از نظر استحکام مکانیکی در حد قابل قبولی باشد . بدین معنی که هادی باید به اندازه ای قطور باشد که بتواند افزایش دمای یک درجه سانتیگراد را بگیرد .

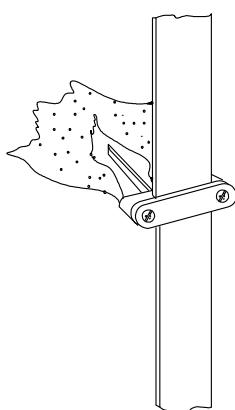
برای مثال مسی که سطح مقطع آن ۵۰ میلی متر مربع است ، هر متر آن کمتر از ۴۰۰ ژول از یک ضربه جدا شده ۱۰۰ کیلو آمپری با مدت زمان ۱۰۰ میکرو ثانیه را پخش می کند و در نتیجه باعث افزایش دمایی در حدود یک درجه سانتی گراد می شود. جایگزینی فولاد با مس سبب افزایش کمتر از ۱۰ درجه سانتی گراد می شود.

(۴-۴) اثرات مکانیکی

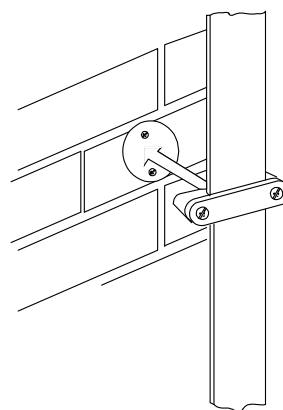
جایی که در طول هادی های موازی نزدیک هم یا روی یک هادی با خمیدگی تند ، جریان زیادی تخلیه می شود، فشارهای مکانیکی قابل ملاحظه ای ایجاد می گردد. بنابراین دارا بودن استحکام مکانیکی مطمئن ضروری است. (به شکل ۱ و جدول ۱ مراجعه کنید) .



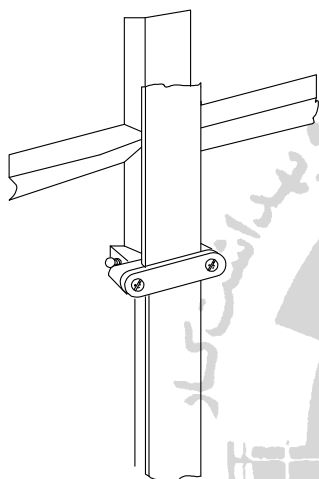
(الف)



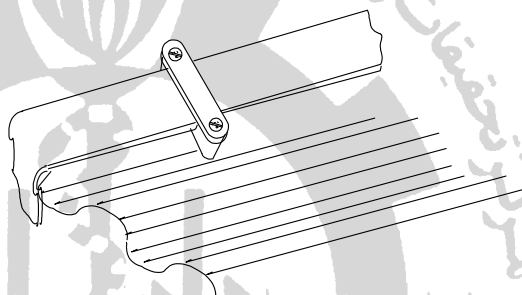
(ب)



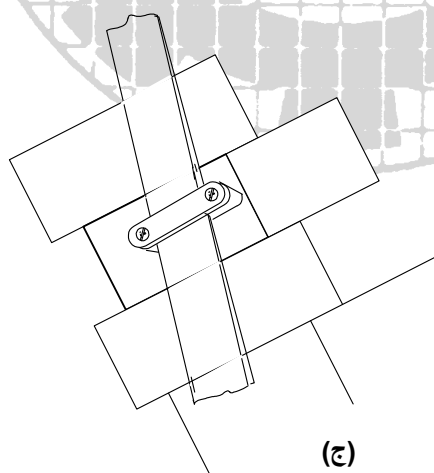
(پ)



(ت)



(ث)



(ج)

شکل ۱- روش‌های مختلف اتصال هادی صاعقه گیر

اثر مکانیکی متفاوتی که توسط فلاش صاعقه ایجاد می‌شود، به دلیل افزایش ناگهانی 30000 درجهٔ کلوین در دمای هواست که منجر به گسترش انفجار در هوای مجاور کانالی می‌شود که این بار در طول آن نفوذ می‌کند. این امر به این دلیل است که وقتی ضریب هدایت فلز در اثر عبور جریان صاعقه تغییر می‌یابد، انرژی در حدود یکصد برابر افزایش پیدا می‌کند.

از طریق ضربهٔ بازگشتی توانی با قلهٔ تقریبی 100 مگا وات در دقیقه (100 MW/min) می‌تواند حاصل شود و موج شوک نزدیک به این ضربه به سهولت قادر است پوشش‌های یک سقف را از جا بکند.

به طور مشابه، با ایجاد یک فلاش جانبی داخل ساختمان، موج شوک می‌تواند به اسکلت ساختمان آسیب برساند.

جدول ۱- مراکز توصیه شده برای محکم کردن هادی‌ها

تراز محکم کردن (mm)	ترتیب قرار گرفتن هادی
۱۰۰۰	هادی‌های افقی روی سطوح افقی
۵۰۰	هادی‌های افقی روی سطوح عمودی
۱۰۰۰	هادی‌های عمودی
۷۵۰	هادی‌های عمودی بلندتر از ۲۰ متر
۵۰۰	هادی‌های عمودی بلندتر از ۲۵ متر

فصل پنجم - برآورد خطر صاعقه

(۵-۱) نیاز برای محافظت

سازه‌های انفجاری بالقوه خطرناک مانند کارخانه‌های مواد منفجره، انبارهای دایمی و موقت و مخازن سوخت معمولاً به سیستم حفاظتی صاعقه با بالاترین کلاس ممکن نیاز دارند. سؤالی که باقی می‌ماند این است که آیا محافظت ضروری است یا خیر؟ در بسیاری از حالت‌ها ممکن است نیاز برای محافظت خود به خود معلوم باشد. به عنوان مثال می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- الف) در مکان‌هایی که جمعیت زیادی تجمع می‌کنند.
- ب) در مکان‌هایی که خدمات عمومی ضروری ارائه می‌شود.
- پ) در مناطقی که صاعقه شایع و متداول است.
- ت) در مکان‌هایی که سازه‌های خیلی بلند یا مجزا وجود دارند.
- ث) در مکان‌هایی که سازه‌های تاریخی یا فرهنگی مهمی وجود دارد.
- ج) در شرایطی که ساختمان‌ها حاوی تانکرهای مواد منفجره یا مواد آتش‌زا هستند.

به هر حال حالت‌های زیادی وجود دارند که تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها چندان آسان نیست. در این صورت باید عوامل گوناگون تأثیرگذار بر خطر ضربه صاعقه و نیز آثار ناشی از ضربه‌های منتجه بعدی بررسی شوند.

اما ارزیابی خطر انفجار (خطر سازه ای که مورد اصابت صاعقه قرار می گیرد) را با در نظر گرفتن عوامل ذیل می توان انجام داد:

۱ - استفاده از کدام سازه مطرح است ؟

۲ - طبیعت ترکیب ساختمان

۳ - ارزش محتوا یا آثار مهم

۴ - موقعیت سازه

۵ - ارتفاع سازه (در حالت ترکیب سازه ها ، ارتفاع سرتاسری)

(۵ - ۲) برآورد خطر انفجار

احتمال برخورد صاعقه با اسکلت یا سازه در هر سال ، نتیجه چگالی فلاش صاعقه و سطح تجمع مؤثر سازه است . منظور از چگالی فلاش صاعقه ، N_g ، تعداد فلاش هایی است که در طول یک سال به یک کیلومتر مربع (km^2) زمین اصابت کرده است . مقدار N_g به میزان قابل ملاحظه ای تغییر می کند .

سطح تجمع مؤثر یک سازه ، منطقه ای از نقشه سازه است که در تمامی جهات گسترش یافته است . لبه سطح تجمع مؤثر ، لبه ای است که نسبت به دیگر لبه های هم تراز در آن منطقه بلند تر است . بنابراین ، برای یک سازه مستطیلی به طول L ، به عرض W و ارتفاع H (برحسب متر) ، طول تجمع ($L + 2H$) متر و عرض ($W + 2H$) متر با چهارگوشه گرد شده است که گردی هر گوشه به اندازه یک چهارم گردی دایره ای با شعاع

H (برحسب متر) است. از حالت مذکور یک منطقهٔ تجمعی حاصل می‌شود (A_c) که

از فرمول ذیل بر حسب متر مربع به دست می‌آید:

$$A_c = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

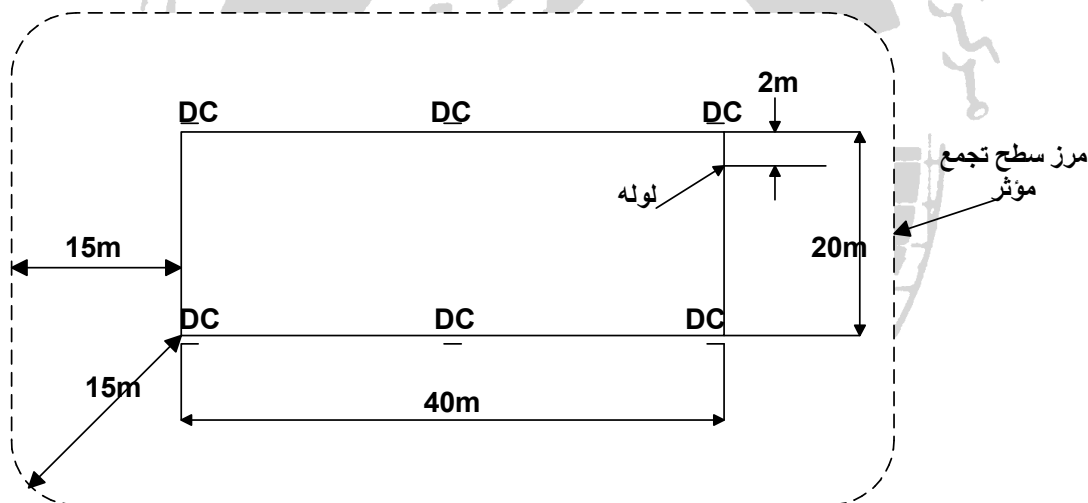
فرمول یاد شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

تعداد خطرات احتمالی سالانه برای ساختمان (P) از رابطهٔ ذیل به دست می‌آید:

$$P = A_c \times N_g \times 10^{-6}$$

ابتدا باید تصمیم‌گیری شود که آیا خطر (P) قابل قبول است یا اینکه تصور می‌شود

بعضی از برآوردهای حفاظتی ضروری است؟



شکل ۲- پلان سطح تجمع مؤثر

(۵-۳) خطراتی که با زندگی روزانه عجین هستند .

به طور کلی ، خطرات بزرگتر از 10^{-3} (یک در ۱۰۰۰) در سال غیر قابل قبول در نظر گرفته می شود . با خطراتی معادل 10^{-4} (یک در ۱۰۰۰۰) در سال ، هزینه کردن پول دولت برای حذف علل خطرات یا تخفیف آثار آن طبیعی خواهد بود . خطرات کمتر از 10^{-5} (یک در صد هزار) در کل قابل قبول در نظر گرفته می شود . البته باید توجه داشت که هزینه کردن دولت برای طرح‌های آموزشی جهت مقابله با خطرات غیرقابل اجتناب همواره مفید واقع خواهد شد.

(۵-۴) ارزیابی کلی از خطر

با داشتن مقدار P (تعداد ضربات احتمالی به سازه در سال)، قدم بعدی اعمال فاکتورها (ضرایب) وزنی است ، همان طور که در جدول‌های ۲ تا ۶ آمده است . این عمل با ضرب کردن P به عوامل احتمالی برای تعیین اینکه آیا ضریب خطر کلی از مقدار قابل قبول $P_o = 10^{-5}$ در سال تجاوز می کند یا خیر ، انجام می شود .

(۵-۵) ضرایب وزنی Weighting Factors

در جداول ۲ الی ۶ ، مقدار ضرایب وزنی در ذیل تیتروهای A تا E بیان شده است و این عوامل به میزان نسبی اهمیت یا خطر دلالت دارد .

جدول شماره ۴ ضریب وزنی آثار به دست آمده را نشان می‌دهد. اثر مقدار اجزای یک سازه روشن است و مفهوم **اثرات حاصله** نه تنها خطرات مواد نسبت به کالاهای خاصیت آن‌ها را پوشش می‌دهد، بلکه مواردی مانند فروپاشی همه انواع سرویس‌های ضروری مخصوصاً سرویس بیمارستان‌ها را نیز در بر می‌گیرد.

خطر برای زندگی مردم معمولاً خیلی کوچک است، اما اگر ساختمانی ضربه ببیند، طبیعتاً آتش سوزی یا وحشت زدگی رخ می‌دهد. بنابراین تمام اقدامات ممکن برای کاهش این آثار به ویژه در مورد کودکان، افراد مسن و بیماران باید انجام شود. برای ساختمانهای چند منظوره، مقدار ضریب وزنی A برای بیشترین موارد استفاده باید اعمال شود.

جدول ۲- ضریب وزنی A در مورد سازه‌ها

نوع سازه	مقدار ضریب A
منازل مسکونی	۰/۳
کارخانه‌ها، کارگاه‌ها و آزمایشگاه‌ها	۱/۰
ساختمان‌های اداری، هتل‌ها، آپارتمان‌ها و موارد مشابه	۱/۲
مکان‌های عمومی تجمع مردم مانند سالن‌های تئاتر، موزه‌ها، نمایشگاه‌ها، فرودگاه‌ها و سازه‌های استادیوم‌های ورزشی	۱/۳
مدارس، مهدکودک‌ها و بیمارستان‌ها	۱/۷

جدول ۳- ضریب وزنی B بر حسب نوع سازه

نوع سازه	مقدار ضریب B
قاب فولادی با سقف غیر فلزی	۰/۲
بتون آرمه با سقف غیر فلزی	۰/۴
قاب فولادی یا بتون آرمه با سقف فلزی	۰/۸
آجر، کاهگل یا سیمان ساده با سقف غیر فلزی	۱/۰
چوبی با سقف غیر فلزی	۱/۴
آجر، کاهگل، چوبی یا سیمان ساده با سقف فلزی	۱/۷

جدول ۴- ضریب وزنی C بر حسب اثرات نتیجه و اجزای داخل سازه

اثرات نتیجه	مقدار ضریب C
ساختمان‌های اداری معمولی، کارخانه‌ها یا کارگاه‌هایی که در بر گیرنده تجهیزات خاص و با ارزش نیستند	۰/۳
ساختمان‌های صنعتی و کشاورزی که درون آن‌ها مواد آتشگیر وجود دارد	۰/۸
پمپ بنزین‌ها، تأسیسات گازی، ایستگاه‌های رادیو و مخابراتی	۱/۰
ساختمان‌های تاریخی و میراث فرهنگی، موزه‌ها، مکان‌های صنعتی کلیدی و سایر مکان‌هایی که اشیاء و تجهیزات با ارزش در آن‌ها نگهداری می‌شوند.	۱/۳
مدارس، بیمارستان‌ها، مهدکودک‌ها، پرورشگاه‌ها و مکان‌های تجمع عمومی	۱/۷

جدول ۵- ضریب وزنی D (درجه ایزولاسیون)

مقدار ضریب D	درجه ایزولاسیون
۰/۴	سازه‌های بنا شده در یک محل وسیعی که در اطراف آن ساختمان‌ها یا درختانی با ارتفاع برابر خود سازه یا بلندتر مانند جنگل یا یک منطقه مسکونی وسیع وجود داشته باشند
۱/۰	سازه‌های بنا شده در محلی که در اطراف آن‌ها ساختمان یا درخت هم ارتفاع با آن‌ها وجود نداشته باشد.
۲/۰	سازه‌های کاملاً ایزوله به طوری که حداقل فاصله آن‌ها از سازه‌ها یا درختان مجاور دو برابر ارتفاع آن‌ها باشد.

جدول ۶- ضریب وزنی E (مخصوص مکن‌های خارج از شهر)

مقدار ضریب E	نوع محل
۰/۳	مکان‌های مسطح با هر ارتفاعی
۱/۰	روی تپه
۱/۳	روی کوه‌ها با ارتفاع بین ۳۰۰ و ۹۰۰ متر
۱/۷	روی کوه‌ها با ارتفاع بالای ۹۰۰ متر

(۵-۶) تفسیر ضریب خطر کلی

در ارزیابی ضریب خطر، اگر نتیجه حاصله به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از 10^{-5} (یک در صد هزار) باشد، سیستم حفاظتی ضروری به نظر می‌رسد. اما اگر نتیجه از 10^{-5} بزرگ‌تر باشد، مثلاً 10^{-4} باشد (یک در ده هزار)، پس باید دلایل دیگری برای تصمیم‌گیری در مورد عدم نیاز به حفاظت وجود داشته باشد.

اگر اثرات حاصله کوچک باشند و اثر یک ضربه صاعقه به احتمال قوی خطری جزیی برای اسکلت سازه داشته باشد، ممکن است صرف هزینه حفاظت چندان اقتصادی نباشد، اما باید خطر را پذیرفت. وقتی چنین تصمیمی گرفته می‌شود، باید توجه داشت که هنوز هم انجام محاسبه با ارزش است، چون بعضی معتقدند که احتمال خطر وجود دارد.

سازه‌ها آن قدر متنوع هستند که هر روش ارزیابی منجر به نتیجه‌ای خلاف قاعده می‌شود و کسانی که مجبور به تصمیم‌گیری در مورد حفاظت هستند، باید نظریه‌های مختلف را آزمایش کنند. مثلاً یک ساختمان با اسکلت بندی فولادی که در آن مجموع یک پایانه هوایی و سیستم اتصال زمین، حفاظت گسترده نسبتاً بزرگی ایجاد می‌کند، ممکن است ضریب خطر پایینی داشته باشد، لذا هزینه انجام آن می‌تواند قابل ملاحظه باشد.

گاه ممکن است یک ضریب خطر پایین برای دودکش‌ها (یا لوله‌ها) ساخته شده از آجر و بتون به دست آید. به هر حال، در جاهایی که لوله‌ها (دودکش‌ها) آزاد هستند یا در مکان‌هایی که از آن‌ها برای ارتفاع بیش از ۴/۵ متر بالای سازه و متصل به آن استفاده می‌شود، بدون توجه به ضریب خطر، نیاز به حفاظت خواهند داشت. بنابراین چنین لوله‌هایی با روش ارزیابی سنجیده نمی‌شوند. بطور مشابه، سازه‌های شامل اجزای آتش‌گیر یا قابل انفجار، باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

(۵-۷) مثالی از محاسبه ضریب خطر کلی

یک بیمارستان ۱۰ متر ارتفاع دارد و مساحتی برابر $70m \times 12m$ را در بر می‌گیرد. بیمارستان در یک محل مسطح واقع شده و از سازه‌های دیگر جداست. ساختمان از آجر و بتون سقفی غیر فلزی ساخته شده است.

برای تعیین اینکه حفاظت در برابر صاعقه مورد نیاز است یا خیر، ضریب خطر کلی به

صورت ذیل محاسبه می‌شود:

الف) تعداد فلاش‌ها در هر کیلومتر مربع در یک سال :

فرض می‌شود که مقدار N_g برابر 0.6 فلاش در هر کیلومتر مربع در یک سال است.

ب) سطح تجمع :

با استفاده از معادله اول در $(5-2)$ ، سطح تجمع A_c برحسب متر مربع به صورت ذیل

محاسبه می‌شود :

$$A_c = (70 \times 12) + 2(70 \times 10) + 2(12 \times 10) + (\pi \times 100)$$

$$A_c = 840 + 1400 + 240 + 314$$

$$A_c = 2794 m^2$$

پ) احتمال وجود ضربه

با استفاده از دومین معادله در $(5-2)$ ، تعداد برخوردهای احتمالی در هر سال)

(P) از رابطه ذیل به دست می‌آید :

$$P = A_c \times N_g \times 10^{-6}$$

$$P = 2794 \times 0.6 \times 10^{-6}$$

$$P = 1.7 \times 10^{-3} \quad (\text{تقریبی})$$

ت) اعمال ضرایب وزنی

ضرایب وزنی زیر اعمال می‌شوند :

A = ضریب $1/7$

B = ضریب $1/0$

C = ضریب $1/7$

D = ضریب $2/0$

E = ضریب $0/3$

ضریب کلی = $1/7$

بنابراین ضریب خطر کلی برابر است با :

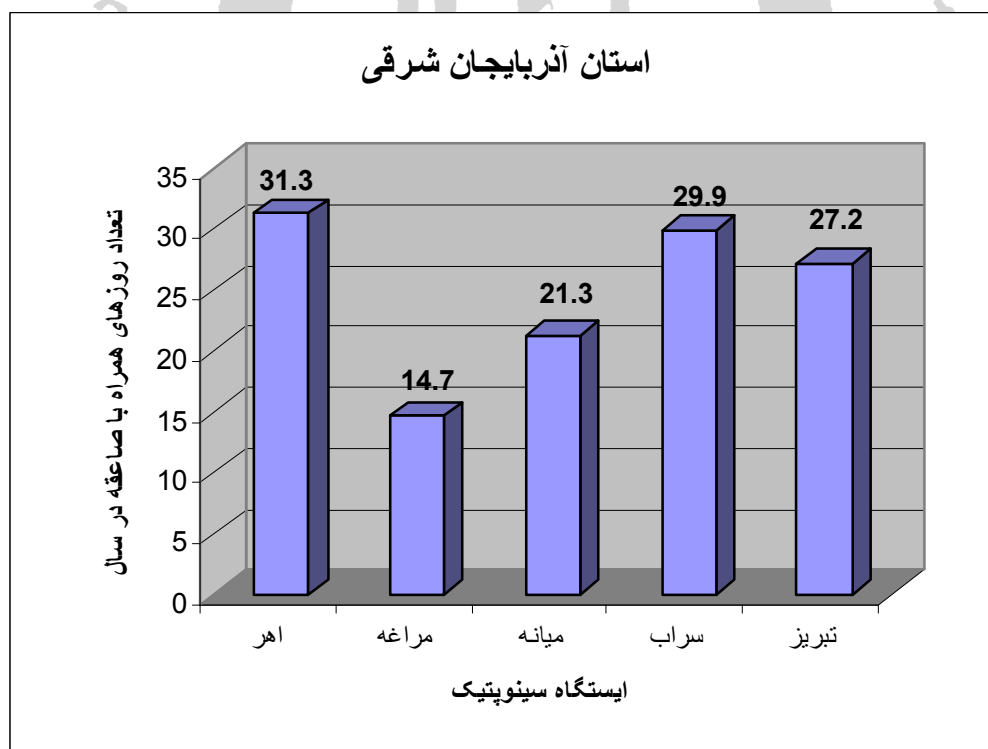
ضریب خطر کلی $= 1/7 \times 1/7 \times 10^{-3} = 2/9 \times 10^{-3}$

فصل ششم – آمار و نمودارهای مربوط به صاعقه در ایران

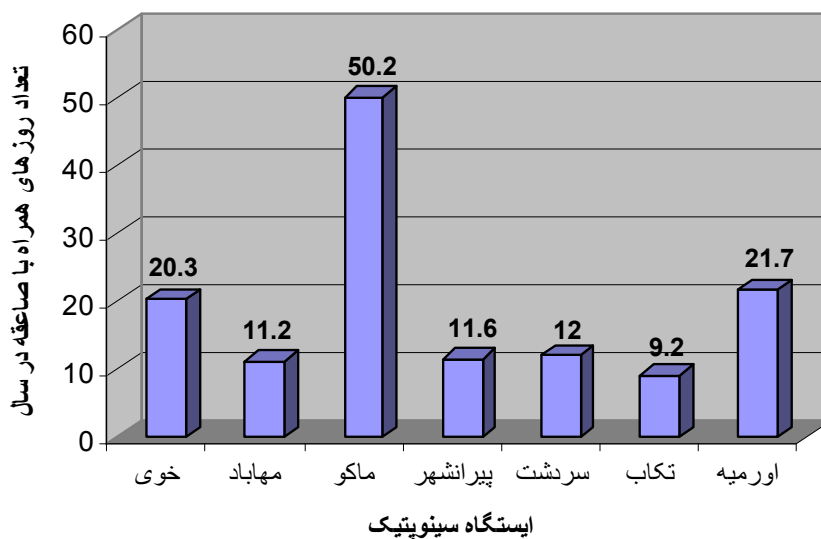
در فصل پیش بیان شد که برای برآورد خطر ناشی از صاعقه اطلاعات مربوط به تعداد روزهای همراه با صاعقه و میانگین تعداد فلاش‌های صاعقه که در یک سال بر یک کیلومتر مربع در یک منطقه با زمین برخورد می‌کند، مورد نیاز است.

بر این اساس طی تحقیقات بعمل آمده در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی ایران، فقط میانگین تعداد روزهای همراه با صاعقه در دسترس می‌باشد و آماری از میانگین سالیانه تعداد فلاش‌های صاعقه موجود نیست.

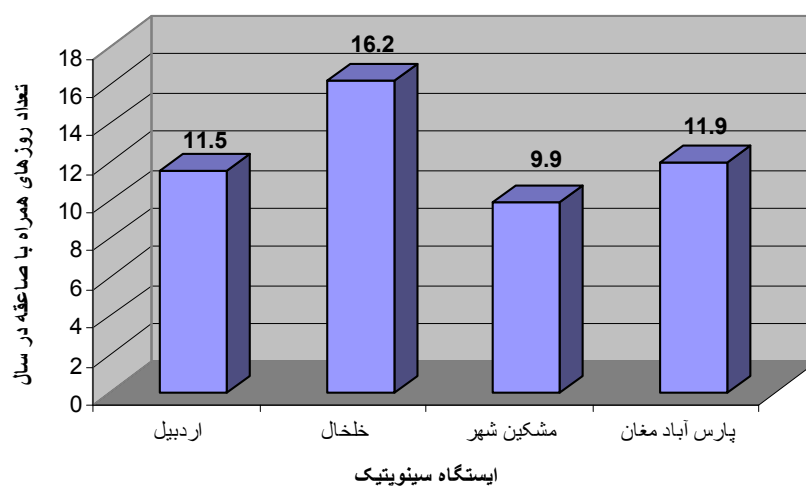
علی‌ایحال، نمودار میانگین روزهای همراه با صاعقه در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی ایران به تفکیک استان به شرح ذیل بدست آمده‌اند.

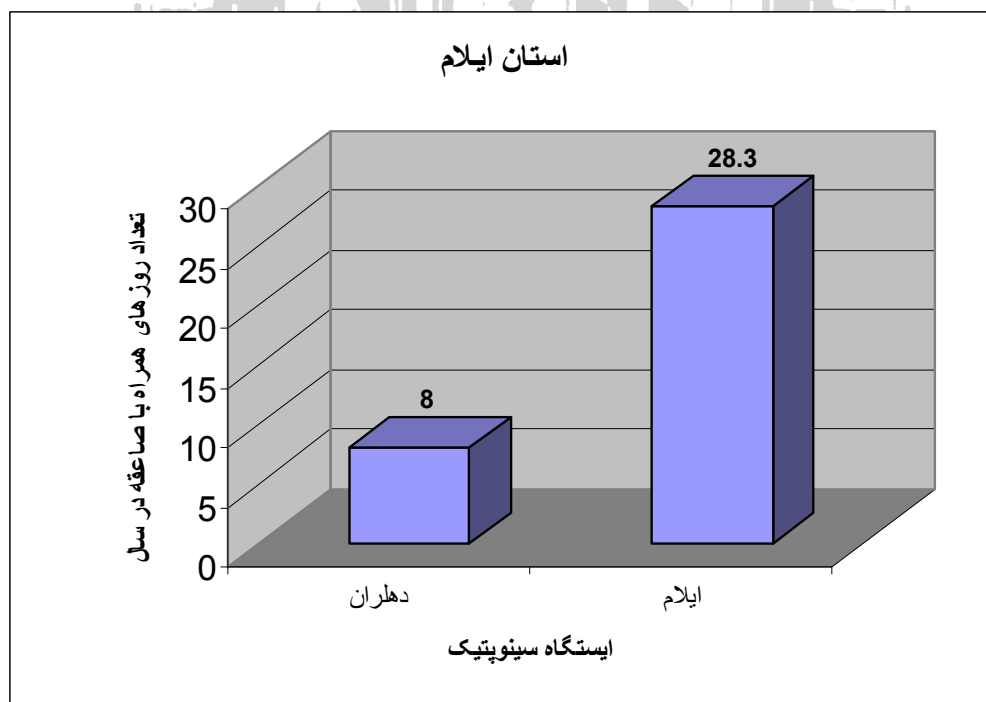
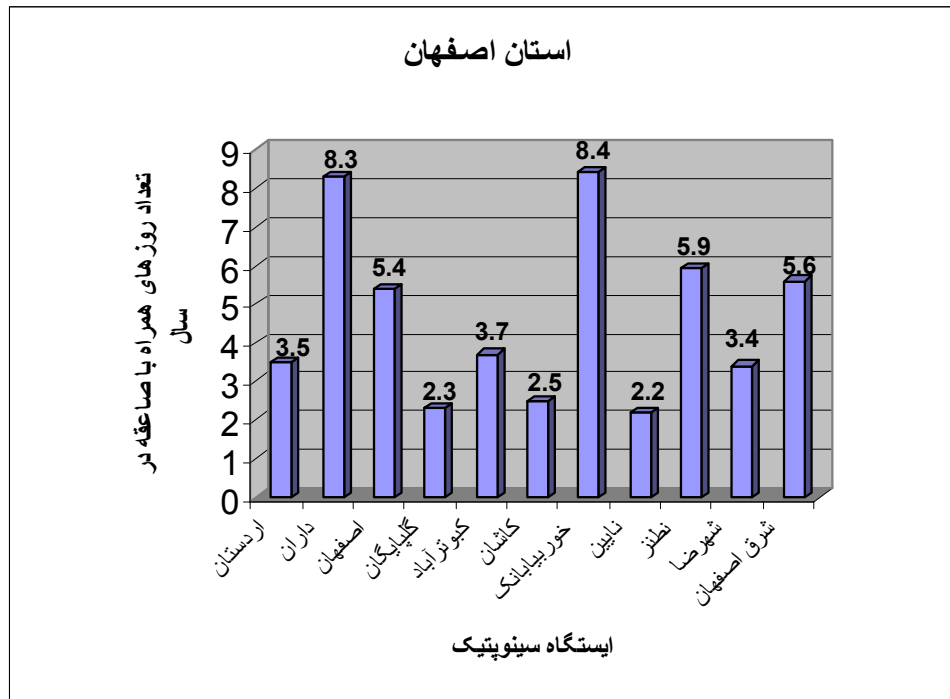


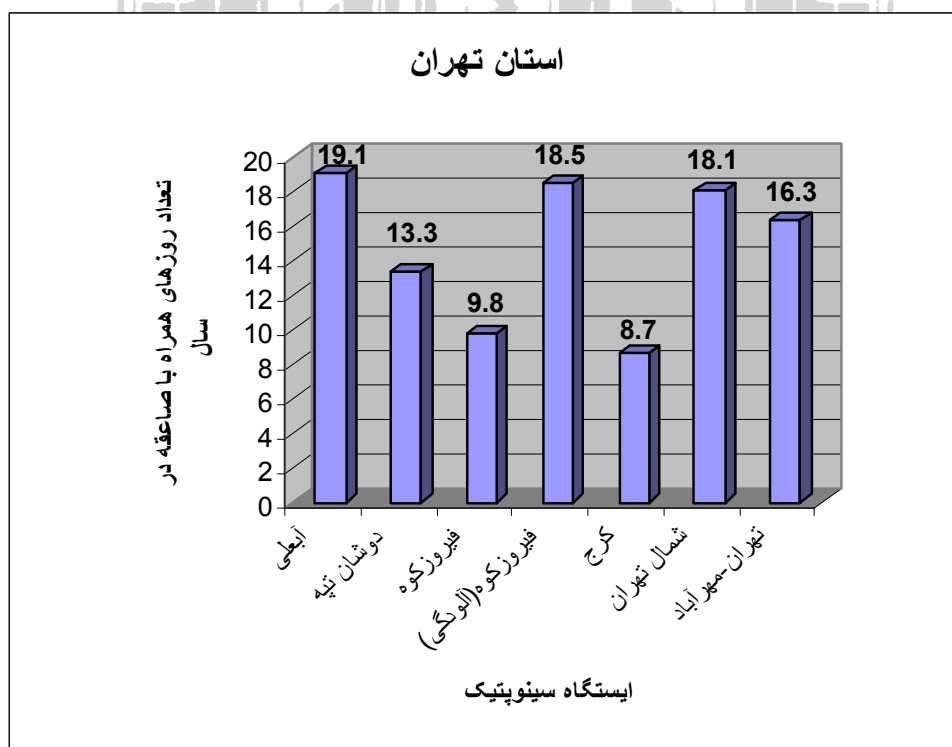
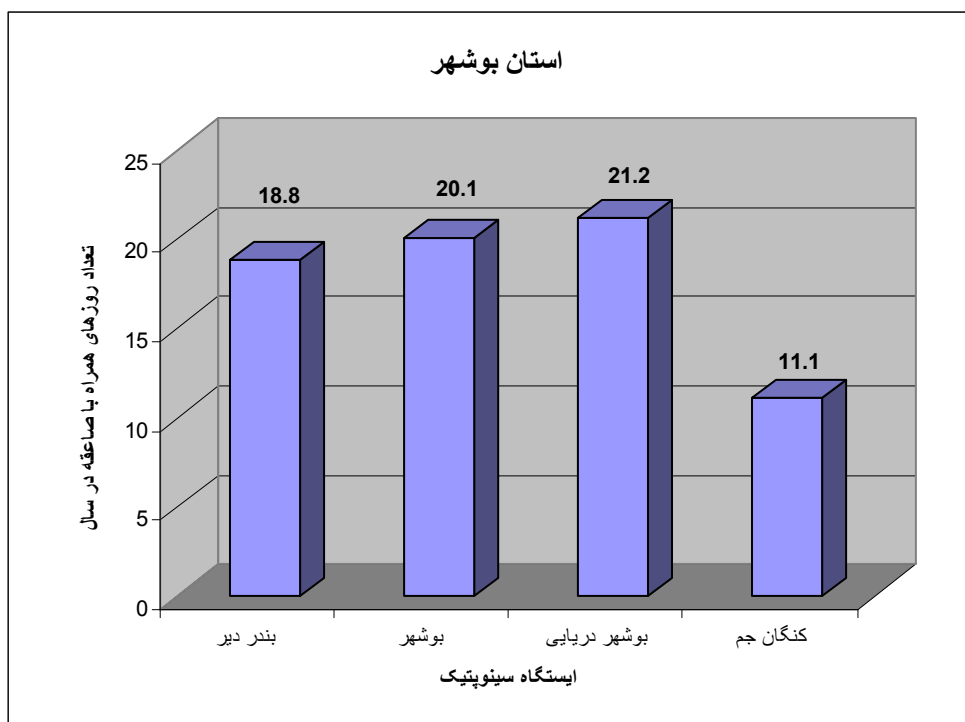
استان آذربایجان غربی



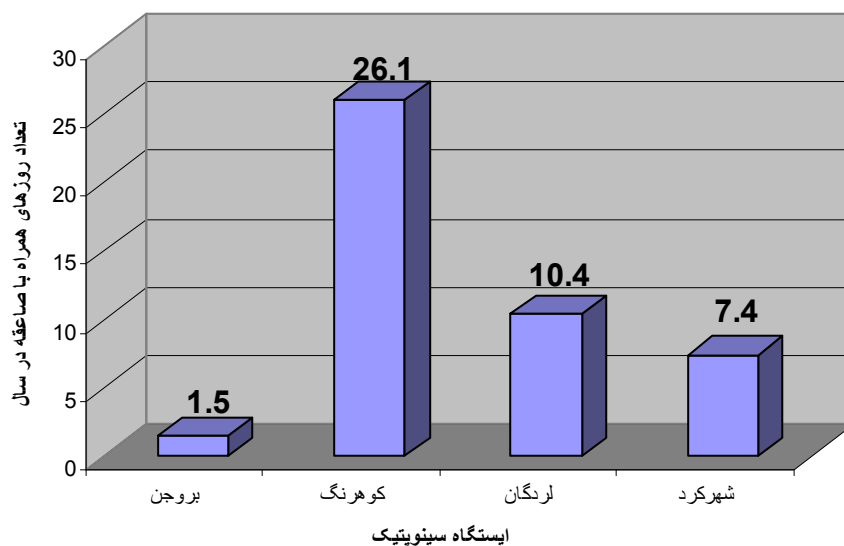
استان اردبیل



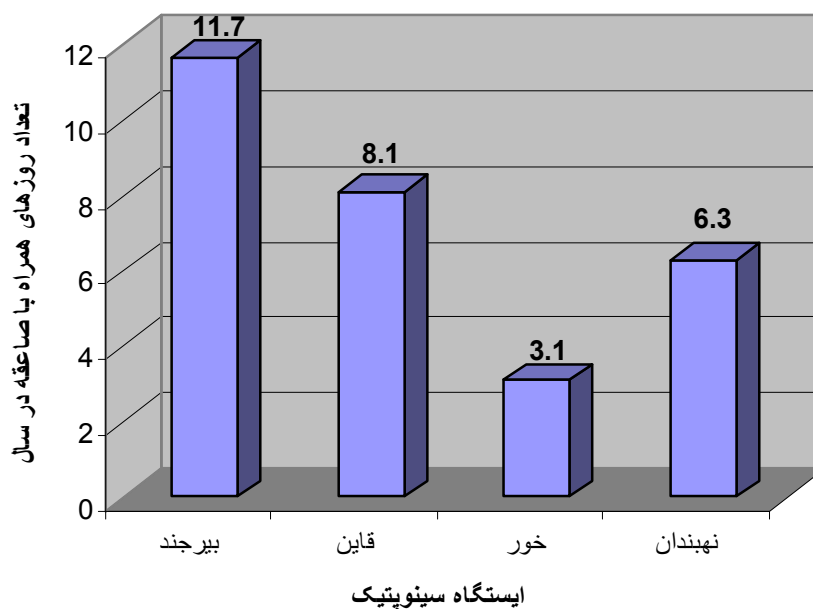


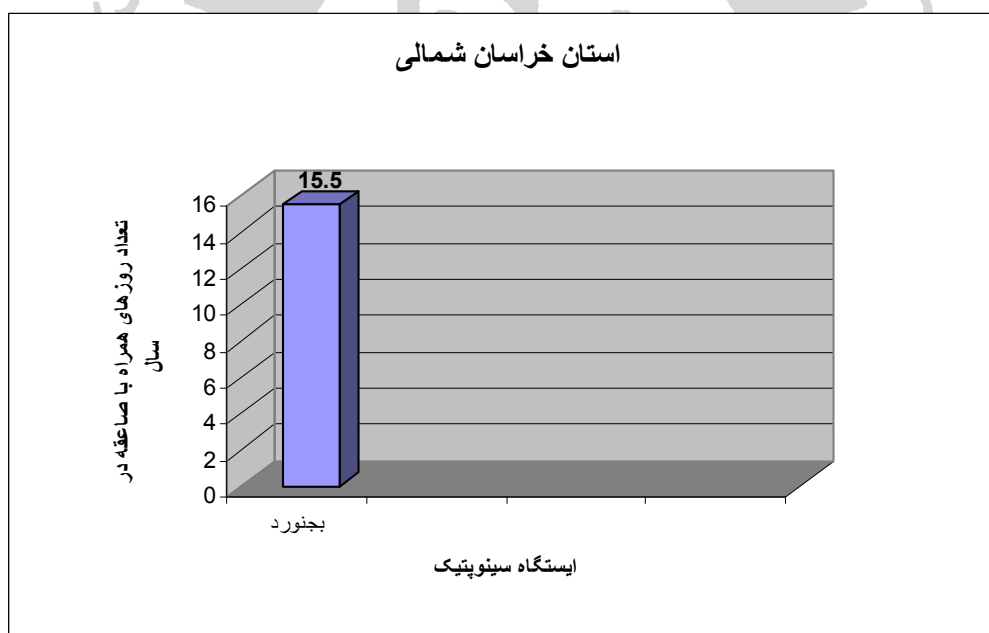
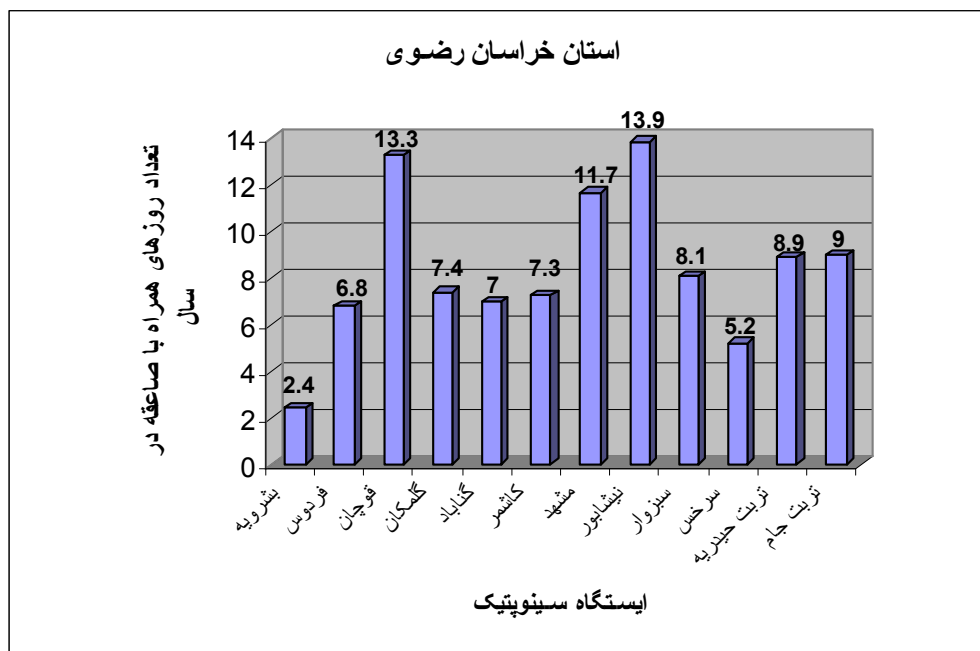


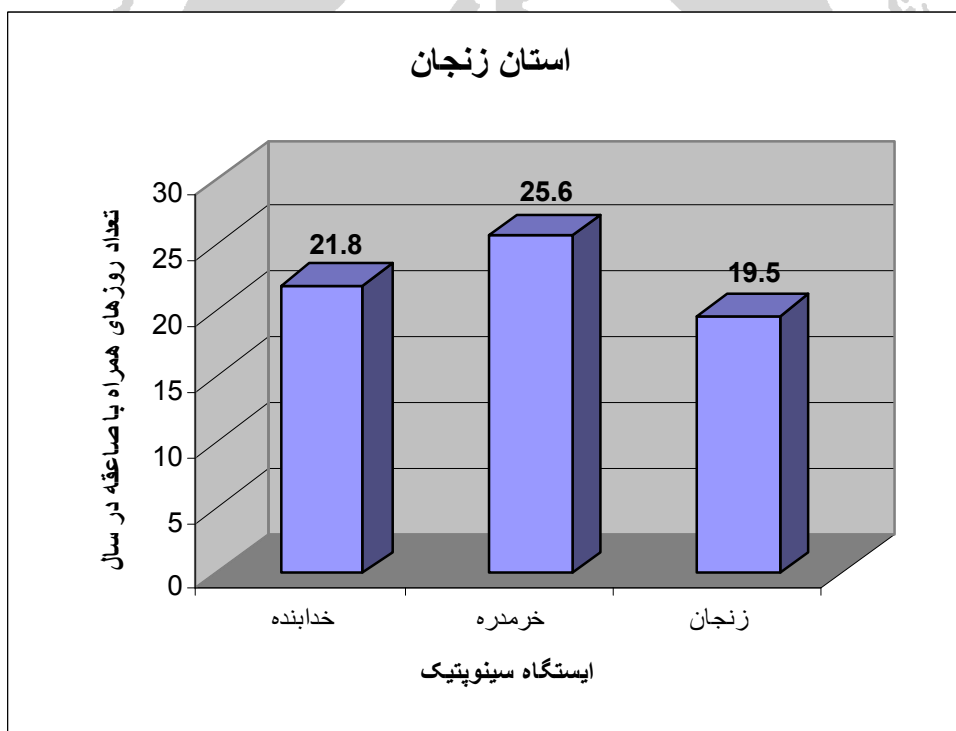
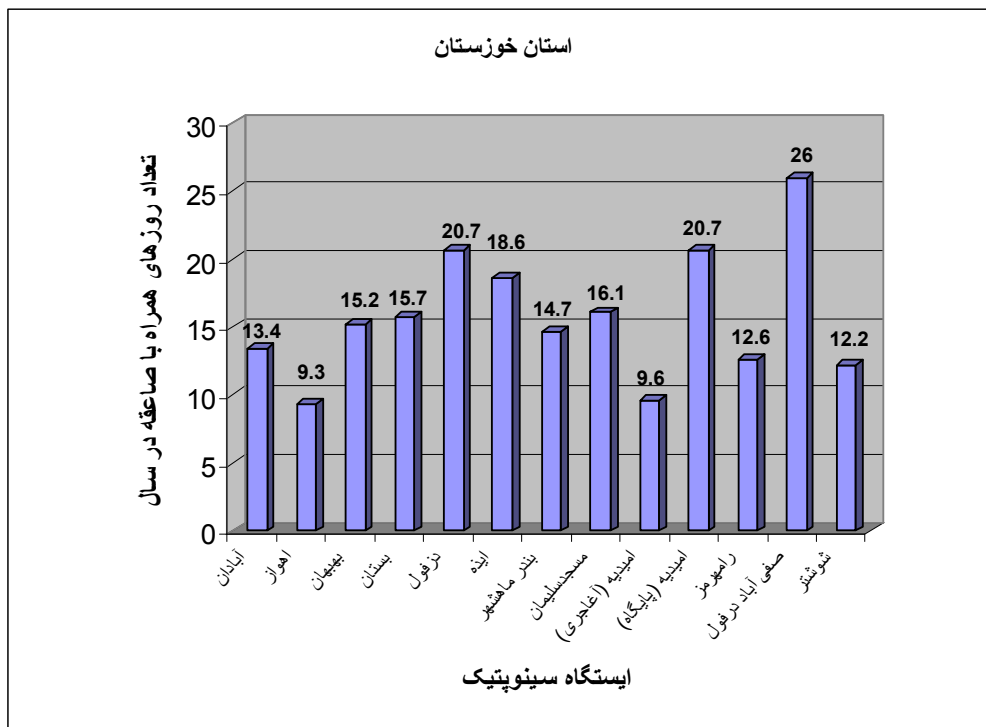
استان چهارمحال و بختیاری



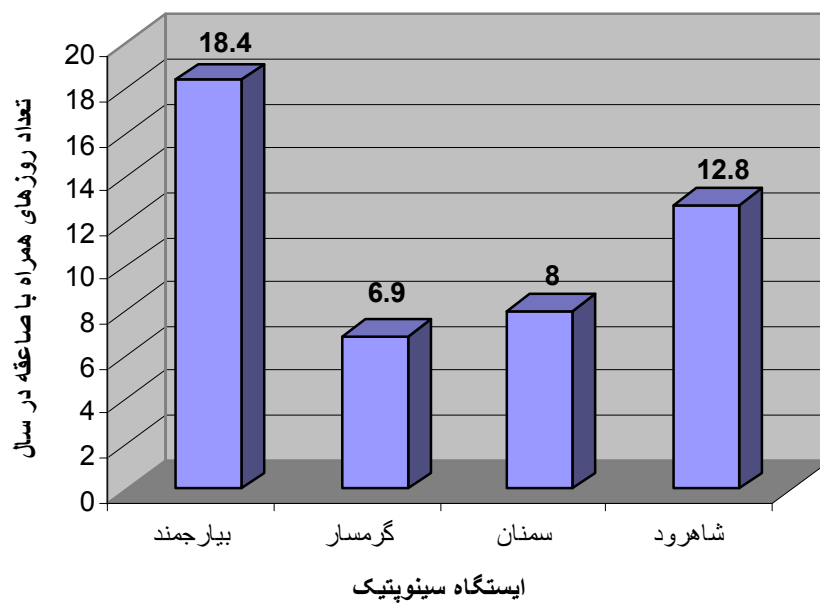
استان خراسان جنوبی



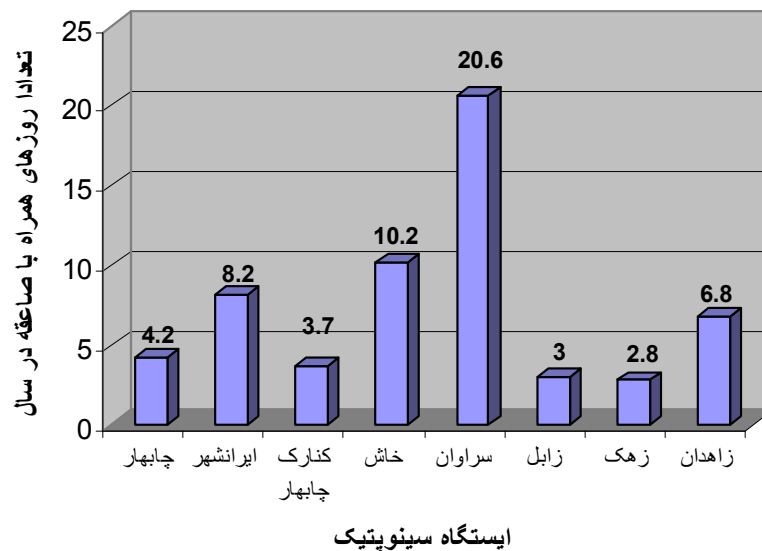


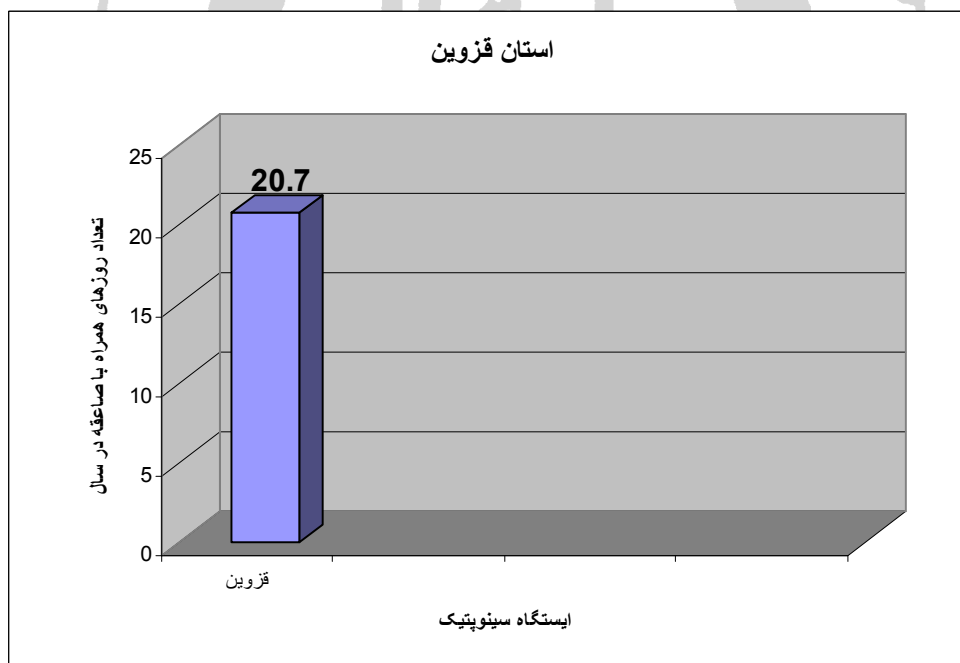
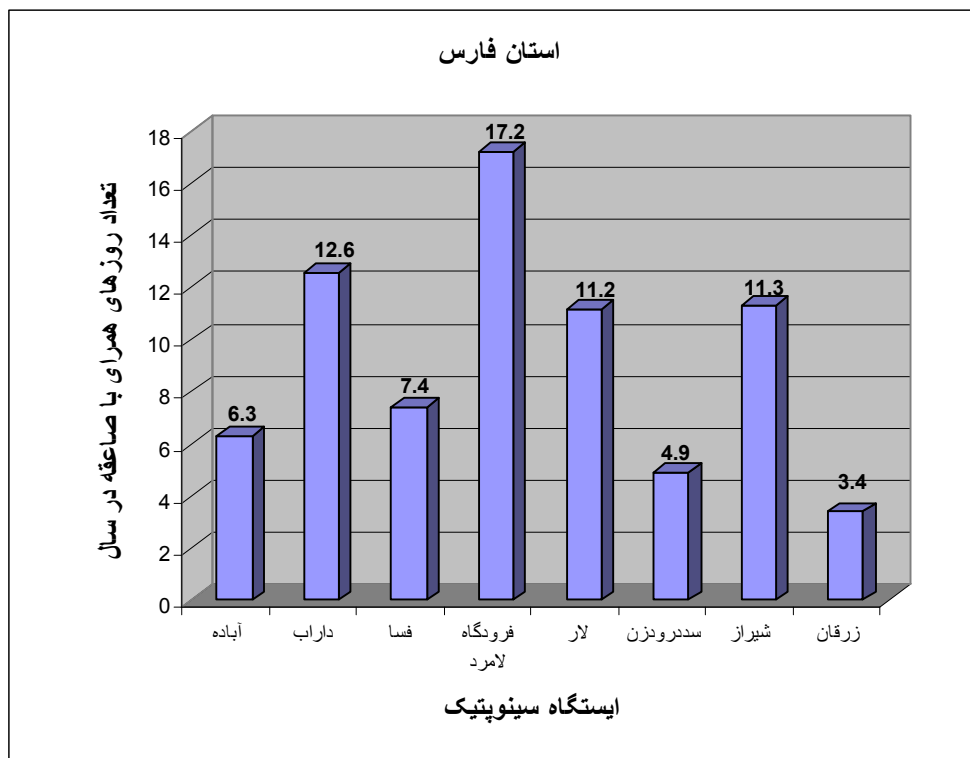


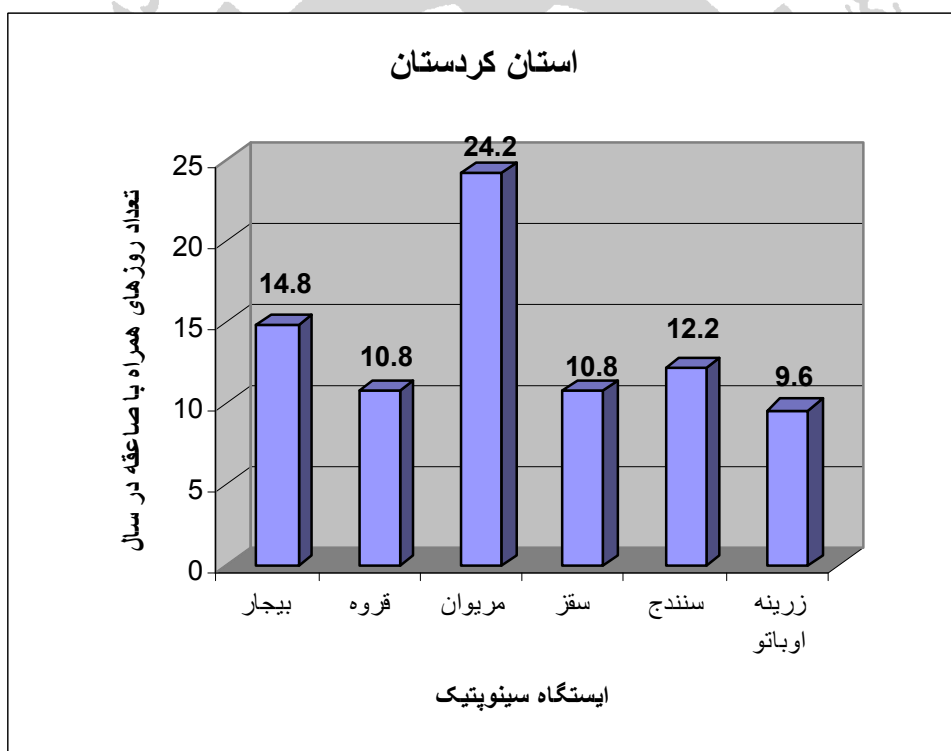
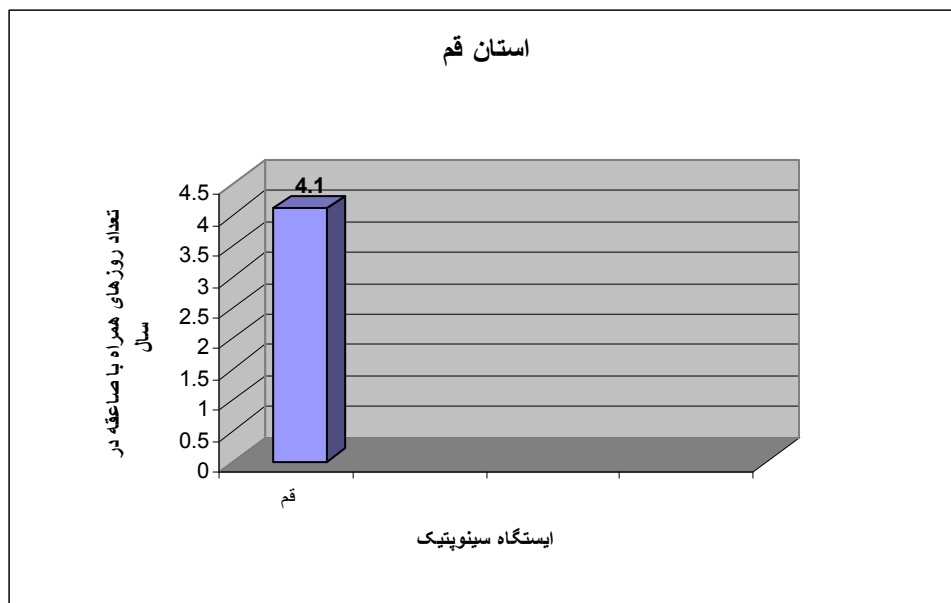
استان سمنان

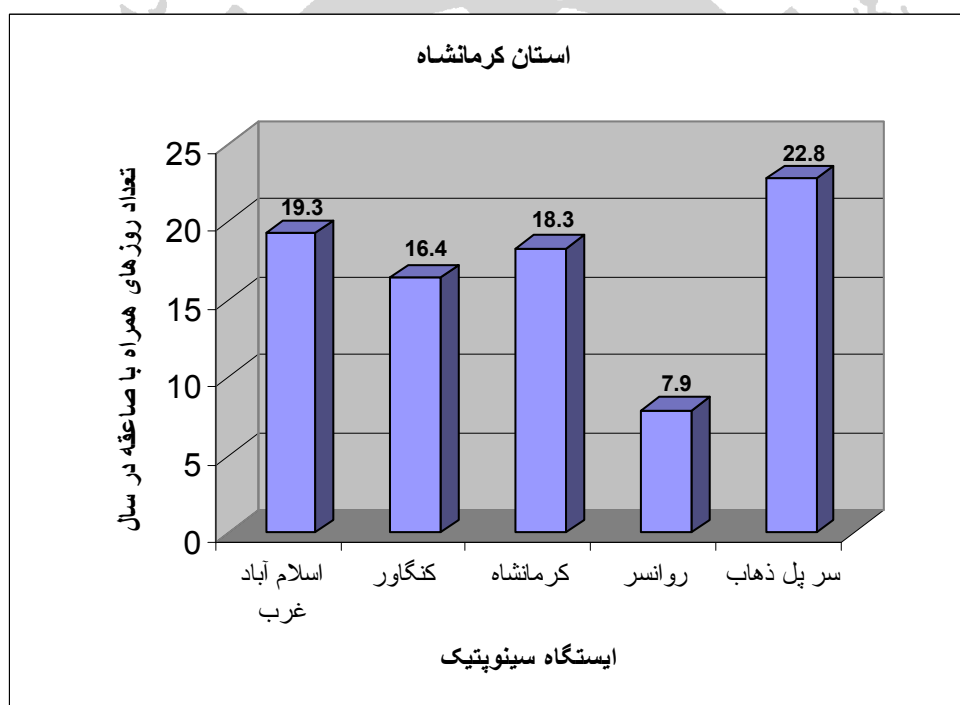
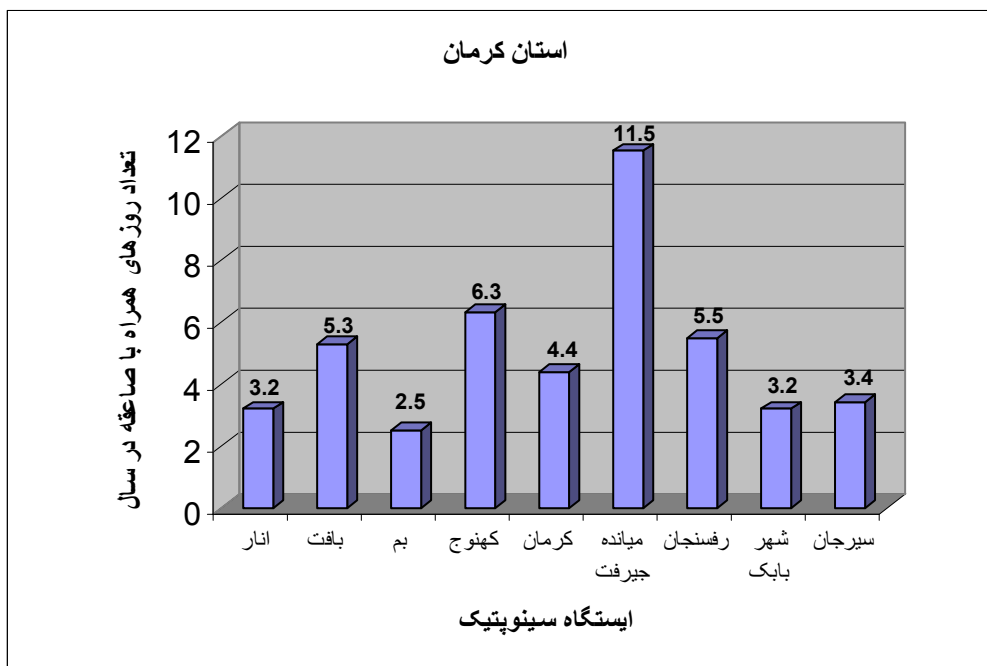


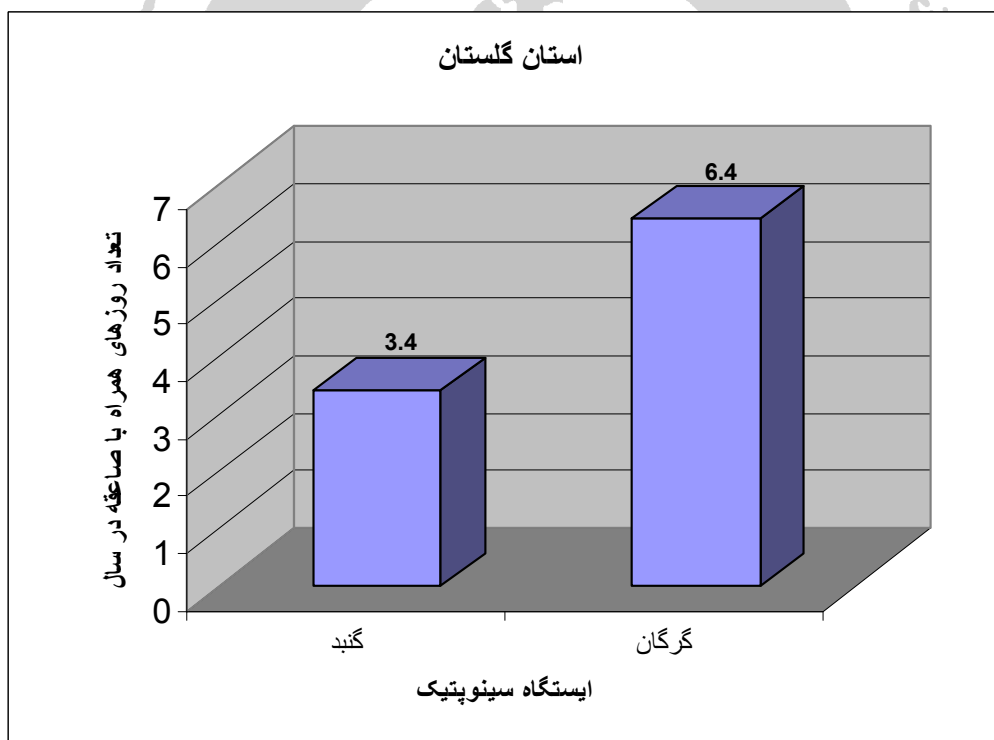
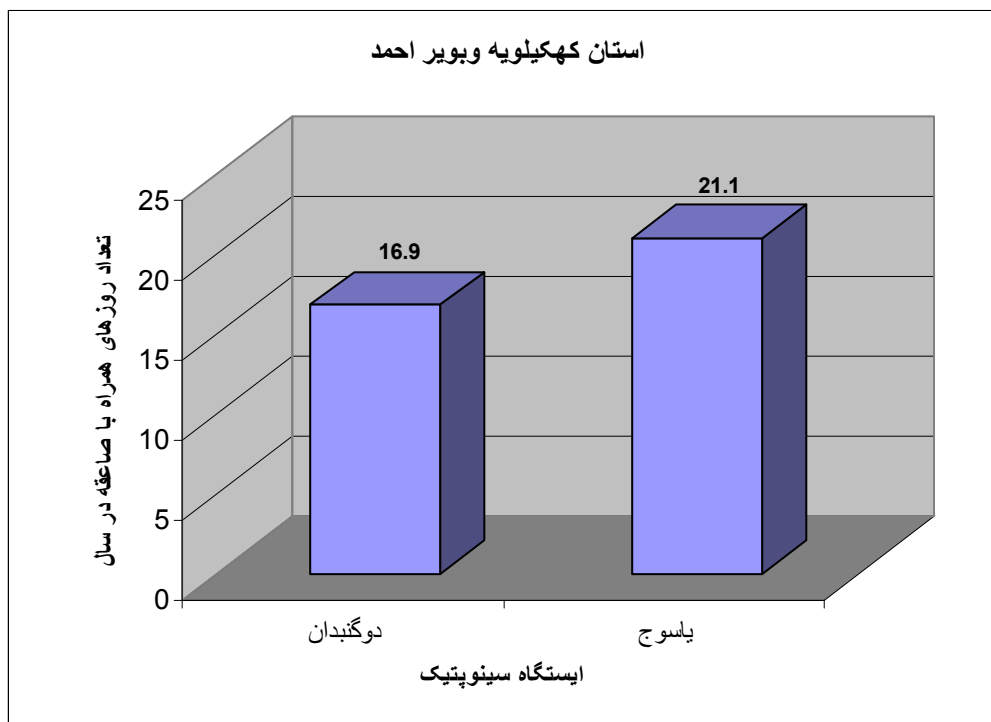
استان سیستان و بلوچستان

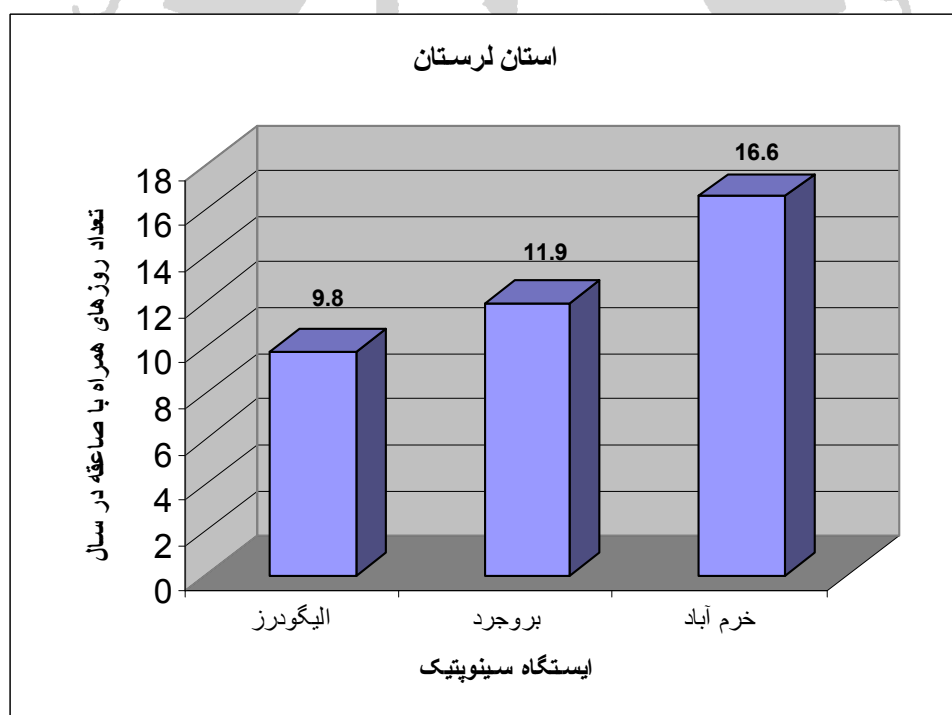
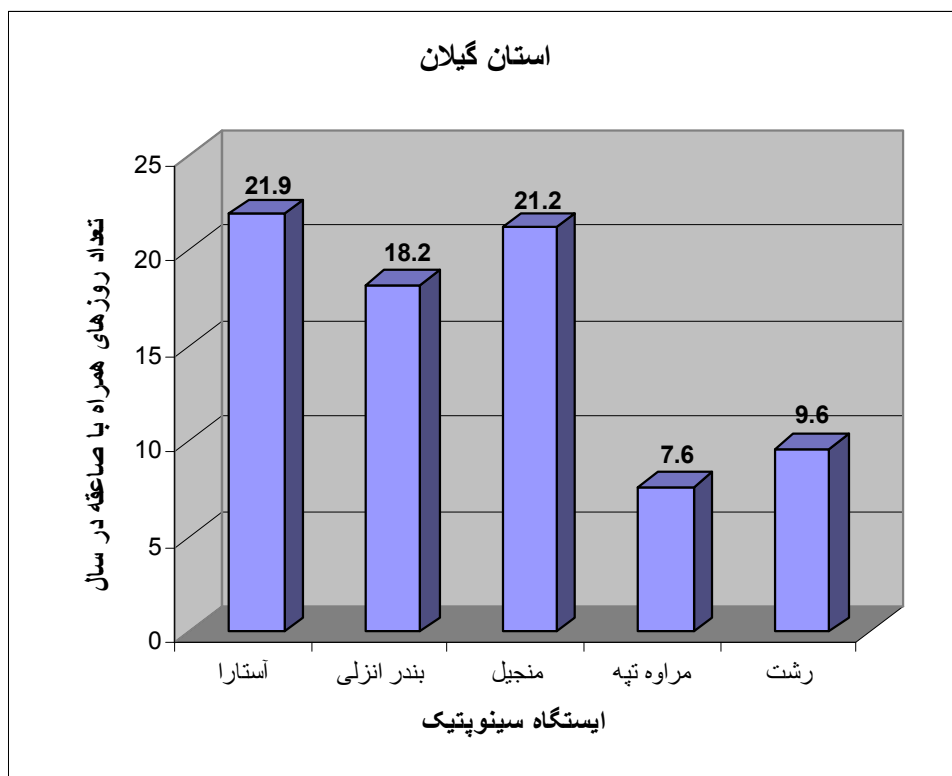


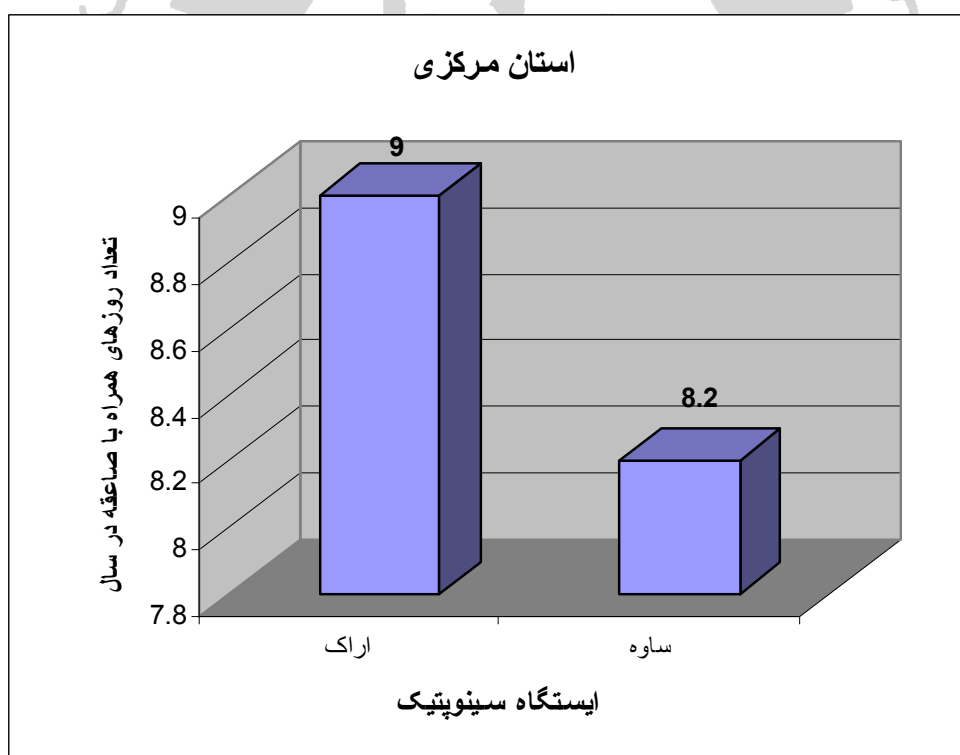
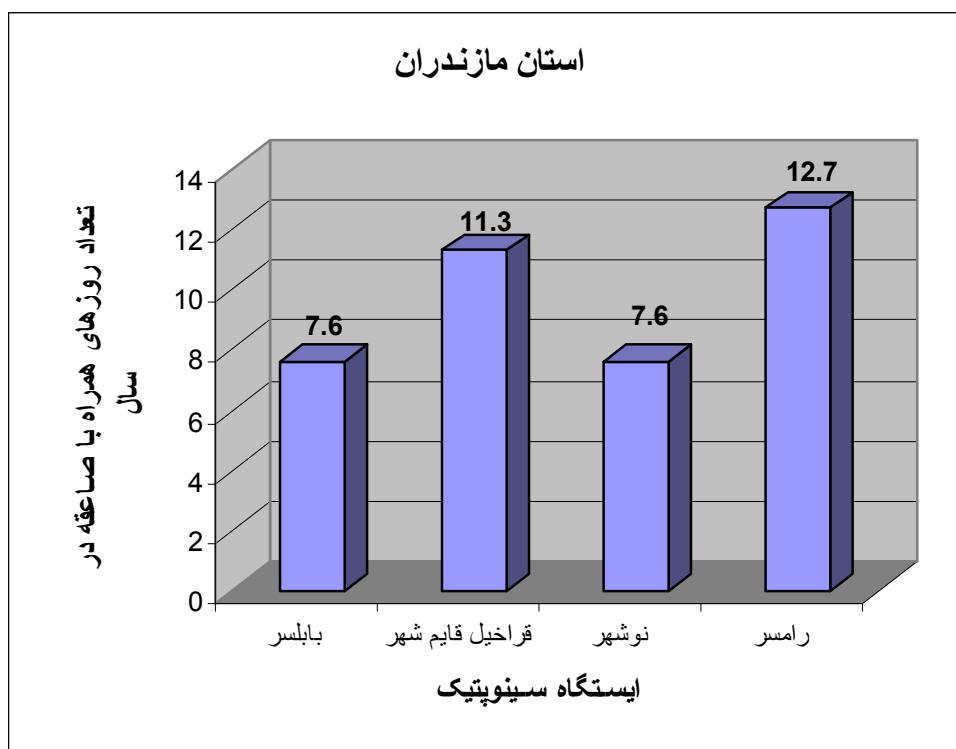


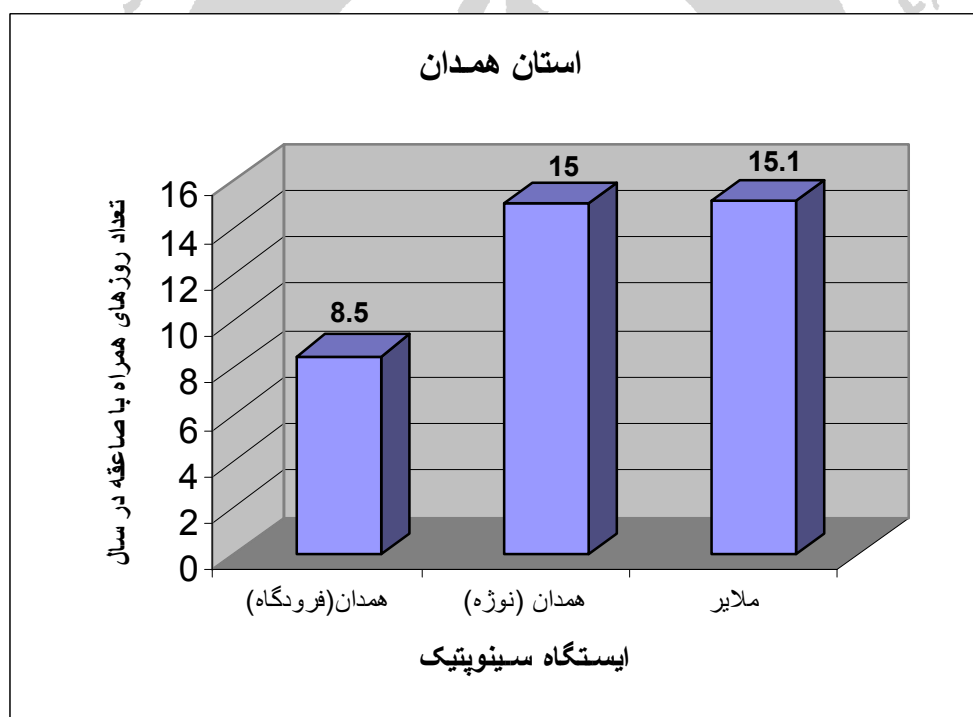
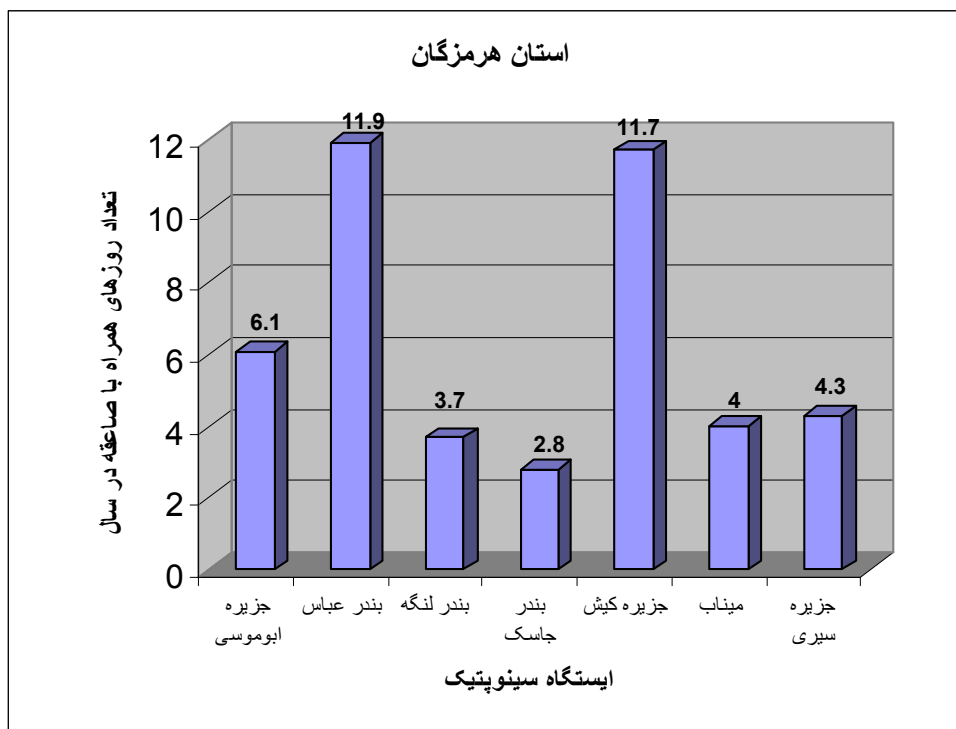


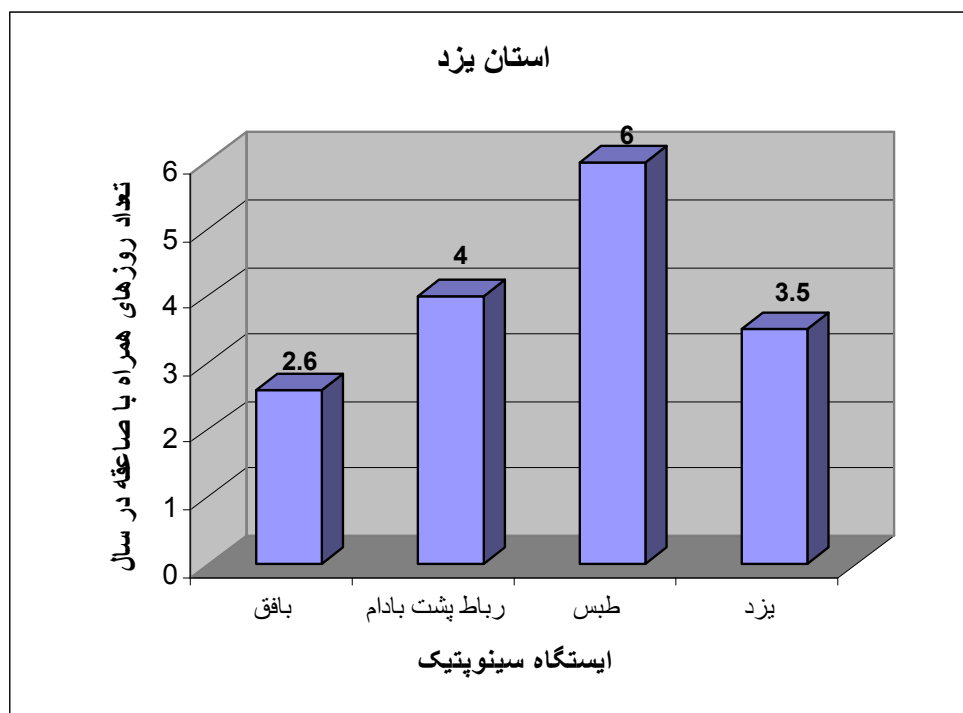












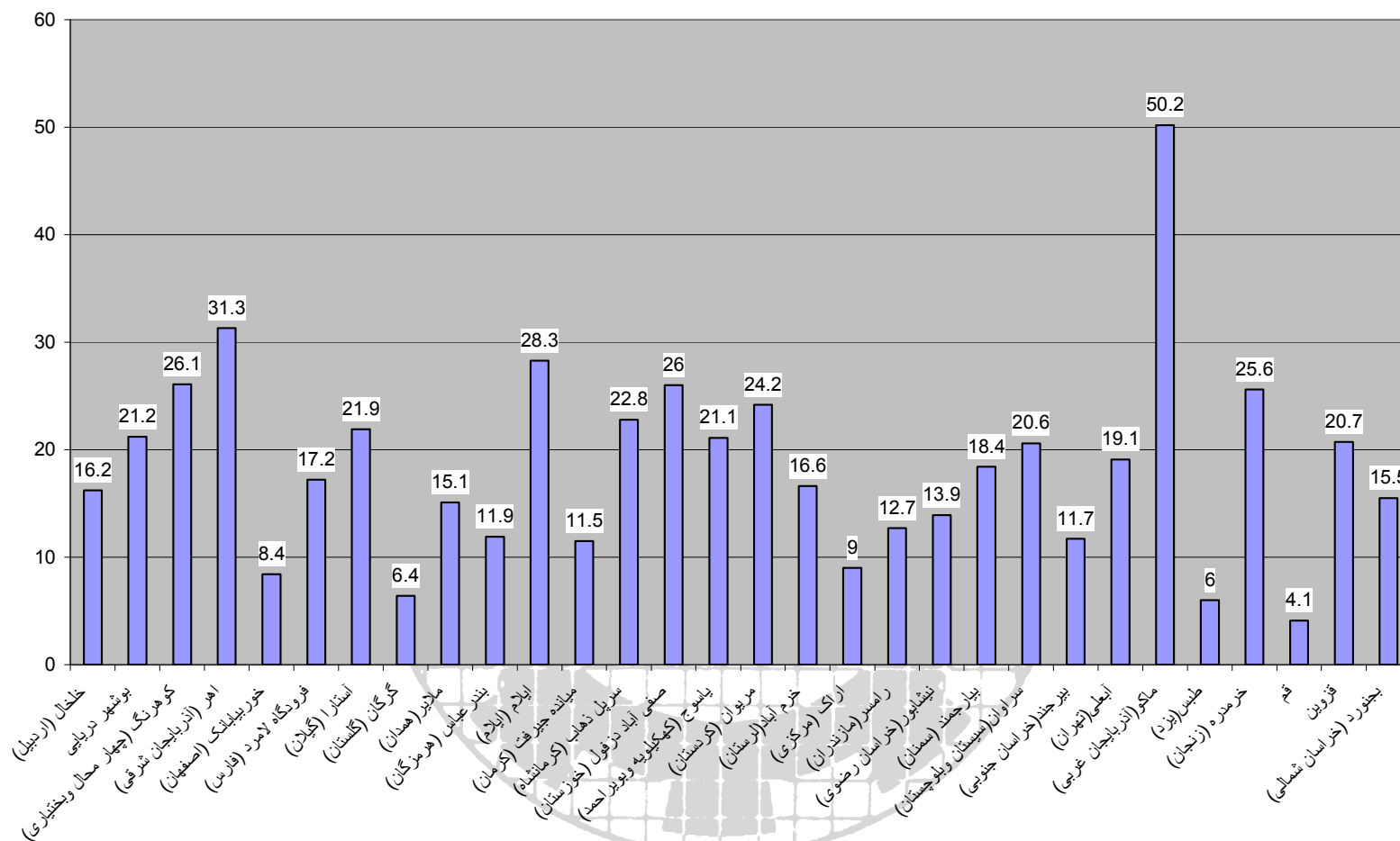
پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی به تفکیک استان، مقادیر ماکزیمم در هر استان انتخاب شدند و نموداری متشکل از ایستگاه نمونه هر استان که بیشترین روزهای همراه با صاعقه را داشته‌اند، برای کل کشور بدست آمد. این نمودار در صفحات بعد نشان داده شده است.

بررسی نمودار نشان می‌دهد که ماکو در استان آذربایجان غربی با میانگین سالیانه $50/2$ روز همراه با صاعقه ماکزیمم این میانگین را در میان کل ایستگاه‌های سینوپتیک کشور دارا می‌باشد. پس از آن اهر در استان آذربایجان شرقی و ایلام هر یک به ترتیب با $31/3$ و $28/3$ روز در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر، نایین و گلپایگان در استان اصفهان و بشرویه در استان خراسان رضوی هر یک به ترتیب با $2/2$ ، $2/3$ و $2/4$ روز همراه با صاعقه در یک سال کم‌ترین مقادیر را در بین ایستگاه‌های هواشناسی

سراسر کشور داشته اند. ایستگاه‌های دیگر که تعداد میانگین روزهای همراه با صاعقه در آن‌ها ناچیز می‌باشد، عبارتند از: بم، شهر بابک و انار در استان کرمان و کاشان در استان اصفهان. قابل ذکر است که میانگین مذکور در تمامی ایستگاه‌های استان اصفهان کمتر از ۹ روز در سال گزارش شده است.



نمودار تعداد میانگین سالیانه روزهای همراه با صاعقه در سطح کشور



فصل هفتم - راه‌های کنترل خطرات صاعقه

(۱-۷) عملکرد صاعقه گیر

هادی صاعقه گیر بدون یک فلاش صاعقه قادر به تخلیه یک ابر رعد را نیست. وظیفه هادی، برگرداندن یا منحرف ساختن صاعقه است که در غیر اینصورت ممکن است به قسمت آسیب پذیر سازه که باید محافظت شود، برخورد کند. کار دیگر هادی انتقال جریان صاعقه به طور ایمن به زمین است. محدوده ای که در آن یک هادی صاعقه گیر می تواند یک فلاش صاعقه را جذب کند، ثابت نیست. اما امروزه ثابت شده که تابعی از شدت تخلیه می باشد. بنابراین مقدار جذب، یک کمیت آماری است. از طرف دیگر، شکل هادی تأثیر کمی بر میزان جذب دارد، به طوری که ترتیب قرار گرفتن افقی و عمودی یکسان می باشد. بنابراین استفاده از پایانه های هوایی نوک تیز عمودی خیلی ضروری نیست، مگر در جاهایی که ملاحظات عملی ایجاب کند.

(۲-۷) مواد

در استانداردها، پیشنهادهای مختلفی برای نوع مواد هادی ها در سیستم صاعقه گیر وجود دارد که از میان آن ها مهم ترین موارد به شرح ذیل می باشند.

مس و آلومینیوم برای سیستم هایی که نیاز به عمر طولانی دارند، پیشنهاد می شوند. اگر مشکلی در استفاده از مس یا آلومینیوم وجود داشته باشد، فولاد گالوانیزه با همان سطح مقطع مورد استفاده برای مس، بکار می رود. این ماده در نصب سیستم هایی با طول عمر کوتاه مانند نمایشگاه ها ی موقت ترجیح داده می شود.

در انتخاب الکتروود زمین همیشه باید خطر زنگ زدگی در نظر گرفته شود. زنگ زدگی شامل مواد گالوانیزه هم هست. برای محافظت از هادی‌ها و جلوگیری از زنگ زدگی پوشش محافظ، باید دقت لازم به عمل آید. مثال‌های ذیل از موارد پرکاربرد در این خصوص می‌باشند.

الف) پوشش تسمه به وسیله سرب (حداقل ضخامت پوشش ۲ میلی متر) مناسب ترین شکل پوشش در قسمت انتهایی دودکش یا لوله است. روکش سربی باید از هر دو انتها درزگیری شود و زمانی که اتصال برقرار شد، پوشش سربی نباید باز شده یا بیرون آورده شود.

ب) روکشی از کلرید پلی وینیل (PVC) (ضخامت لایه یک میلیمتر) مس، فولاد و آلومینیوم را در بسیاری از محیط‌ها محافظت خواهد کرد. جایی که از پوشش‌های عایقی یا کلاً هر پوشش دیگری استفاده می‌شود، باید نسبت به طول عمر و قابلیت اشتعال آن توجه خاصی به عمل آید.

تا آن جا که ممکن است در پایانه‌های هوایی باید از هادی‌های لخت و بدون روکش استفاده کرد، اما جایی که امکان زنگ زدگی فلزات بدون محافظ (به ویژه آلومینیوم) وجود دارد، می‌توان از یک لایه نازک PVC (یک میلیمتر) یا از رنگ استفاده کرد. هنگامی که از بست‌های غیرفلزی استفاده می‌شود، باید امکان تنزل کیفیت آن درمقابل اشعه ماوراء بنفش، یخ زدگی، شبنم گرفتگی و غیره در نظر گرفته شود. به موازات

استفاده از محسنات نصب ساده ، در جاهایی که امکان تعویض بست ها زیاد است ، نباید از وسایلی استفاده کرد که توسط الکتریسیته گالوانیزه شده و زودتر زنگ می زنند .

هرچند در گذشته رسم بود که از مواد تسمه ای شکل در پایانه های افقی هادی های پایینی و مفصل ها استفاده شود ، اما گاهی اوقات ممکن است استفاده از میله های فلزی خیلی راحت تر باشد ، به ویژه وقتی که انحنای آنها را در هر سطحی آسان می کند .

باید توجه داشت که بهتر است سطح مقطع مفصل های داخلی در حدود نصف سطح مقطع مفصل های بیرونی باشد .

(۷-۳) ابعاد

ابعاد قطعات مخصوص سیستم های حفاظتی صاعقه نباید کمتر از ارقام داده شده در جدول شماره ۷ و ۸ باشد.

در شرایطی که به نظرمی رسد انجام بازرسی یا تعمیرات غیر متداول در آن ها مشکل است ، باید دقت کرد تا از اندازه هایی استفاده شود که از حداقل اندازه داده شده در جدول شماره ۸ بزرگ تر باشند.

جدول ۷- ضخامت حداقل برای صفحه فلزی مورد استفاده در سقف به عنوان

بخشی از شبکه پایانه هوایی

ماده	حداقل ضخامت بر حسب mm
فولاد گالوانیزه	۰/۵
فولاد ضد زنگ	۰/۴
مس	۰/۳
آلومینیوم و روی	۰/۷
قلع	۲/۰

جدول ۸- ابعاد مینیمم قسمت‌های تشکیل دهنده صاعقه گیر

نام قسمت	ابعاد mm	مساحت mm ²
پایانه های هوایی:		
تسمه آلومینیوم، مس و فولاد گالوانیزه	۲۰×۲/۵	۵۰/۰
میله های آلومینیوم، آلیاژ آلومینیوم، مس، فسفر برنز و فولاد گالوانیزه	قطر ۸/۰	۵۰/۰
هادی های آویزان:		
آلومینیوم تابیده شده	۷/۰.۳	۵۰/۰
مس تابیده شده	۱۹/۸.۱	۵۰/۰
فولاد گالوانیزه تابیده شده	۷/۰.۳	۵۰/۰
هادی های پایین برنده:		
تسمه آلومینیوم، مس و فولاد گالوانیزه	۲۰×۲/۵	۵۰/۰
میله های آلومینیوم، آلیاژ آلومینیوم، مس، و فولاد گالوانیزه	قطر ۸/۰	۵۰/۰
پایانه های زمینی:		
تسمه مسی یا فولاد گالوانیزه	۲۰×۲/۵	۵۰/۰
میله مسی یا فولاد گالوانیزه	قطر ۸/۰	۵۰/۰
میله ها برای زمین سخت	قطر ۱۲/۰	۱۱۳/۰
میله های فولاد گالوانیزه برای زمین های خیلی سخت	قطر ۱۴/۰	۱۵۳/۰
اتصالات آلومینیوم، آلیاژ آلومینیوم، مس، و فولاد گالوانیزه:		
تسمه خارجی	۲۰×۲/۵	۵۰/۰
میله های خارجی	قطر ۸/۰	۵۰/۰
تسمه داخلی	۲۰×۱/۵	۳۰/۰
میله های داخلی	قطر ۶/۵	۳۳/۰

(۴-۷) ملاحظات مقدماتی

قبل از اقدام به طراحی جزییات سیستم حفاظتی صاعقه ، باید گام های ضروری ذیل طی شود :

الف) ابتدا باید تصمیم گیری شود که آیا سازه به محافظت در برابر صاعقه نیاز دارد یا خیر و اگر دارد ، نیازهای ضروری چیست ؟

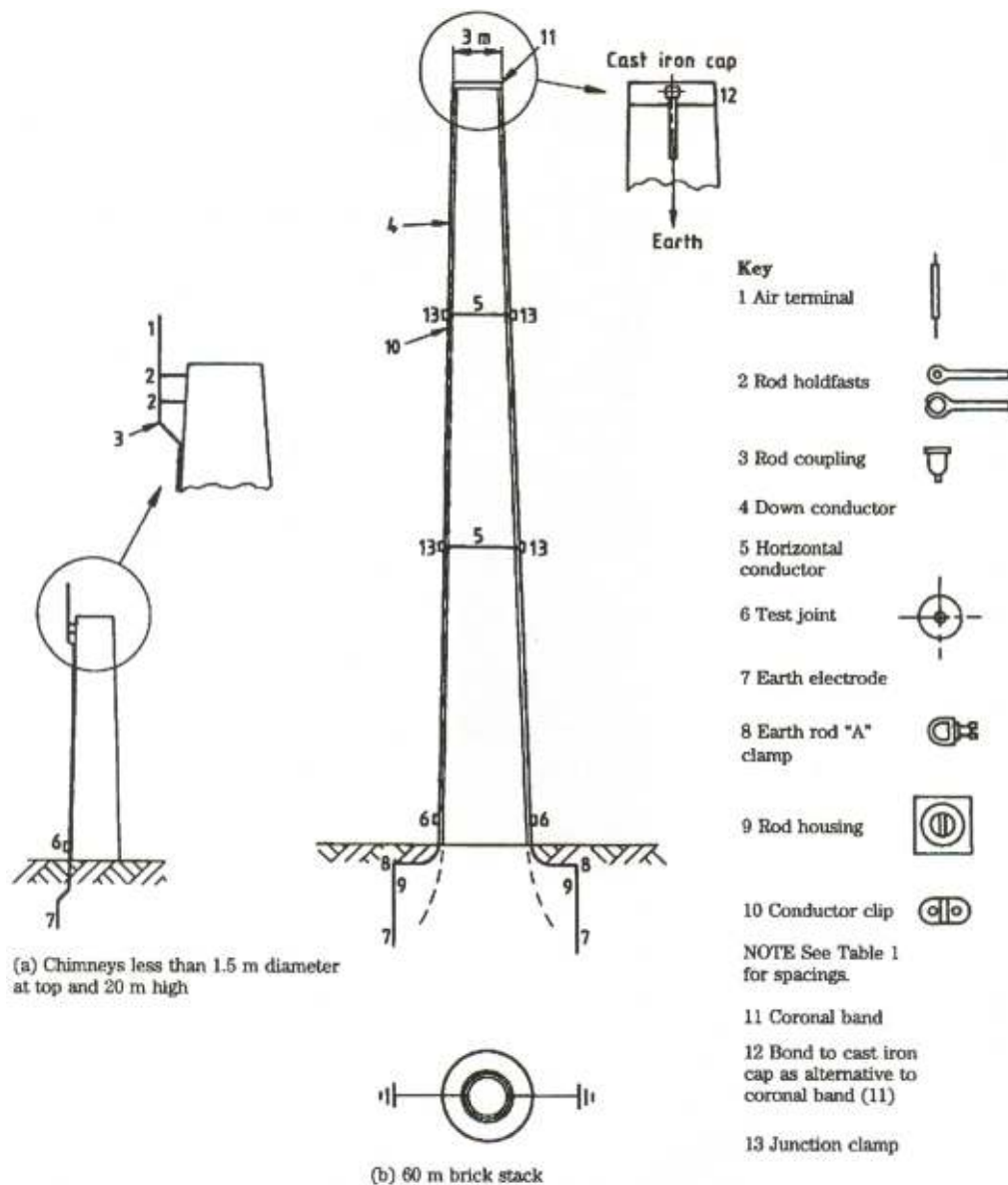
ب) باید در خلال مراحل مختلف طراحی ، با مهندس معمار و مهندس سیستم حفاظتی رابطه نزدیک و مطمئن داشت .

پ) باید روش های آزمایش ، انجام مأموریت و نگهداری آتی سیستم حفاظتی صاعقه مد نظر قرار گیرد .

(۵-۷) ناحیه حفاظت

به بیان ساده ، منطقه حفاظت حجمی است که در آن یک هادی صاعقه کار حفاظت در برابر یک ضربه صاعقه مستقیم را با جهت دادن ضربه به سمت خود انجام می دهد. اندازه و شکل منطقه ، مطابق با ارتفاع ساختمان یا هادی عمودی تغییر می کند . عموماً برای سازه هایی که ارتفاع آنها برای یک هادی عمودی از سطح زمین از ۲۰ متر تجاوز نمی کند ، منطقه به صورت یک مخروط تعریف شده است که رأس آن در نوک هادی قرار دارد و پایه اش روی زمین است؛ برای یک هادی افقی منطقه به صورت حجم تولید شده توسط یک مخروط تعریف شده است که رأسش روی هادی افقی از یک انتها به انتهای دیگر حرکت می کند (مکان هندسی رأس آن روی هادی افقی قرار دارد) . برای

سازه‌هایی با ارتفاع متجاوز از ۲۰ متر، این مناطق قابل اعمال نیستند. توصیه می‌شود که هادی‌های صاعقه‌گیر اضافی به صورت نشان داده شده در شکل ۳ تعبیه شوند تا در مقابل ضربات وارد شده بر جوانب ساختمان محافظت گردند.



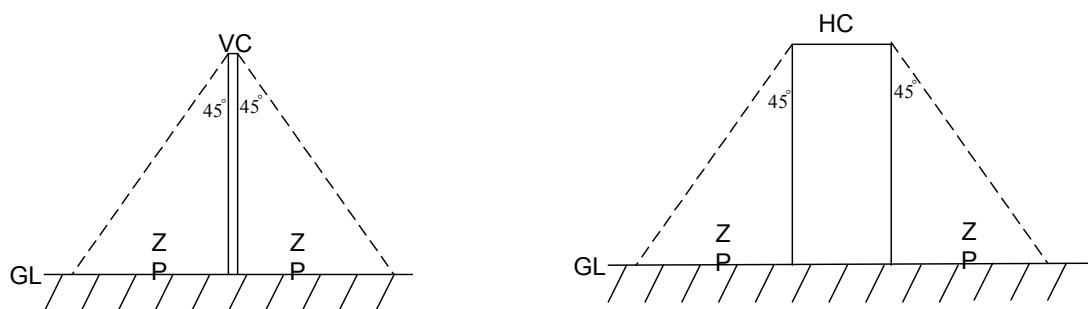
شکل ۳- مثال‌هایی از سیستم‌های حفاظت دودکش‌های آجری در برابر صاعقه

(۶-۷) زاویه حفاظتی

برای سازه‌هایی که ارتفاع آنها متجاوز از ۲۰ متر نیست، زاویه بین دیواره مخروط و عمود بر رأس مخروط به عنوان زاویه حفاظتی شناخته می‌شود، مانند آنچه که در شکل ۴ نشان داده شده است. به دلیل وابستگی آن به شدت ضربه و حضور در منطقه حفاظتی اشیای هادی ایجاد کننده مسیرهای مستقل به زمین، مقدار زاویه حفاظتی را نمی‌توان دقیقاً تعیین کرد.

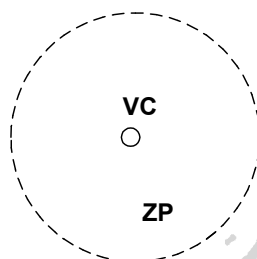
آنچه می‌توان به طور قطع تعیین کرد، این است که وقتی زاویه حفاظتی فرض شده، کاهش پیدا می‌کند، حفاظت فراهم شده با یک صاعقه گیر افزایش می‌یابد. برای سازه‌هایی با ارتفاع متجاوز از ۲۰ متر، زاویه حفاظتی تمام هادی‌های با ارتفاع بالای ۲۰ متر مشابه مقدار آن برای سازه‌های کوتاه‌تر است. به هر حال، برای سازه‌های بالاتر از ۲۰ متر، جایی که احتمال دارد به دیواره‌های جانبی ساختمان‌ها ضربه بخورد، توصیه می‌شود که حجم حفاظت شده با استفاده از روش کره گردان تعیین شود.

به منظور تأمین حفاظت مطلوب برای یک سازه معمولی با ارتفاع بالای ۲۰ متر و حتی بلندتر، زاویه حفاظتی هر بخش که تشکیل دهنده یک شبکه پایانه هوایی است، برای هادی‌های افقی و عمودی، 45° در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴-الف و ب را ببینید). بین دو یا چند هادی عمودی که در فاصله‌ای کمتر از دو برابر ارتفاعشان قرار گرفته‌اند، انتظار می‌رود که زاویه حفاظتی معادل 60° نسبت به عمود باشد. مثالی در شکل ۴-پ این وضعیت را نشان می‌دهد.

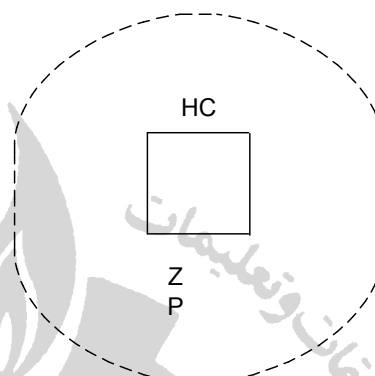


پلان ناحیه حفاظت در سطح زمین

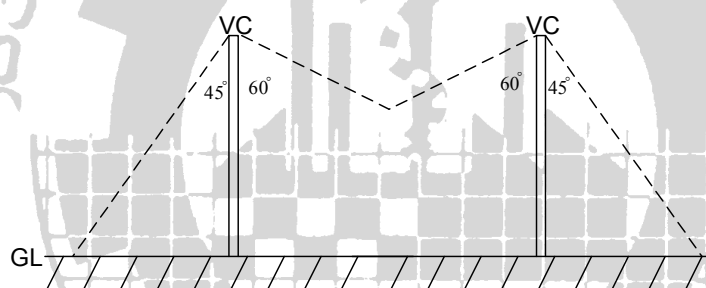
پلان ناحیه حفاظت در سطح زمین



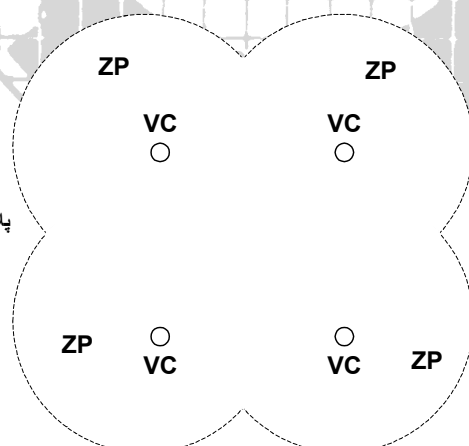
(الف) یک هادی عمودی



(ب) پایانه هوایی افقی



پلان ناحیه حفاظت در سطح زمین



(پ) چهار هادی عمودی

شکل ۴- زاویه ها و ناحیه های حفاظت برای شکل های مختلف پایانه هوایی

(۷-۷) سازه‌های آسیب‌پذیر ویژه

برای منطقه حفاظت سازه‌های آسیب‌پذیر ویژه، به دلیل وجود اجزای قابل انفجار یا به شدت آتش‌گیر، حتی در برابر حوادث نادر یک ضربه تخلیه صاعقه، باید تدابیر ویژه‌ای اعمال شود.

(۷-۸) طراحی سیستم

در ساختمان‌هایی که در ساخت آن‌ها به طور گسترده‌ای از فلز استفاده می‌شود، برای افزایش تعداد مسیرهای هادی موازی می‌توان از بخش‌های فلزی سازه بهره‌برد. در این ساختمان‌ها غالباً وضع صاعقه‌گیر بهتر است، احتمال صرفه‌جویی زیادی در هزینه ممکن بوده و نمای ظاهری سازه حفظ خواهد شد. به هر حال باید به یاد داشته باشیم که یک ضربه صاعقه در اثر برخورد با یک چنین بخش فلزی، مخصوصاً اگر زیر سطح باشد، ممکن است پوشش آن را در معرض خطر قرار دهد و باعث سقوط مصالح ساختمانی گردد. این خطر می‌تواند با یک سیستم صاعقه‌گیر نصب شده روی سطح کاهش داده شود، اما حذف کامل خطر امکان‌پذیر نمی‌باشد.

قسمت‌هایی از بخش‌های فلزی که باید به سیستم‌های صاعقه‌گیر اضافه شوند، عبارتند از: اسکلت‌های فولادی، میله‌های بتن آرمه، فلز داخل یا روی سقف و نرده‌ها. یعنی فلزات داخل یک سازه ممکن است به عنوان جزیی از سیستم صاعقه‌گیر مورد استفاده قرار گیرند.

(۷-۹) معماری

در زمان ساخت سازه و نصب صاعقه گیر ، موارد ذیل باید تعیین شوند :

الف) اتصال همه هادی ها به پی بنای ساختمان

ب) محل های عمومی در دسترس برای شبکه های پایانه زمین و الکترودهای زمین مرجع

پ) جنس هادی ها

ت) موادی که باید در سازه مورد استفاده قرار گیرند ، مخصوصاً برای فلزات یکپارچه

مانند تیرها (ستون های پیش ساخته) یا بتون آرمه ؛

ث) تجهیزات و اشیاء داخل سازه

ج) اجزای همه لوله های سرویس فلزی ، سیستم های آب باران (ناودان ها) ، نرده ها و

ورودی یا خروجی سازه که ممکن است نیازمند اتصال به سیستم صاعقه گیر باشد .

چ) محل همه سرویس های مدفون که می تواند محل قرارگرفتن شبکه های پایانه زمین

را تحت تأثیر قرار دهد .

ح) اجزای هر وسیله ، ابزار ، گیاه یا هرچیز مشابهی که در داخل یا نزدیک ساختمان

نصب می شود و آنچه که نیاز به اتصال به سیستم صاعقه گیر دارد .

خ) نصب یک سیستم صاعقه گیر روی ساختمان هایی که مواد آتش گیر یا انفجاری را

در بر می گیرند .

د) شکل ، موقعیت ، و تعداد پایه های اولیه که توسط معمار در نظر گرفته می شود.

ذ) موقعیت هادی هایی که باید زیر سازه قرار داده شوند.

ر) از تمام قطعات سیستم صاعقه گیر باید در زمان عملیات ساختمانی استفاده شود .
 برای مثال شبکه دایمی پایانه زمینی ، برای زمین کردن جرثقیل ها ، نرده ها ،
 داربست ها ، بالابر ها و موارد مشابه در طول عملیات ساختمانی
 ز) برای سازه هایی با اسکلت فولادی ، تعداد و موقعیت ستون ها و نیز شکل پایه برای
 اتصال پایانه های زمین باید تعیین شود .

ژ) بررسی مناسب بودن استفاده از پوشش های سقف فلزی به عنوان بخشی از سیستم
 صاعقه گیر و روش همبندی هادی ها به زمین

س) طبیعت محل استقرار ورودی سرویس های ساختمان در بالا و زیر زمین شامل
 خطوط راه پله ، نرده ها ، جرثقیل ، سیم بوکسل ها ، سیستم های حمل و نقل ،
 آنتن های تلویزیون و رادیو و متعلقات فلزی آن ها ، دودکش های فلزی ، اجزای فلزی
 سیستم تهویه ، چرخ دنده های پنجره پاک کن و بالابر های خشک .

ش) موقعیت و تعداد تیرهای پرچم ، اتاق های مسطح هم سطح سقف (مانند اتاق های
 موتور آسانسور ، اتاق های مسطح تهویه ، گرم کننده و تصفیه کننده هوا) ، مخازن
 آب و عوامل مهم دیگر .

ص) ساختاری که برای سقف ها و دیوارها به کار گرفته می شود، مشخصاً با
 در نظر گرفتن میزان استحکام ساختمان در برابر شرایط جوی

ض) میزان نفوذ پوشش ضد آب در جایی که پایانه های زمین مجبورند در زیر
 ساختمان قرار داده شوند ، مخصوصاً در موقعیت های شهری و در فضاهای محدود
 در مکان های صنعتی

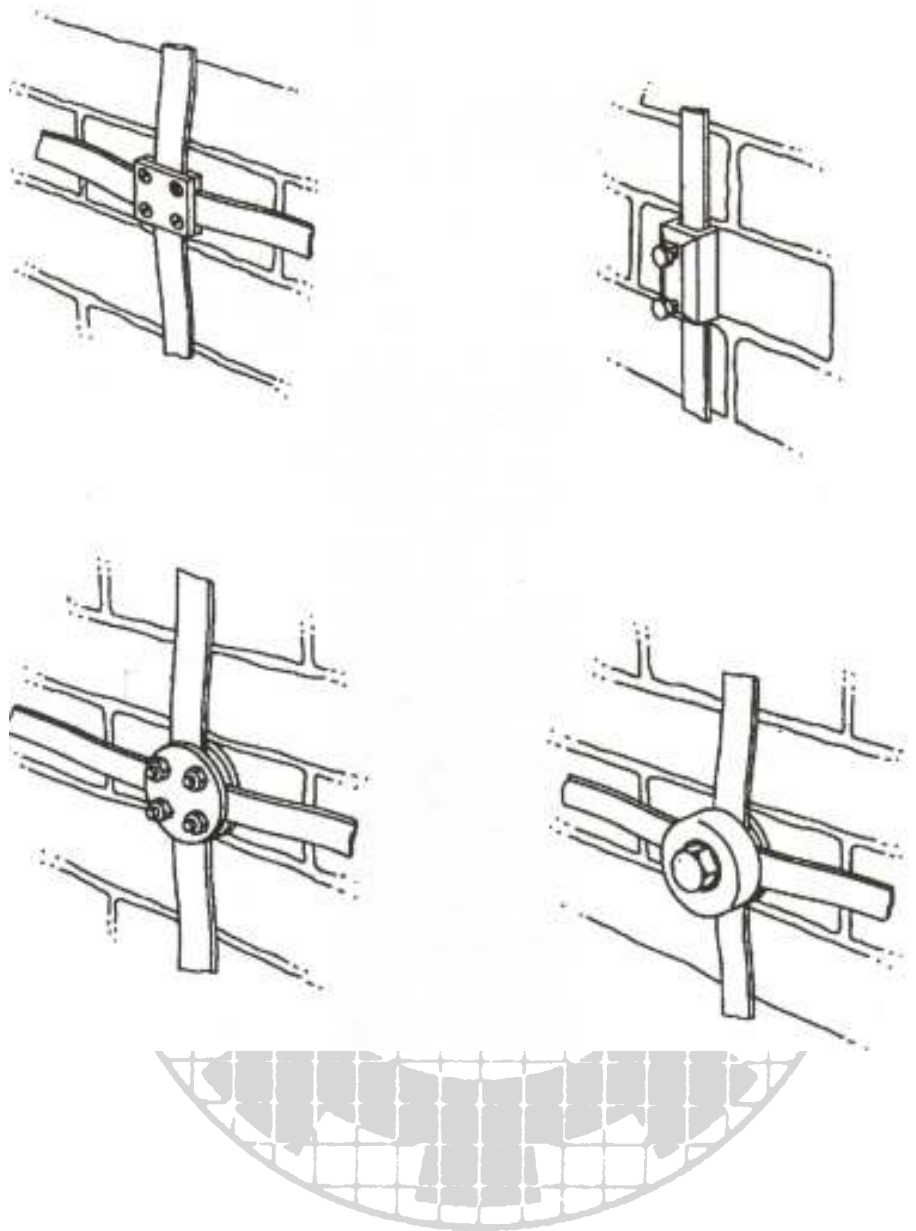
- ط) پیش بینی حفره های درون ساختمان ، جان پناه ها ، گچبری ها و غیره برای اجازه ندادن به عبور آزاد هادی های پایین برنده
- ظ) پیش بینی اتصالات به یک اسکلت فولادی ، ستون های مستحکم (بتون آرمه) و فلزات دیگر
- ع) انتخاب مناسب ترین فلز برای هادی ها با در نظر گرفتن زنگ زدگی ، مخصوصاً در اتصالات دو فلز جداگانه
- غ) توانایی دسترسی به اتصالات مربوط به آزمون ، حفاظت با روکش های غیرفلزی در برابر صدمه مکانیکی، پایین آوردن میله های پرچم یا چیزهای قابل حذف دیگر
- ف) آماده سازی یک نقشه متشکل از جزییات مذکور و نمایش موقعیت های همه هادی ها و اجزای اصلی .

(۷-۱۰) بخش های تشکیل دهنده

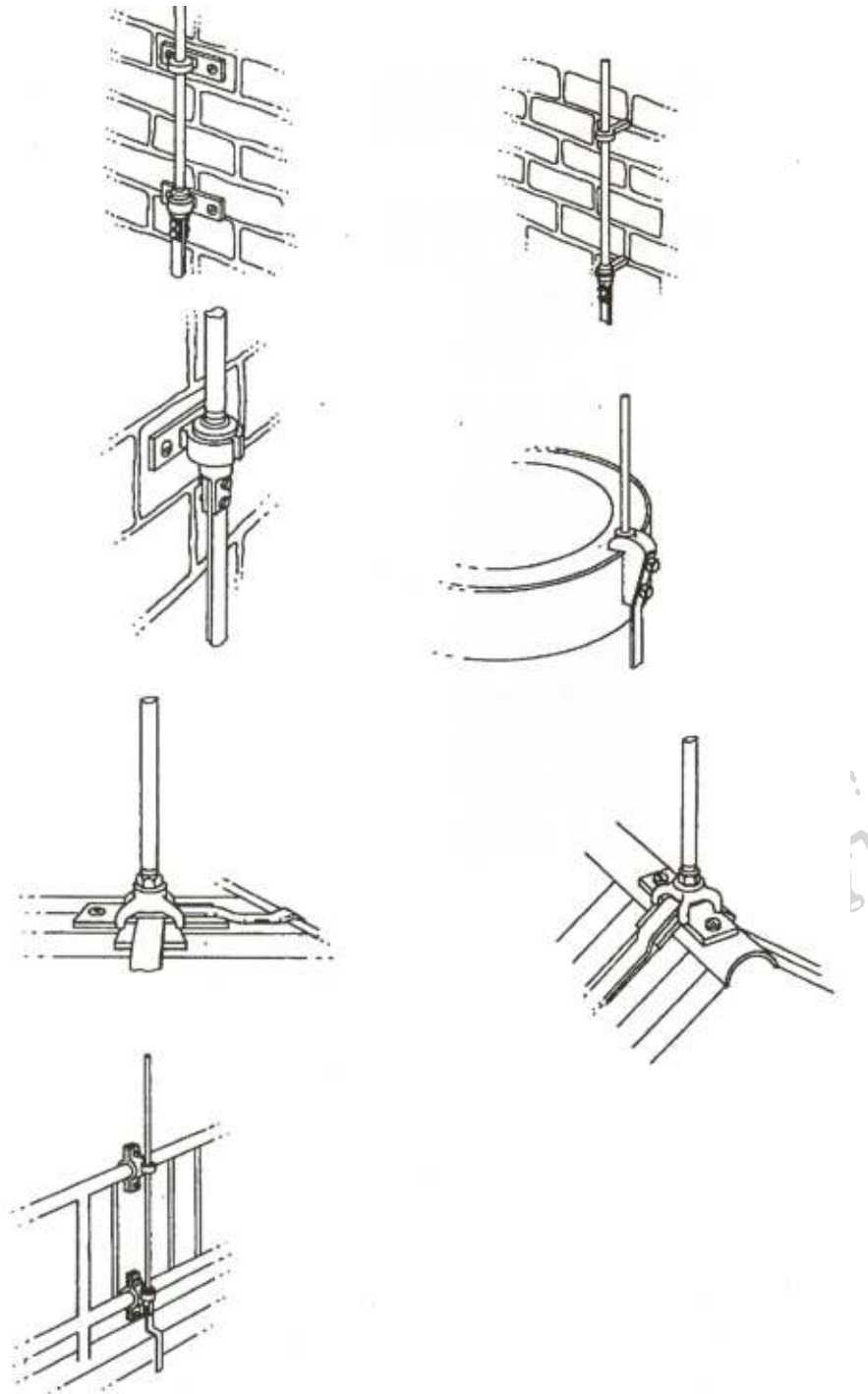
اجزای اصلی یک سیستم صاعقه گیر عبارتند از :

- الف) پایانه های هوایی
- ب) هادی های پایین برنده
- ج) پیوند و اتصالات
- د) اتصالات تست
- ه) پایانه های زمین
- و) الکترودهای زمین

انواع طرح پایه های مختلف در شکل های ۱ ، ۵ و ۶ نشان داده می شود .



شکل ۵- اتصالات آزمون



شکل ۶- اشکال مختلف پایانه های هوایی عمودی

(۷-۱۱) پایانه های هوایی

شبکه های پایانه هوایی ممکن است شامل هادی های عمودی یا افقی یا ترکیباتی از هر دو باشند . (شکل های ۷ تا ۱۲ را ببینید) .

هیچ قسمتی از سقف نباید بیش از ۵ متر از نزدیک ترین هادی افقی فاصله داشته باشد (به شکل ۸ توجه کنید). برای سقف های مسطح بزرگ با یک مش شبکه پایانه هوایی تقریباً $10m \times 20m$ این حالت به دست خواهد آمد . در سقف هایی با چند برجستگی اگر فاصله برجستگی ها (S درمقیاس متر) بزرگ تر از $10 + 2H$ باشد - که H ارتفاع برجستگی (بر حسب متر) است - هادی های اضافی مورد نیاز خواهند بود (شکل ۹).

روی یک سازه بتون آرمه ، پایانه هوایی باید به تعداد موقعیت های مورد نیاز برای هادی های پایین برنده به ستون های محکمی وصل شود .

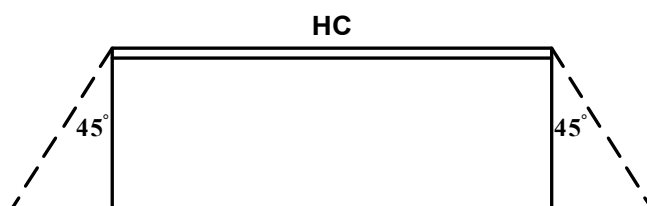
همه حفاظ های فلزی روی سطح اصلی سقف یا بالای آن - که عمداً یا سهواً به جرم زمین وصل می شوند - باید به شبکه پایانه هوایی اتصال داده شده و بخشی از آن را تشکیل دهند (شکل های ۵ و ۱۳).

تابلوهای فلزی ، پوشش های سقف ، نرده ها، وسیله شستن پنجره و صفحات فلزی حول مکان های بازی باید به عنوان بخشی از شبکه پایانه هوایی در نظر گرفته شوند (شکل های ۵ و ۹).

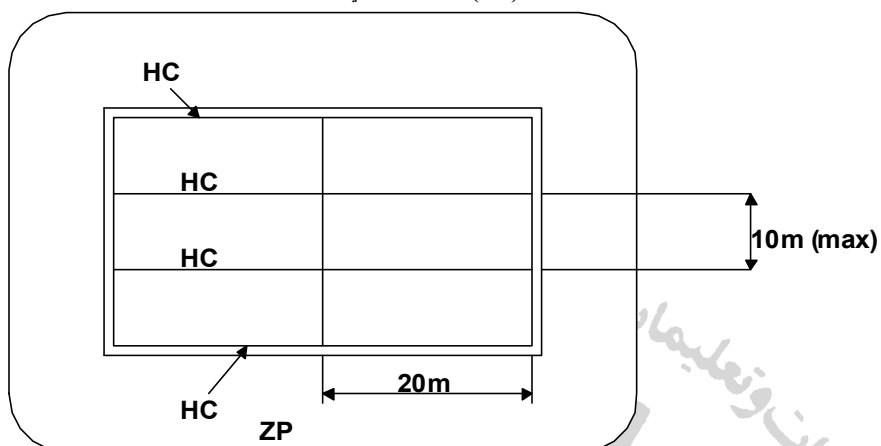
کلاً قسمت‌هایی از سازه که داخل ناحیه حفاظت یک قسمت بلندتر قرار می‌گیرند ، نیازی به پایانه‌های هوایی ندارند .

اگر قسمت‌هایی از سازه از نظر ارتفاع به طور قابل ملاحظه‌ای متغیر باشند ، تمام پایانه‌های هوایی یا شبکه‌های پایانه‌های هوایی مورد نیاز برای قسمت‌های پایین‌تر علاوه بر اینکه به هادی‌های پایین‌برنده خود وصل می‌شوند ، باید به هادی‌های پایین‌برنده قسمت‌های بلندتر نیز وصل شوند.

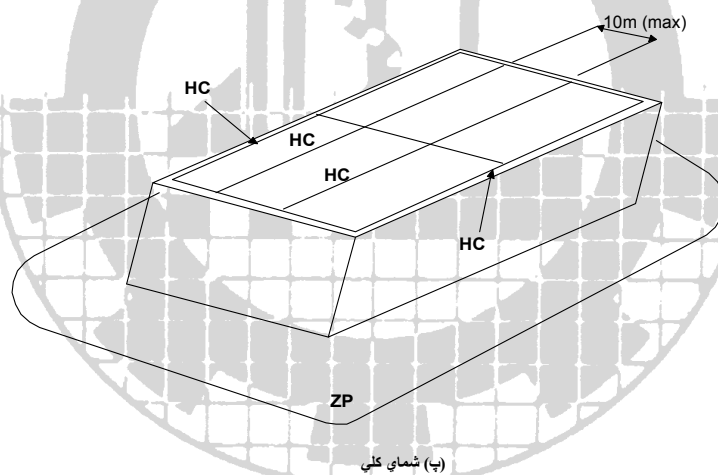




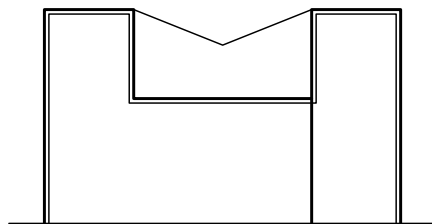
(الف) زاویه حفاظتی



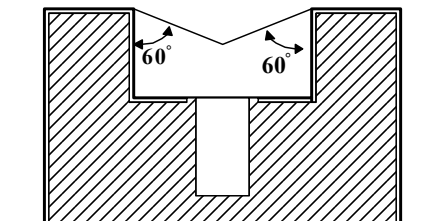
(ب) پلان ناحیه حفاظت در سطح زمین



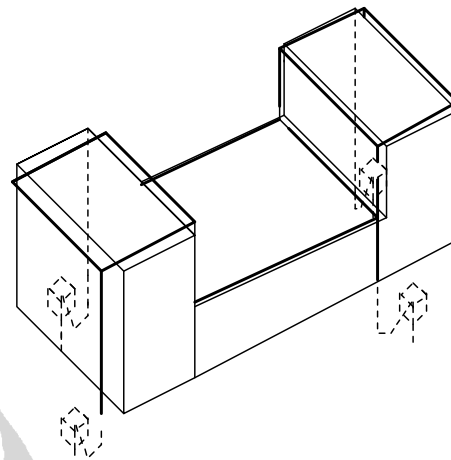
شکل ۷- پایانه‌های هوایی برای یک سقف تخت



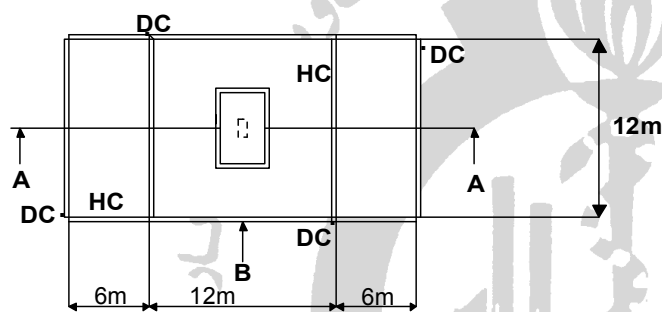
نمای سازه از جهت B



سطح مقطع A-A



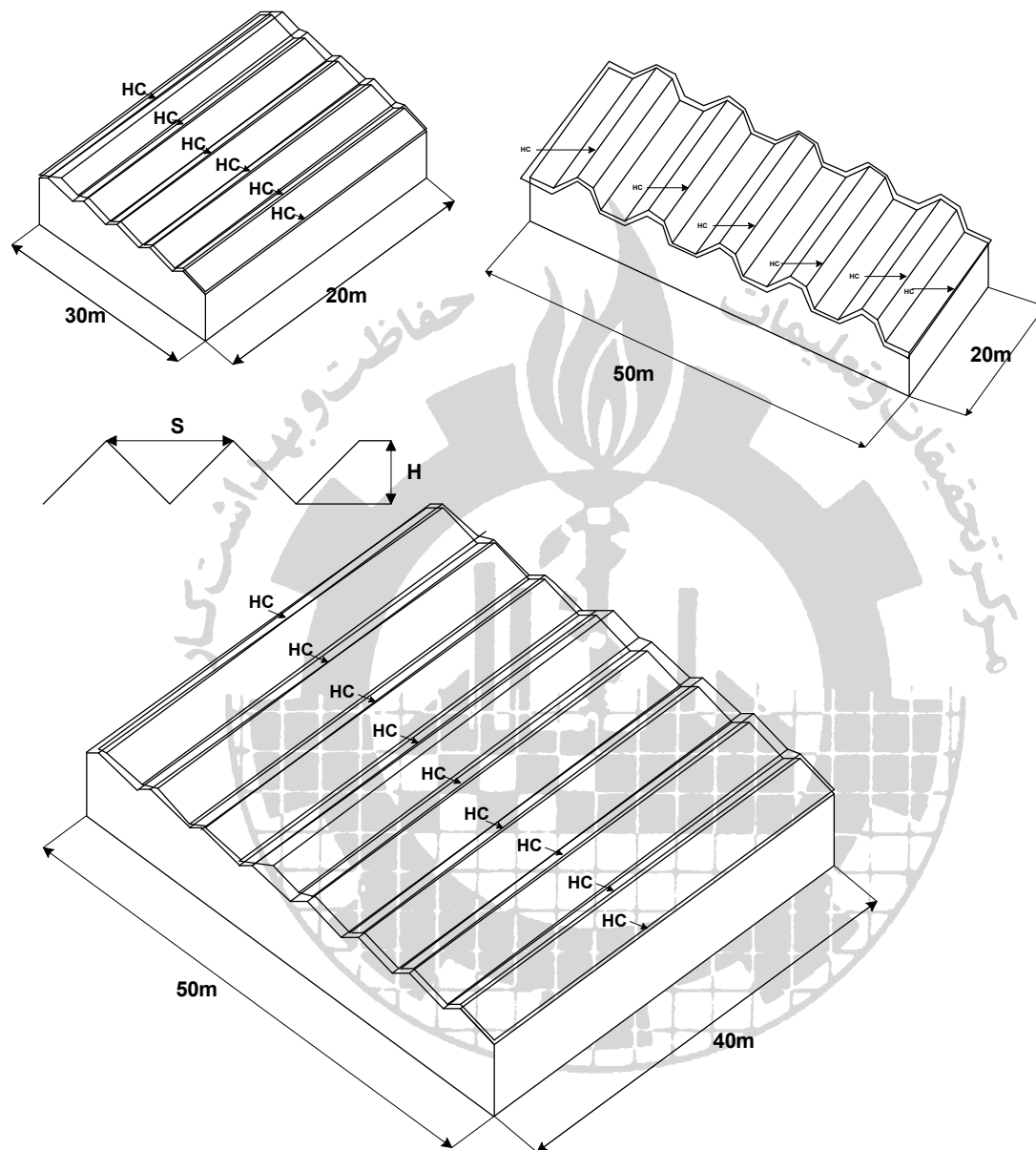
اتصال هادی‌های پایین برنده و هادی‌های افقی



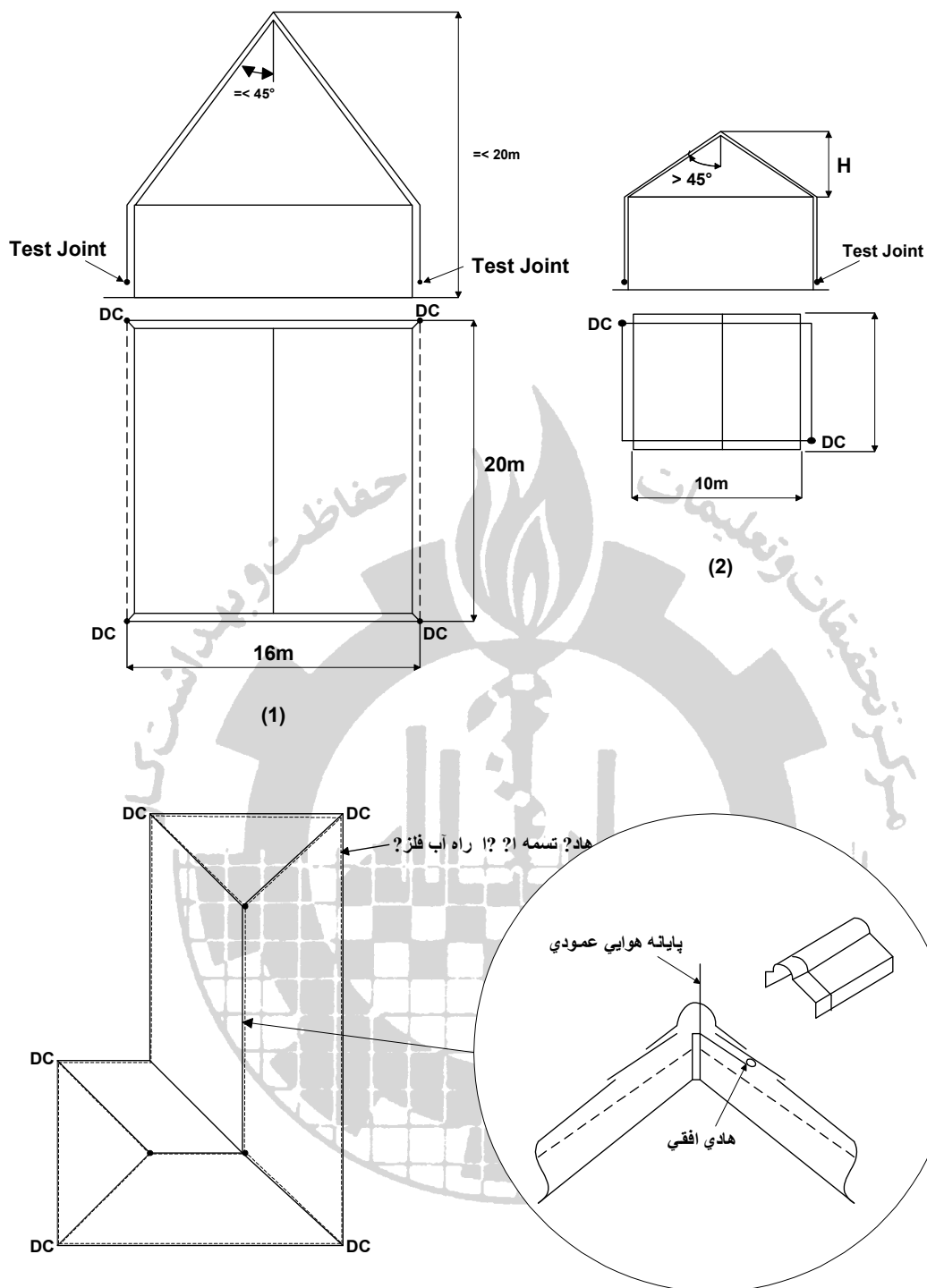
شکل ۸- پایانه‌های هوایی برای سقف‌های تخت با ارتفاع‌های مختلف

(۷-۱۱-۱) اشکال مختلف پایانه هوایی

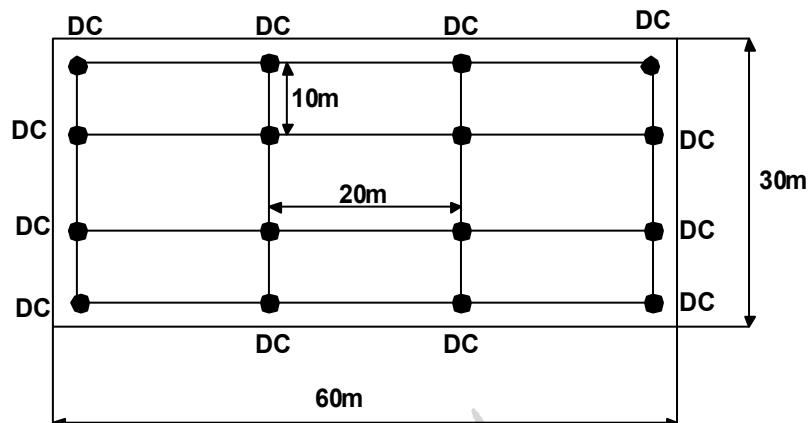
اشکال مختلف پایانه هوایی در شکل‌های ۷ تا ۱۲ ارائه می‌شوند. اگرچه برای واضح بودن شکل، هادی‌های پایین برنده و پایانه‌های زمین از شکل‌ها حذف شده‌اند، اما اصولاً باید تأمین شوند و به عنوان بخش ضروری عوامل معماری و سازه ساختمان به حساب آیند.



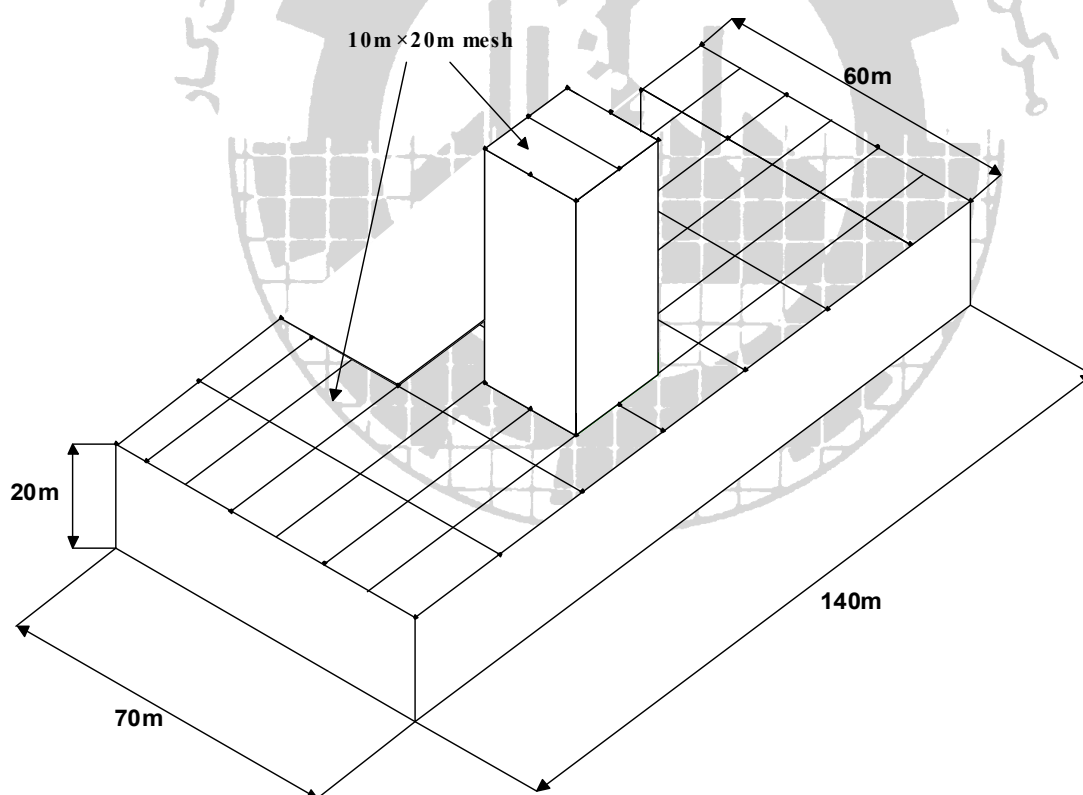
شکل ۹- پایانه های هوایی برای اشکال مختلف سقف های ناهموار



شکل ۱۰- پایانه‌های هوایی برای سقف‌های شیب‌دار ساختمان‌های کوتاه‌تر از ۲۰m



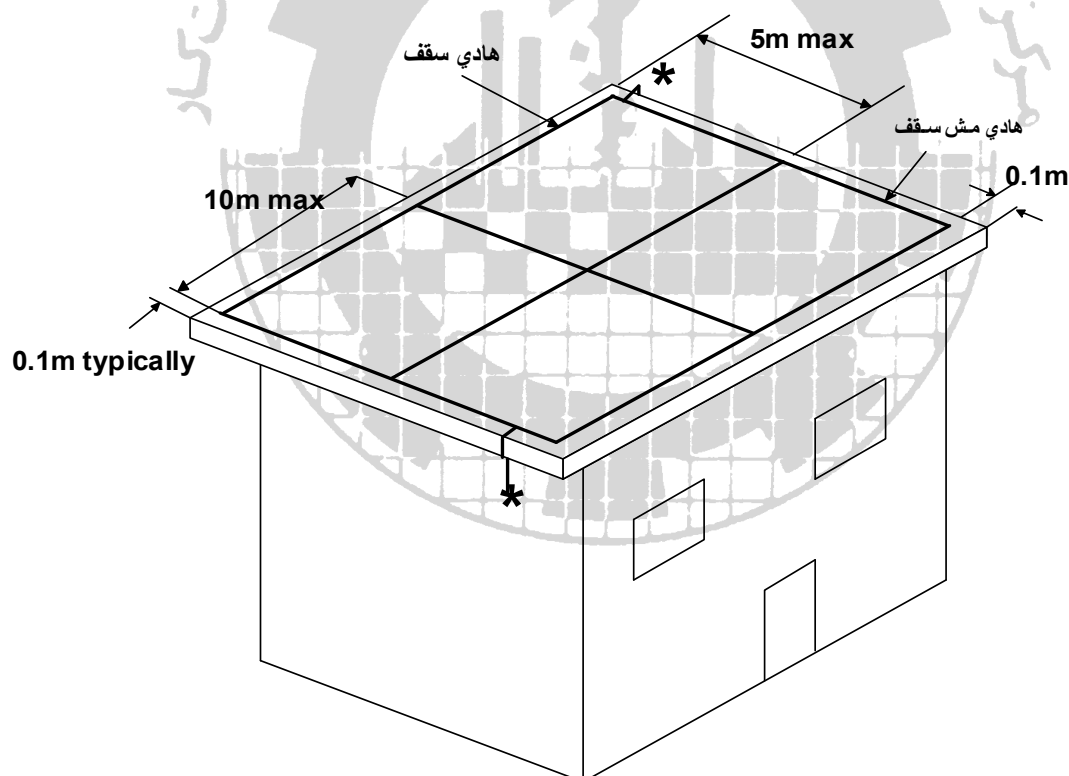
شکل ۱۱- پایانه‌های هوایی و هادی‌های پایین برنده برای ساختمان‌هایی با سقف تخت که در آن‌ها هادی‌های پایانه هوایی روکش PVC دارند.



شکل ۱۲- پایانه‌های هوایی برای سازه‌های بلند

(۲-۱۱-۷) هادی‌های عمودی ساده

شکل (۴ - الف) یک هادی عمودی ساده و ناحیه حفاظت در سطح و ارتفاع را نشان می‌دهد . شکل (۴ - پ) چهار هادی عمودی با زاویه حفاظت افزایش یافته قابل دسترسی بین آن‌ها را نشان می‌دهد . نواحی مورد حفاظت برای این نحوه ترکیب به صورت مسطح نشان داده می‌شوند . به هر حال ، اگرچه در حالت‌های مناسب ، ممکن است مزیت افزایش ناحیه حفاظت را داشته باشد ، اما از آنجا که این امر فقط یک مفهوم آماری است درباره شکل دقیق ناحیه پوشش نمی‌توان اطمینان حاصل کرد .



شکل ۱۳- شبکه پایانه هوایی با هادی‌های افقی برای سازه‌هایی با احتمال خطر انفجار

(۲-۱۱-۳) هادی‌های افقی برای سقف‌های مسطح

شکل (۴-ب) یک پایانه‌ی هوایی ساده را که شامل یک هادی سقف حول محیط یک ساختمان مستطیلی شکل است، نشان می‌دهد. ناحیه‌ی حفاظت به دست آمده در سطح و ارتفاع نشان داده شده است.

شکل ۱۰ یک روش برای سازه‌ای با سقف مسطح بزرگ را نشان می‌دهد که بهترین روش در آن بکارگیری یک سیستم از هادی‌های افقی سقف است. پیشنهاد می‌شود که برای کاهش اثر جرقه زنی ایجاد شده توسط حلقه‌های بزرگ القایی، شبکه‌ی پایانه‌ی هوایی روی یک سقف مسطح به شکل یک مش باشد. هرگاه استفاده از میله‌های عمودی، ضروری است، آن‌ها نباید کمتر از $\frac{0}{3}$ متر ارتفاع داشته باشند. باید مش در قسمت‌های داخلی هادی‌ها برقرار شود و فاصله آن‌ها از یکدیگر نباید بیشتر از ۱۰ متر باشد.

(۲-۱۱-۴) سازه‌های بزرگ

برای ساختمان‌هایی که متشکل از بلوک‌های بلند در مجاورت بلوک‌های کوتاه‌تر هستند، نظیر آنچه در شکل ۱۲ نشان داده شده، حفاظت باید شامل پایانه‌های هوایی، هادی‌های پایین‌برنده و پایانه‌های زمین باشد. حفاظت برای بلوک‌های کوتاه‌تر باید مثل بلوک‌های بلند طراحی شود، در غیر این صورت حفاظت صاعقه‌آن دوام نمی‌آورد. شبکه‌ی پایانه‌ی زمین و محل اتصال باید مشترک باشد.

شکل ۸ ساختمانی را نشان می‌دهد که متشکل از یک بلوک مستطیلی شکل با یک سقف مسطح در سطوح مختلف است. این بلوک به وسیله یک پایانه هوایی افقی شامل هادی‌های سقف در امتداد لبه‌های خارجی سقف و نیز در امتداد لبه‌های داخلی همه قسمت‌های سقف - که بلندتر از قسمت‌های مجاور هستند - حفاظت می‌شود، مگر اینکه آن‌ها در ناحیه حفاظت هادی بلندتر مثل دکل فلزی قرار گیرند.

در صورت بزرگ بودن مساحت سقف ممکن است هادی‌های سقف اضافی مورد نیاز باشد (شکل ۸). تمام اجزای سیستم صاعقه گیر باید به یکدیگر وصل شوند (شکل ۱۲).

در شکل ۱۲ هدف از قراردادن هادی‌های افقی پایه برج، اتصال مش سقف به هادی‌های پایین برنده است. شکل ۹ مثال‌هایی از سقف‌های کنگره‌ای با مساحت بزرگ را نشان می‌دهد. پایانه‌های هوایی افقی نیز نشان داده می‌شوند که عبارتند از: هادی‌های برجسته مقید در هر دو انتها با هادی‌هایی که کنگره‌های سقف را دنبال می‌کنند و اگر سقف طولانی‌تر از ۲۰ متر باشد، هادی‌های اضافی در هر ۲۰ متر در نظر گرفته می‌شوند.

برای سازه‌هایی با ارتفاع بیش از ۲۰ متر و شکل هندسی پیچیده، باید از روش گوی گردان برای تعیین محل‌های مورد نیاز برای پایانه‌های هوایی استفاده شود.

(۷-۱۱-۵) سقف‌های سفالی (آجری)

روی سقف‌های غیرهادی، می‌توان هادی را یا زیر آجرها قرار داد یا ترجیحاً روی آجرها. اگرچه قراردادن هادی زیر آجرها مزیت‌هایی نظیر سادگی و کاهش خطر خوردگی را دارد، اما هر جا که روش‌های همبندی مناسب در دسترس باشند، بهتر است که هادی در امتداد بالای آجرها (در قسمت بیرونی) نصب شود. در نتیجه وقتی که هادی یک ضربه مستقیم دریافت می‌کند، خطر صدمه به آجرها کاهش می‌یابد و همچنین بازرسی نیز ساده می‌شود.

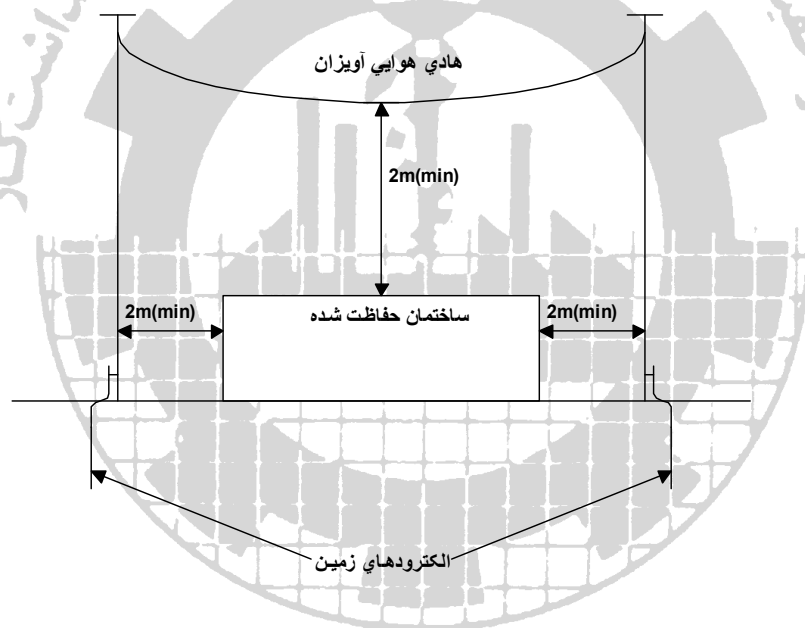
(۷-۱۱-۶) سازه‌های ساده با احتمال خطر انفجار

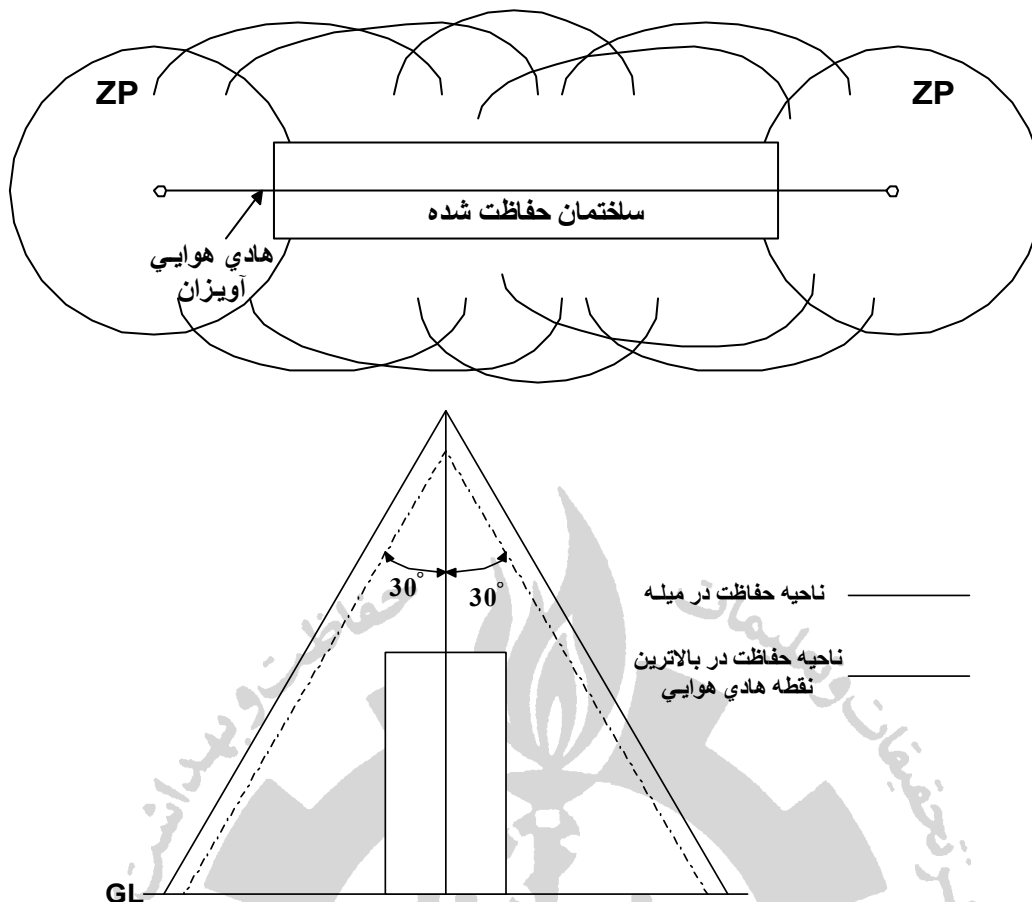
شکل ۱۴ نوعی از نصب را نشان می‌دهد که اساساً برای سازه‌های ساده‌ای که احتمال خطر انفجار در آن‌ها بالاست، منظور شده است. در این روش از دو هادی عمودی که با یک سیم زنجیری افقی به یکدیگر وصل شده‌اند، استفاده می‌شود.

(۷-۱۲) هادی‌های پایین‌برنده

عملکرد یک هادی پایین‌برنده تأمین یک مسیر با امپدانس پایین از پایانه هوایی به الکتروود زمین است؛ به طوری که جریان صاعقه بتواند به راحتی به زمین هدایت شود. از انواع مختلف هادی‌های پایین‌برنده شامل هادی لخت خوابیده در سطح زمین، میله، ستون‌های مسطح و ستون‌های پیش‌ساخته فولادی سازه و غیره می‌توان استفاده

کرد. هر هادی مناسبی که بخشی از ساختمان را تشکیل بدهد، می‌تواند برای این منظور استفاده و به نحو مناسبی به پایانه‌های زمینی و هوایی متصل شود. عموماً استفاده از تعداد بیشتر هادی‌های پایین‌برنده، خطر جرقه جانبی و پدیده‌های نامطلوب دیگر را کمتر می‌کند. همچنین هادی‌های بزرگ، خطر جرقه جانبی کاهش می‌دهند، مخصوصاً اگر عایق باشند. به هر حال، عمل سیستم هادی پایین‌برنده کواکسیال روکش‌دار، به طور مشخصی در تمام جهات هادی‌های با ابعاد یکسان و عایق متفاوت نیست و نمی‌توان با استفاده از چنین هادی‌های روکش‌دار تعداد هادی‌های پایین‌برنده را کاهش داد.





شکل ۱۴- پایانه هوایی و ناحیه حفاظت برای یک سازه ساده با احتمال خطر انفجار

در عمل، وجود تعداد زیادی از هادی‌های پایین برنده به صورت موازی متناسب با شکل ساختمان ضروری است. تعدادی از این هادی‌ها یا همه آن‌ها می‌توانند بخشی از سازه ساختمان باشند. مثلاً یک سازه با اسکلت فولادی یا بتون مسلح احتمالاً نیازی به هادی‌های پایین برنده اضافی نداشته باشد، زیرا خود اسکلت شبکه طبیعی مؤثری از مسیرهای مختلف به زمین ایجاد می‌کند، برعکس، در سازه‌هایی که کاملاً از مواد غیر هادی ساخته شده، هادی‌های پایین برنده متناسب با اندازه و شکل سازه ضروری خواهد بود.

به طور خلاصه، هر جا که امکان پذیر باشد، سیستم هادی پایین برنده باید مسیر مستقیمی را از پایانه هوایی به شبکه پایانه زمینی ایجاد کند و به طور متقارن حول

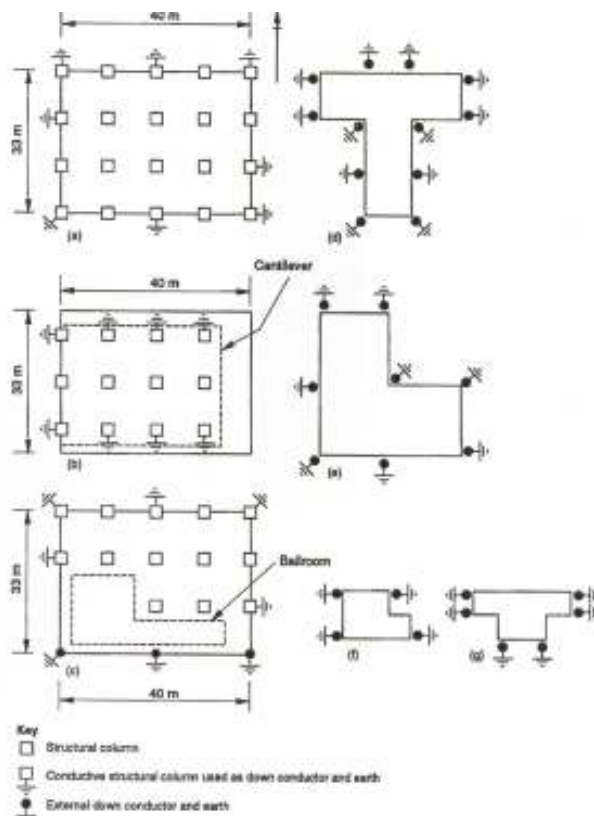
دیواره های خارجی سازه قرار داده شود ، به طوری که شروع سیستم از گوشه های سازه باشد .

(۷-۱۲-۱) نمونه های هادی پایین برنده

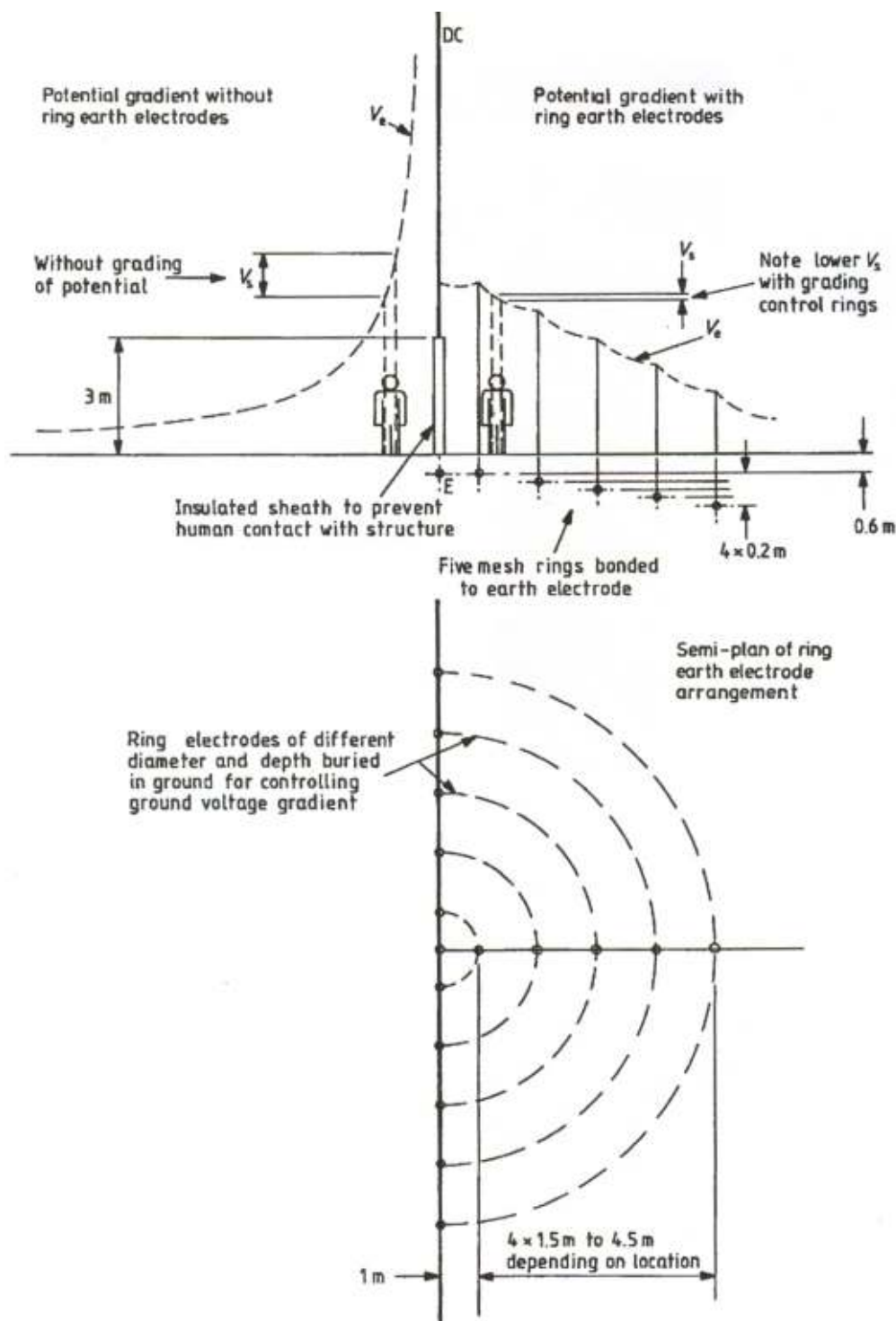
انواع مختلفی از سازه ها ، با اسکلت فولادی یا بدون آن ، در شکل ۱۵ نشان داده می شوند . در سازه های مرتفع ، اسکلت فولادی یا بتون مسلح - که همه آن ها باید به یکدیگر وصل شوند - به همراه لوله های عمودی و مشابه آن ها که از بالا و پایین همبندی شده اند ، در تخلیه جریان صاعقه نقش مهمی دارند . بنابراین طراحی یک سیستم صاعقه گیر شامل همه ستون های پیوسته یا مهارهای سازه - در حقیقت کل سازه - خواهد بود . در ساختمان هایی با اسکلت فولادی یا بتون مسلح ، هادی های پایین برنده جداگانه مورد نیاز نیست . شکل (۱۵ - الف) یک ساختمان با اسکلت فولادی را نشان می دهد . بنابراین هیچ هادی پایین برنده اضافی مورد نیاز نیست ؛ اما وجود سیستم اتصال به زمین الزامی است . شکل (۱۵ - ب) یک نمونه هادی پایین برنده را نشان می دهد که طبقات بالایی در جهت های شمالی ، شرقی و جنوبی واقع شده اند . شکل (۱۵ - پ) نمونه ای را نشان می دهد که یک استخر شنا و تراس (به عنوان مثال) روی ضلع های جنوبی و غربی واقع شده اند . شکل های (۱۵ - ت) الی (۱۵ - ث) ساختمان هایی را نشان می دهند که شکل آن ها به گونه ای است که همه هادی های پایین برنده را می توان روی دیواره های خارجی در نظر گرفت؛ باید مراقب بود که با انتخاب مناسب فاصله هادی پایین برنده از نواحی ورودی و خروجی برای قرار گرفتن

هادی‌ها استفاده نشود تا از گرادیان ولتاژ خطرناک در طول سطح زمین جلوگیری شود

(شکل ۱۶ را نیز ملاحظه کنید).



۶- نمونه‌های هادی پایین برنده برای اشکال مختلف سازه‌های بلند



شکل ۱۶- گرادیان ولتاژ در امتداد سطح زمین نزدیک به میله‌های پرچم، برج‌ها و ستون‌هایی با چند الکترود

(۲-۱۲-۷) تعداد هادی‌های پایین برنده مورد نیاز

در سازه‌های بزرگ ، موقعیت و فاصله هادی‌های پایین برنده اغلب بر اساس سهولت معماری معین می‌شوند . به هر حال ، توصیه می‌شود که به ازای هر ۲۰ متر یک هادی در نظر گرفته شود. سازه‌هایی با ارتفاع بیش از ۲۰ متر باید به ازای هر ۱۰ متر یک هادی داشته باشند .

برای سازه‌های مرتفع - که اندازه‌گیری و بازرسی آنها مشکل است - باید یک وسیله برای آزمون پیوستگی سیستم تأمین شود . برای چنین آزمون‌هایی حداقل دو هادی پایین برنده مورد نیاز خواهد بود (شکل ۳) .

(۳-۱۲-۷) مسیر هادی‌های پایین برنده

یک هادی پایین برنده باید مستقیم‌ترین مسیر ممکن بین شبکه پایانه هوایی و شبکه پایانه زمین را طی کند . وقتی بیش از یک هادی پایین برنده استفاده می‌شود ، چیدمان هادی‌ها باید تا آنجا که ممکن است حول دیواره‌های خارجی سازه انجام گیرد و این چیدمان باید از گوشه‌ها شروع شود (شکل ۱۵) .

در تعیین مسیر ، با در نظر گرفتن مطلب فوق الذکر ، امکان بکارگیری اسکلت فولادی سازه مثل آرماتورهای بتون مسلح و هر جزء دایمی و پیوسته فلزی آن سازه - که به طور مناسبی در دسترس است - در سیستم پایانه هوایی باید مد نظر قرار گیرد.

در محوطه بیرونی باید هر ۲۰ متر یک هادی پایین برنده تعبیه شود. به هر حال، حداقل دو هادی پایین برنده باید وجود داشته باشند و این هادی‌ها باید به طور متقارن قرار گیرند.

(۷-۱۲-۴) استفاده از آرماتورها به عنوان هادی پایین برنده در سازه های بتونی

میله های فلزی یک سازه بتون مسلح گاهی اوقات در محل جوش داده می شوند، بنابراین پیوستگی الکتریکی مطمئن را فراهم می کنند. همچنین به دفعات زیاد در محل های تقاطع توسط سیم های اتصالی فلزی به یکدیگر متصل می شوند. لذا تعداد زیاد میله ها و نقاط تقاطع چنین سازه ای مسیرهای تخلیه موازی زیادی برای جریان کلی صاعقه ایجاد می کنند. تجربه نشان می دهد که چنین ساختمانی را می توان به عنوان بخشی از سیستم صاعقه گیر بکاربرد. البته باید موارد ذیل را به دقت بررسی نمود.

الف) اتصال بین میله های آرماتور باید مطمئن باشد؛ با اتصال میله ها به یکدیگر توسط سیم های محکم کننده.

ب) اتصالات باید برای میله های عمودی به عمودی و نیز برای میله های افقی به عمودی تأمین شوند.

(۷-۱۲-۵) اجزای بتونی پیش تنیده

هادی های صاعقه گیر نباید به ستون های بتونی پیش تنیده و به پایه هایی که سیم ها به یکدیگر متصل نشده اند و بنابراین از نظر الکتریکی پیوسته نیستند ، وصل شوند.

(۷-۱۲-۶) اجزای بتونی پیش ساخته

درحالتی که ستون های بتون مسلح و سایر اجزاء پیش ساخته باشند ، آرماتور فقط زمانی می تواند به عنوان یک هادی استفاده شود که همه اجزای آرماتور به یکدیگر متصل باشند و از پیوستگی الکتریکی آن ها اطمینان حاصل شود .

(۷-۱۲-۷) مسیرهای خارجی غیر قابل دسترسی

در مواقعی که پیش بینی مسیرهای خارجی مناسب برای هادی های پایین برنده عملی یا مصلحت آمیز نباشد، هادی های پایین برنده نباید محیط خارجی ساختمان را دنبال کنند . چنین عملی برای اشخاصی که زیر طاق نما ایستاده اند ، خطر ایجاد می کند . در چنین حالت هایی ، هادی های پایین برنده ممکن است در یک فاصله هوایی که با یک کانال داخلی غیر فلزی غیر احتراقی ایجاد می شود ، قرار بگیرند و مستقیم به سمت پایین تا زمین برده شود (شکل ۱۷) .

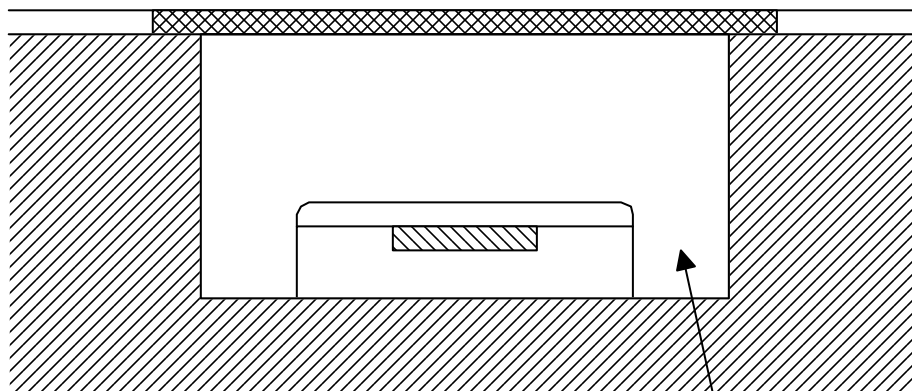
از هر بریدگی پوشش دار مناسبی که بزرگ تر یا مساوی $76mm \times 13mm$ باشد ، یا هر کانال سرویس عمودی مناسب که ارتفاع کلی ساختمان را در بر می گیرد ، می توان

برای این منظور استفاده کرد ، مشروط بر این که کابل سرویس با پوشش غیر فلزی یا غیر مسلح را در بر نگیرد .

(۷-۱۲-۸) انحنای تیز و حلقه های مقعر

باید توجه داشت که همواره نمی توان مستقیم ترین راه را دنبال کرد. در حالی که انحنای تیز، مثل آن هایی که در لبه یک طبقه به وجود می آیند ، مجاز هستند، حلقه های مقعر در یک هادی می توانند افت ولتاژهای القایی بالایی را تولید کنند، ضمن این که تخلیه صاعقه ممکن است به امتداد طرف باز حلقه پرتاب شود . وقتی طول هادی تشکیل دهنده حلقه از هشت برابر عرض سمت باز حلقه تجاوز کند ، این خطر ممکن است بیشتر شود (شکل ۱۸) .

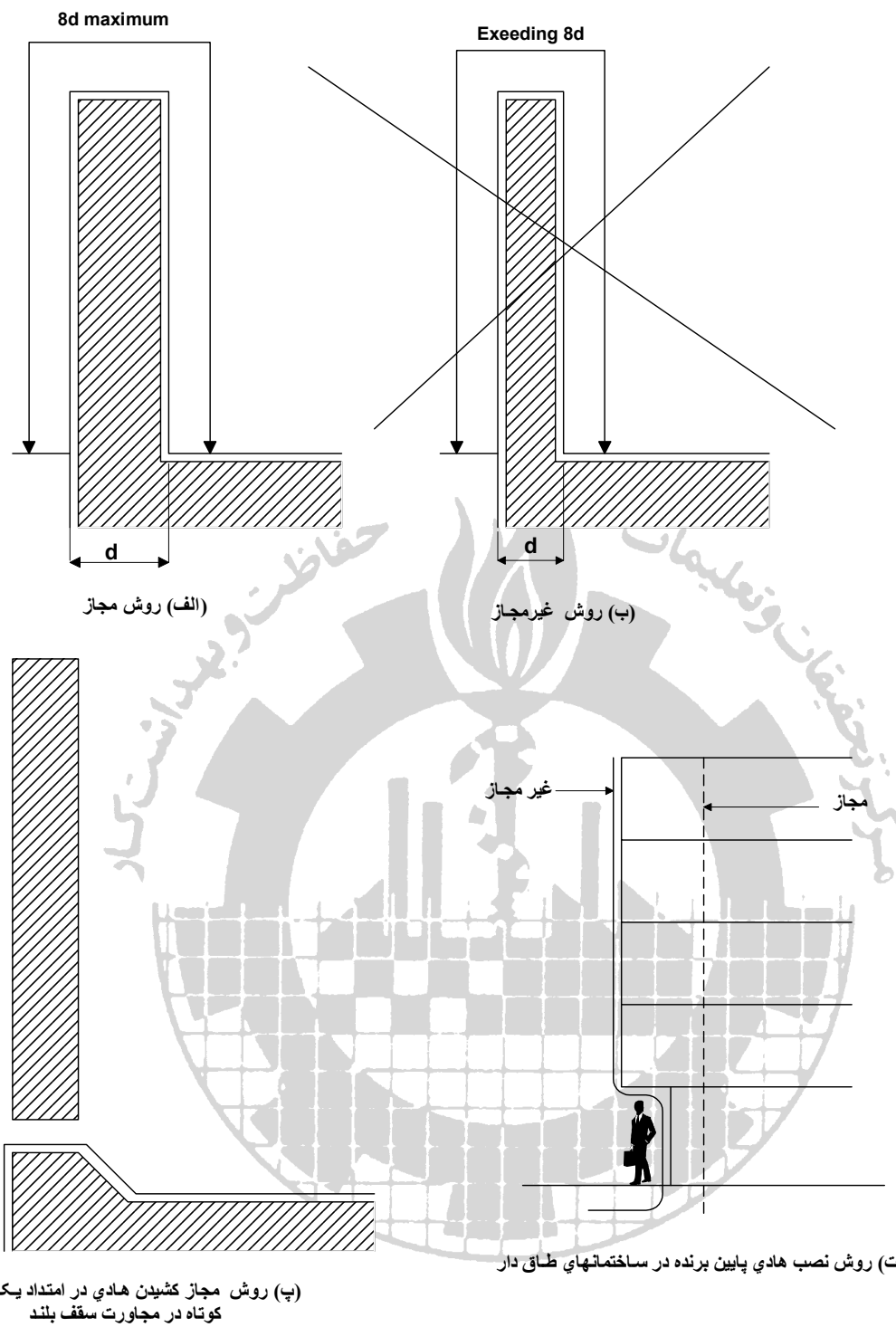
اگر حلقه های بزرگ مقعر اجتناب ناپذیر باشد ، مثلاً در حالت گچبری ها یا جان پناه ها ، داخل چنین گچبری ها یا جان پناه هایی باید حفره ایجاد شود که هادی بتواند آزادانه از آنجا عبور کند .



سطح مقطع بزرگتر یا مساوی
 $76\text{ mm} \times 13\text{ mm}$

شکل ۱۷- هادی پایین برنده در داکت داخلی





شکل ۱۸- حلقه‌های مقعر

(۷-۱۲-۹) اتصال برای جلوگیری از جرقه جانبی

کلیه اشیای فلزی داخل یک ساختمان یا فلز تشکیل دهنده قسمتی از ساختمان یا هر سرویس دیگر که به وسیله طراحی یا سهواً در ارتباط با جرم عمومی زمین هستند، باید یا کاملاً از هادی زمین مجزا باشند یا به آن وصل شوند. توصیه می‌شود این اتصالات به همه نمونه های فلزی بزرگ مستقر در معرض هوا، چه به زمین وصل باشند چه نباشند، اعمال شوند.

لازم به توضیح است که زمانی یک نمونه بزرگ در نظر گرفته می‌شود که هر بعدش بزرگ‌تر از ۲ متر باشد. از نمونه های کوچک‌تر مثل لوله‌های در، طاقچه های شیروانی فلزی و تیرهای مسلح مجزای کوچک می‌توان صرف‌نظر کرد.

(۷-۱۲-۱۰) اتصالات

الزامات الکتریکی و مکانیکی

یک اتصال باید از نظر مکانیکی و الکتریکی مؤثر و از خوردگی در داخل و ساییدگی در محیط کار محفوظ باشد. ممکن است کل جریان صاعقه از طریق فلز خارجی روی یک ساختمان یا تشکیل دهنده بخشی از ساختمان تخلیه شود. در این صورت، سطح مقطع اتصال آن به سیستم صاعقه گیر نباید کمتر از مقدار سطح مقطع هادی های اصلی باشد. از سوی دیگر، فلز داخلی خیلی آسیب پذیر نیست و اتصالات مربوط به آن اکثراً فقط برای حمل کسری از جریان صاعقه کلی و به دور از عملکرد پتانسیل های یکسان سازی

آن هاست . بنابراین ، اتصالات مورد اشاره اخیر، از نظر سطح مقطع ممکن است کوچک تر از مقدار مورد استفاده برای هادی های اصلی باشند.

اتصالات

هر اتصالی (غیر از آن هایی که با جوش ایجاد شده اند) ، ناپیوستگی در سیستم هدایت جریان را نشان می دهد و مستعد تغییر و خرابی است . بنابراین ، سیستم حفاظتی صاعقه باید تا حد امکان تعداد اتصال کمتری داشته باشد . اتصالات باید از لحاظ الکتریکی و مکانیکی مؤثر باشند ، مثلاً با کلمپ بسته شوند ، پیچ و مهره شوند ، پرچ شوند یا جوش داده شوند . در اتصالاتی که روی هم می افتند، میزان روی هم افتادگی برای کلیه انواع هادی ها نباید کمتر از ۲۰ میلیمتر باشد . سطوح تماس باید تمیز باشند و با یک ترکیب ضد زنگ از اکسیداسیون آن ها جلوگیری شود . اتصالات دو فلز مختلف باید با استفاده از یک سمباده جدا برای هر نوع ماده ، به نحو مؤثری تمیز شوند .

همه اتصالات باید در برابر خوردگی یا فرسایش ناشی از المان های محیطی حفظ شوند و یک محیط اتصال مناسب آماده شود . بازرسی دوره ای با بکارگیری یکی از پوشش های حفاظتی ذیل آسان می شود:

الف) تیکسو تروپیک با پایه پترولیوم واکس

(Petroleum – wax – based thixotropic)

ب) پوشش های لاستیکی آئروسول (بخار) اسپری شده

ج) ورقه های تمیزی که به وسیله حرارت جمع می شوند

برای پیچ و مهره کردن هادی بدون روکش خوابانده شده روی زمین، کمترین چیزی که مورد نیاز است، دو پیچ $M8$ یا یک پیچ $M10$ و برای اتصال پرچ شده، چهارمیخ (پرچ) به قطر ۵ میلی متر است.

(۷-۱۲-۱۱) نقاط آزمون

هر هادی پایین برنده باید درمحل‌ی که برای آزمایش راحت است، یک اتصال آزمون داشته باشد، به شرطی که تداخل غیر مجاز نداشته باشد. پلاک‌های نشان دهنده موقعیت، تعداد و نوع الکترودهای زمین باید روی هر نقطه آزمون قرار داده شوند.

(۷-۱۳-۱) شبکه پایانه زمین

(۷-۱۳-۱) مقاومت نا زمین

به کلیه هادی‌های پایین برنده باید یک الکتروود زمین وصل شود. هر یک از این الکتروودها باید مقاومتی (بر حسب اهم) داشته باشند که از ده برابر تعداد الکتروودهای زمین بیشتر نباشد. کل شبکه پایانه زمینی باید دارای مقاومتی کلی تا زمین باشد که بدون احتساب هر اتصال به سرویس‌های دیگر از ۱۰ اهم تجاوز نکند.

اگر مقدار بدست آمده برای کل سیستم صاعقه گیر از ۱۰ اهم تجاوز نکند، می‌توان با الکتروودهای منحصر به فرد هادی‌های پایین برنده توسط یک هادی که حداقل ۰/۶ متر زیر زمین نصب شده، کاهشی در مقدار مقاومت بدست آورد. گاهی اوقات یک الکتروود

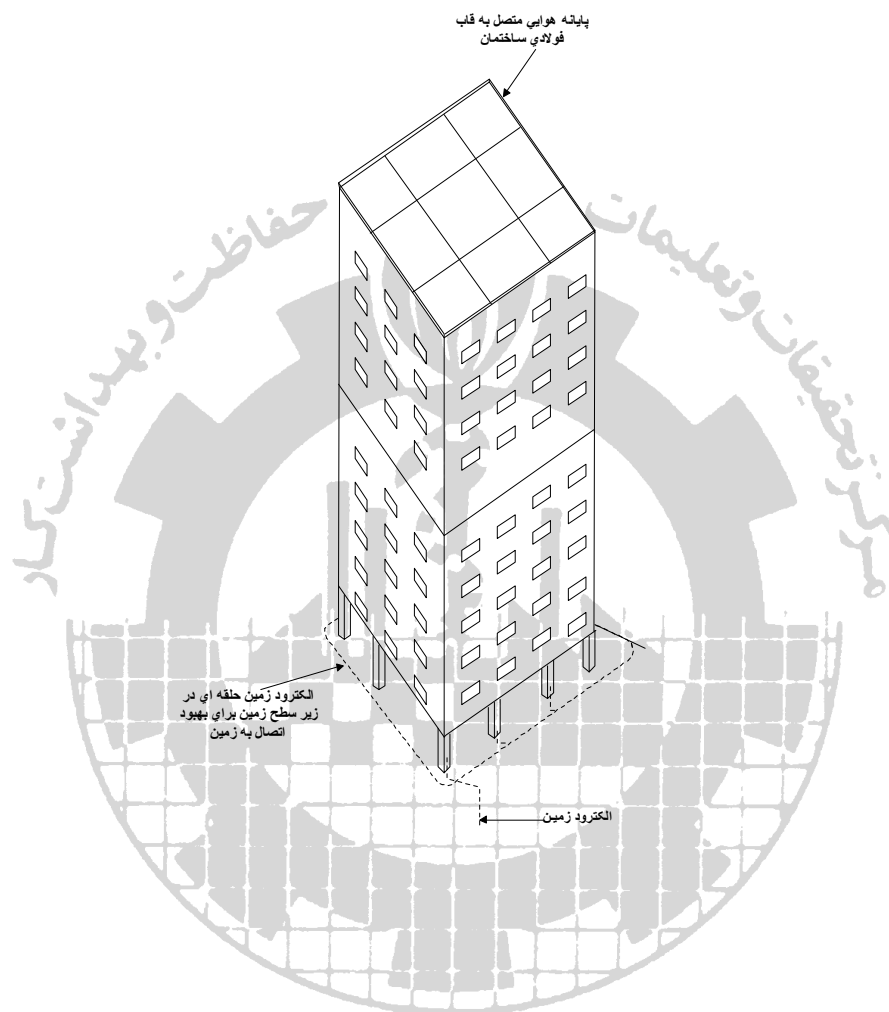
زمین به صورت حلقه است (شکل ۱۹). الکترودهای زمین حلقه ای ترجیحاً باید از زیر کابل های ورودی عبور کنند .

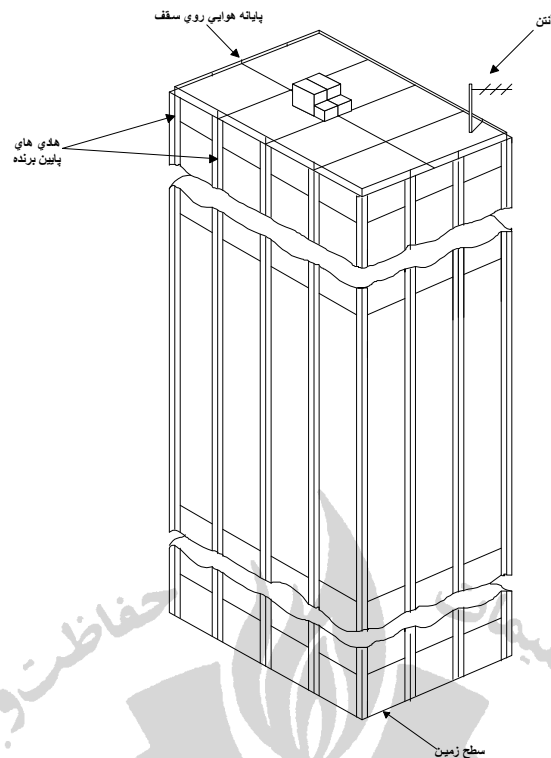
الکترودهای زمین حلقه ای مدفون که به روش مذکور قرار داده شده اند ، به عنوان جزئی از شبکه پایانه زمین در نظرگرفته می شوند و باید در ارزیابی مقدار کلی مقاومت تا زمین، مورد محاسبه قرار گیرند .

در یک سازه با قاب فولادی ، اجزای قاب فولادی در حالت نرمال به اندازه کافی به خوبی به یکدیگر متصل می شوند، لذا می توانند به عنوان هادی های پایین برنده عمل کنند. انتهای پایینی سازه باید به روش مناسبی زمین شود ؛ در بیشتر نمونه ها، فونداسیون ساختمان ممکن است بدون الکترودهای اضافی زمین، مقاومت زمین پایینی داشته باشد ، مخصوصاً اگر اسکلت ساختمان از تیرهای بتون مسلح تشکیل شود . اندازه گیری مقاومت زمین اسکلت هایی که تازه تکمیل شده اند ، نشان خواهد داد که آیا آن ها به تنهایی کافی هستند یا اینکه الکترودهای زمین بیشتری باید اضافه شوند. اگر از اسکلت ساختمان به تنهایی استفاده شود ، پیش بینی هایی باید صورت گیرد تا هر جزء عمودی سازه فولادی به مبدأ زمین (شینه) میله های بتون آرمه اسکلت متصل شود .

(۷-۱۳-۲) اهمیت کاهش مقاومت تا زمین

کاهش مقاومت به زمین تا مقداری زیر یک اهم باعث کاهش گرادیان پتانسیل حول الکترودهای زمین در هنگام تخلیه جریان صاعقه می‌شود . همچنین این امر، خطر جرقه زنی جانبی به فلز داخل یا روی ساختمان را کاهش می‌دهد.





شکل ۱۹- سیستم حفاظت در برابر صاعقه برای ساختمان‌هایی با ارتفاع بیش از ۲۰ متر

(۷-۱۳-۳) جداسازی سیستم‌های الکترود زمین برای آزمایش

الکترودهای زمین باید قابلیت جدا شدن را داشته باشند و یک الکترود زمین مرجع باید برای آزمایش تعبیه شود.

اگر از ساختار فولادی یک ساختمان به عنوان هادی‌های پایین برنده استفاده می‌شود، نقاط آزمون کافی برای اطمینان از برقراری پیوستگی مقاومت پایین باید تعبیه شود. این امر مخصوصاً برای قسمت‌هایی از ساختمان که قابل رؤیت نیستند، مهم است. یک الکترود زمین مرجع برای این آزمون‌ها مورد نیاز خواهد بود.

(۷-۱۳-۴) سازه‌های روی صخره

سازه‌ای که روی صخره بنا شده، باید با یک الکتروود زمین افقی که محیط اطراف سازه را دور می‌زند، مجهز شود. اگر زمین پوشش خاکی هم داشته باشد، باید از آن استفاده کرد. این هادی باید زیر فونداسیون یک سازه جدید نصب شود.

(۷-۱۴) الکتروودهای زمین

قبل از طراحی، تصمیم‌گیری در مورد شکل الکتروود زمین لازم است، به طوری که بیشترین مناسبت را با طبیعت فیزیکی خاک - که با آزمایش روی حفره‌های شکاف معلوم می‌شود - داشته باشد.

الکتروودهای زمین باید از میله‌های فلزی، لوله‌ها یا تسمه‌ها و یا زمین‌های موجود نظیر ستون‌ها و فونداسیون‌های فلزی تشکیل شود.

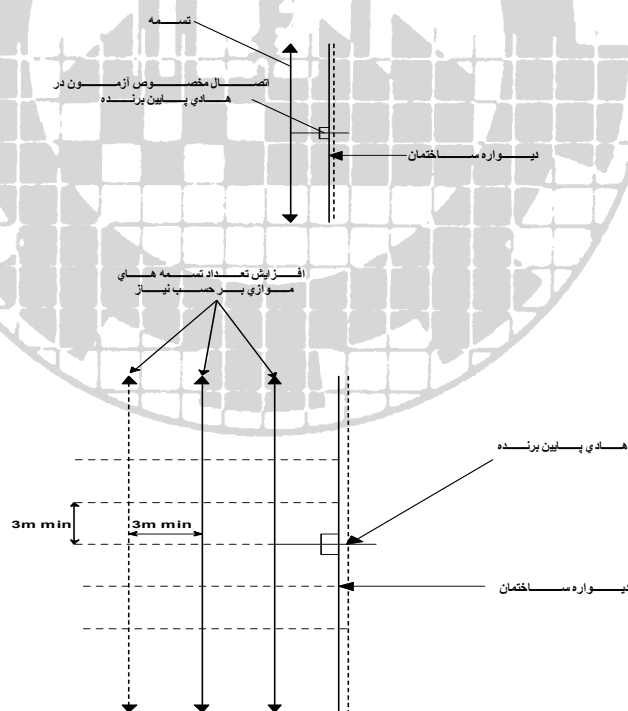
(۷-۱۴-۱) الکتروودهای میله‌ای

در صورت استفاده از میله‌های زمین، آن‌ها باید به داخل زمین، یا حتی المقدور نزدیک ساختمان و هادی پایین برنده رانده شوند. قراردادن پایانه‌ها دور از ساختمان معمولاً غیر ضروری و غیراقتصادی است (شکل ۲۰). جایی که شرایط زمین برای استفاده از میله‌های موازی مطلوب باشد، اگر فاصله بین میله‌ها کمتر از طول (رانده شده) آن‌ها در نظر گرفته شود، کاهش چشمگیری در اندازه مقاومت زمین مشاهده نمی‌شود.

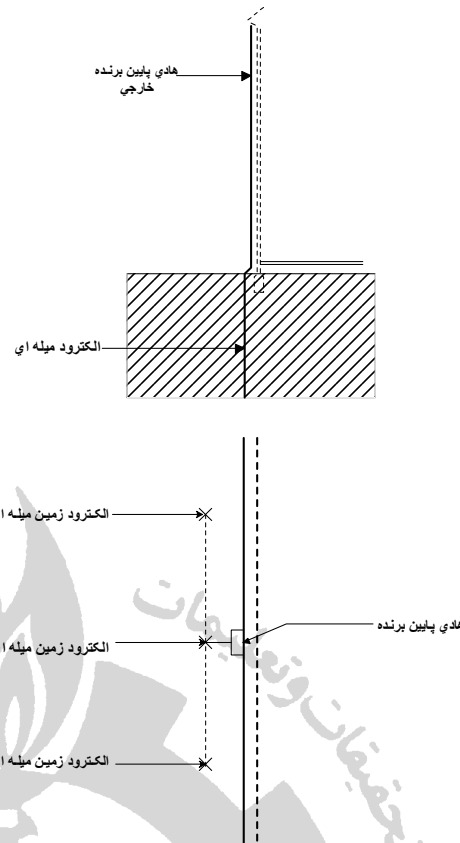
(۷-۱۴-۲) الکترودهای افقی (تسمه ای)

در صورت استفاده از الکترودهای افقی، می‌توان آن‌ها را زیر سازه مدفون کرد یا در شیارهایی با عمقی که با خشک شدن فصلی یا عملیات کشاورزی به ندرت تحت تأثیر واقع می‌شوند، قرار داد.

الکترودهای افقی ترجیحاً باید از نقطه اتصال با یک هادی پایین برنده به صورت شعاعی مرتب شوند. تعداد و طول تسمه‌های مورد نیاز باید طوری باشد که بدست آوردن مقاومت تا زمین مطلوب امکان‌پذیر باشد. اگر به دلیل محدودیت مکانی، ناگزیر از بکارگیری یک شکل موازی یا مشبک از تسمه‌ها باشیم، باید مطابق شکل ۲۰ این عمل را انجام داد. در این صورت باید توجه داشت که فاصله بین تسمه‌های موازی نباید کمتر از ۳ متر باشد.



(الف) الکترودهای تسمه‌ای



شکل ۲۰- پایانه‌های زمین: ترتیب فرار گرفتن الکتروودهای

(ب) الکتروودهای میله‌ای تکی یا چند تایی

زمین

(۷-۱۵) فلز داخل یا روی یک ساختمان

تخلیه الکتریکی صاعقه می‌تواند از طریق جرقه زنی جانبی به فلز دیگر در سازه، مسیرهای دیگری را به زمین طی کند.

برای جلوگیری از جرقه زنی جانبی دو روش متفاوت وجود دارد:

الف) جداسازی (ایزولاسیون)

ب) اتصال الکتریکی

روش جداسازی نیاز به فاصله ایمنی بین سیستم صاعقه گیر و فلز دیگر در سازه

دارد. عیب اصلی روش مذکور این است که به دست آوردن و نگهداری فاصله ایمنی

مطمئن مورد نیاز و حصول اطمینان از عدم اتصال با زمین فلز جدا شده (مثلاً از میان آب یا سرویس های دیگر) دشوار است . اصولاً اتصال الکتریکی معمول ترین روش مورد استفاده است .

(۷-۱۵-۱) ایزولاسیون

تخمین فاصله ایمنی برای جلوگیری از جرقه زنی جانبی

فاصله ایمنی مورد نیاز برای جلوگیری از جرقه زنی جانبی ، به ولتاژ تحمل شده توسط سیستم صاعقه گیر نسبت به زمین بستگی دارد که آن هم به نوبه خود به قدرت جریان در فلاش صاعقه وابسته است .

عیب هادی روکش دار این است که پتانسیل های بالای صد کیلو ولت می توانند بین هادی داخلی و هادی خارجی روکش دار در بالا ایجاد شوند ، به طوری که تحریک برای جرقه جانبی اتفاق می افتد و نیز هادی داخلی برای بررسی در دسترس قرار ندارد .

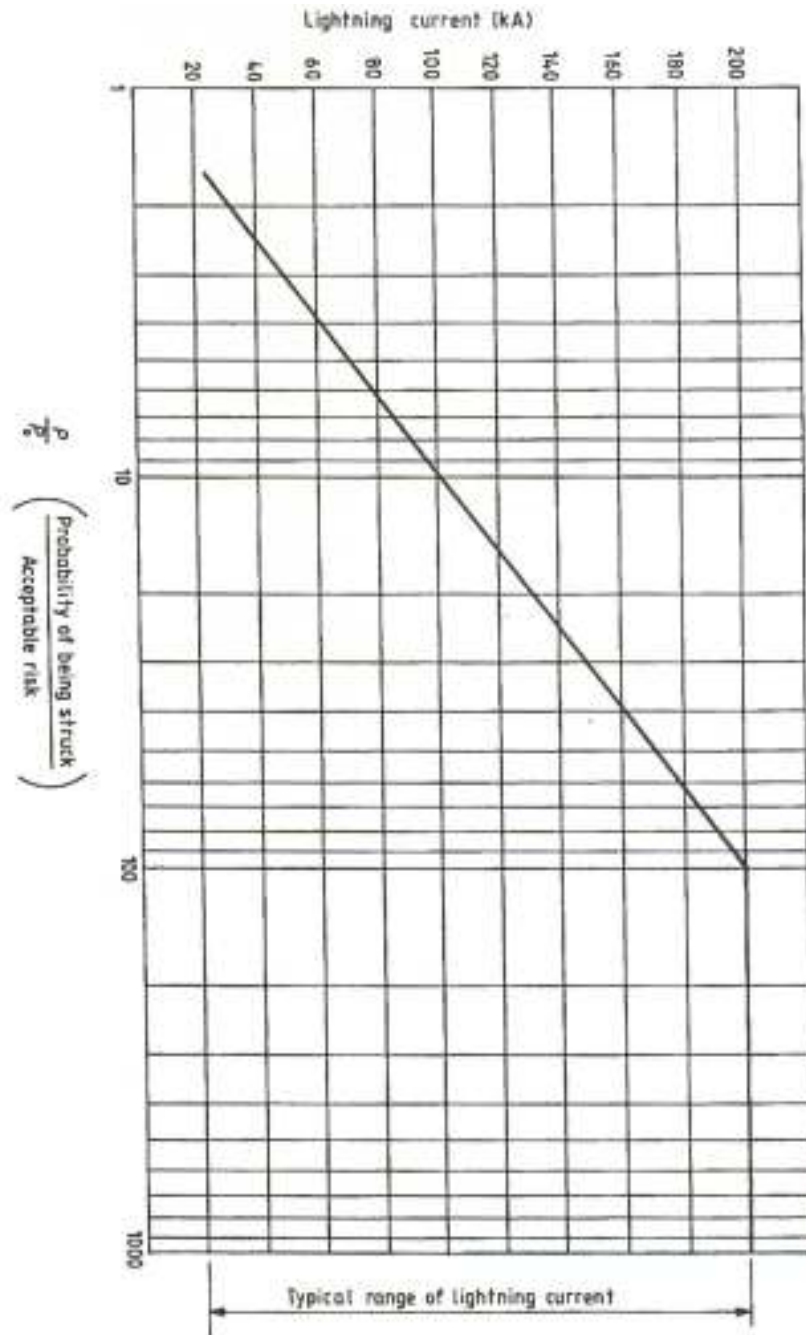
تعیین جریان مورد انتظار

برای تعیین جریان در فلاش صاعقه ، مراحل ذیل باید طی شود :

الف) تخمین خطر سازه ای که صاعقه به آن برخورد می کند (P)

ب) تقسیم خطر تخمین زده شده (P) به میزان خطر قابل قبول P_{u}

ج) تعیین حداکثر جریان محتمل با استفاده از نمودار شکل ۲۱



شکل ۲۱- نمودار تعیین جریان حداکثر محتمل در فلش صاعقه

ولتاژی که سیستم صاعقه گیر باید تحمل کند

ولتاژی که سیستم صاعقه گیر باید تحمل کند، شامل دو جزء است: یکی نتیجه حاصلضرب جریان و مقاومت تا زمین و دیگری حاصلضرب نرخ تغییر جریان و اندوکتانس هادی پایین برنده است. در بدترین حالت، جمع ساده این دو ضرب ولتاژی را که باید بعداً در محاسبات استفاده شود، به دست می دهد.

محاسبه ولتاژهای القایی تولیدشده بین یک هادی صاعقه و دیگر اجزای فلزی مستعد جرقه جانبی

اگر چه تا کنون اصطلاح خود القایی برای این محاسبه استفاده شده است ، اما در عمل ولتاژ القا شده در یک حلقه متشکل از خود هادی پایین برنده و اجزای فلزی دیگر بالا می رود . بنابراین کوپلینگ شدیدی توسط خودالقایی (L) منهای اندوکتانس متقابل (M) به این وسیله فلزی تولید می شود . این مقدار ($L - M$) اندوکتانس انتقالی نامیده می شود (M_T) که جایگزین خودالقایی برای این نوع از محاسبه ولتاژ تولید شده به روش القایی می گردد. روش محاسبه به شرح ذیل است:

برای یک هادی صاعقه عمودی با سطح مقطع دایره ای به شعاع r (برحسب متر) که به فاصله S (برحسب متر) از اجزای فلزی عمودی دیگر قرار گرفته و S فاصله بین مراکز دو هادی است - همان طور که در شکل (۲۲ - الف) نشان داده شده - اندوکتانس انتقالی M_T (برحسب $\mu H/m$) توسط معادله ذیل داده می شود :

$$M_T = 0.4610 \log_{10} \frac{S}{r}$$

برای هادی های پایین برنده غیر دایره ای به یک شعاع مؤثر (r_e) ، نیاز است (طبق شکل (۲۲ - ب)) . مثلاً برای یک سیم لخت افقی با ابعاد $3mm \times 25mm$ ، r_e (بر حسب متر) از طریق معادله ذیل محاسبه می شود:

$$r_e = \frac{w+t}{3.5} = \frac{0.025+0.003}{3.5} = 0.008$$

قابل ذکر است که شکل مقطع عرضی لوله فلزی یا اشیاء فلزی دیگر تأثیری در محاسبه M_T ندارد . پس از به دست آوردن M_T ، ولتاژ القایی V_T (برحسب KV) که در حلقه نشان داده شده در شکل (۲۲ - الف) تولید می شود ، از طریق معادله زیر محاسبه می گردد :

$$V_L = \left(\frac{di}{dt} \right)_{\max} \times \frac{\ell m_T}{n}$$

که ℓ طول حلقه (بر حسب متر) ، $\left(\frac{di}{dt} \right)_{\max}$ نرخ تغییر جریان ماکزیمم (بر حسب $\frac{KA}{\mu s}$ یعنی $200 \frac{KA}{\mu s}$) ، و n تعداد هادی‌های پایین برنده است که به طور همزمان جریان صاعقه را عبور می‌دهند .

اگر چندین هادی پایین برنده وجود دارد ، همیشه فاصله S تا نزدیک‌ترین آن‌ها باید در نظر گرفته شود .

مثلا اگر $S = 1m$ ، $r = 0/008m$ ، $\ell = 5m$ و $n = 4$ باشد :

$$V_L = 200 \times 5 \times \frac{0/46 \log_{10} \left(\frac{1}{0/008} \right)}{4}$$

$$V_L = 240kv$$

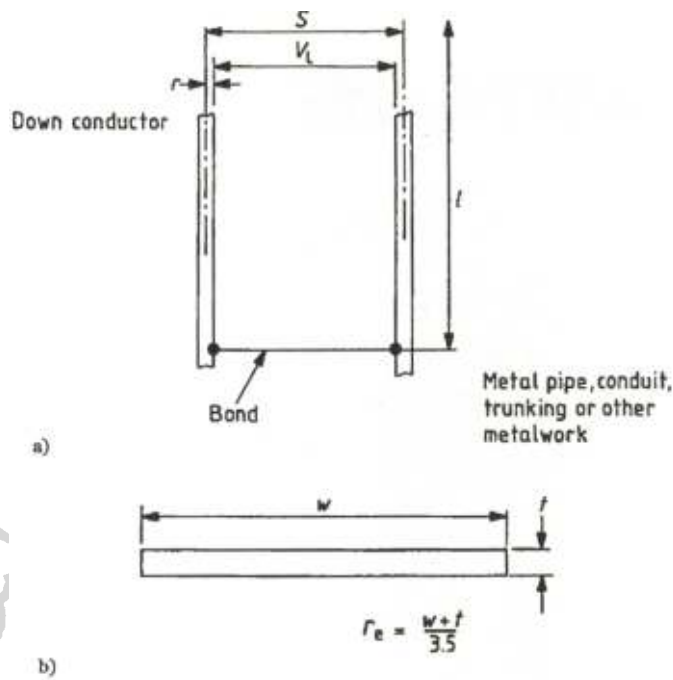
یک فضای خالی در بالای حلقه (شاید یک بازوی جانبی از جسم فلزی) تا هادی پایین برنده باید به اندازه $0/4$ متر به طور محلی کوچک باشد تا یک خطر جرقه اضافی را ایجاد کند . یک چنین بازوی جانبی ، اگر خیلی نزدیک باشد ، باید برای ایمنی به هادی پایین برنده متصل شود .

در ساختمان‌های مستطیلی یا مربعی با بیش از چهار عدد هادی پایین برنده ، هادی‌های پایین برنده گوشه ، سهم نامتناسب بزرگی از جریان کلی (به عبارت دیگر بزرگتر از $\frac{i}{n}$) را منتقل می‌کنند ، به طوری که ضریب 30% باید به ولتاژ تولید شده در نزدیکی چنین هادی اضافه شود .

برعکس ، در ناحیه مرکزی ساختمان‌ها وجود تعداد زیادی هادی پایین برنده (یعنی

دور از هادی پایین برنده گوشه) ، مقدار $\frac{di}{dt}$ کمتر از مقداری است که با تعداد هادی‌های

پایین برنده با مقدار تقریبی ۳۰٪ بدست می‌آید و فلاش جانبی خطر نسبتاً کمی دارد، با فرض اینکه همهٔ سرویس‌ها طوری متصل شوند که مقاومت‌های زمین اختلاف پتانسیل تولید نکنند.



شکل ۲۲- اندوکتانس انتقالی در حلقه ساده

(۷-۱۵-۲) شرایطی که همبندی الزامی است

هر قسمت فلزی سازه با پیوستگی الکتریکی (مثل یک سقف ، دیوار ، کف ، پوشش فلزی یا پوشش دیواری) ، را می توان به عنوان جزیی از سیستم صاعقه گیر بکار برد ، مشروط بر آنکه مقدار و ترتیب پوشش فلزی آن برای استفاده مناسب باشد .

اگر یک سازه یک قاب فلزی پیوسته باشد ، نیاز به هیچ پایانه هوایی یا هادی زمین ندارد . کافی است مطمئن شویم که مسیر هدایت از نظر الکتریکی و مکانیکی پیوسته است .

یک سازه بتون مسلح یا یک ساختمان با اسکلت بندی بتون مسلح ممکن است ذاتاً مقاومت کوچکی تا زمین داشته باشد و حفاظت در مقابل صاعقه را تأمین کند .

اگر مقاومت تا زمین قاب فولادی ساختمان یک ساختمان بتون مسلح رضایت بخش باشد ، یک پایانه هوایی افقی باید در بالا مستقر و سپس به اسکلت فولادی یا به بتون مسلح متصل گردد .

اگر مقاومت بالقوه سازه به هنگام آزمایش رضایت بخش نباشد ، هادی های پایین برنده و پایانه های زمینی باید تأمین شوند .

هر گاه فلزی در سازه موجود باشد که نتوان آن را به یک شبکه هادی پیوسته وصل کرد ، یا نتوان آن را با اتصالات زمین خارجی مجهز کرد ، باید از وجود آن صرفنظر شود . خطر ناشی از حضور چنین فلزی را می توان با نگهداری آن به طور کاملاً مجزا از سیستم صاعقه گیر ، به حداقل رساند .

اگر سازه سقف به طور کلی یا جزیی با فلز پوشانده شود ، باید دقت شود که چنین فلزی به سیستم صاعقه گیر متصل شود .

در هر قسمت فلزی سازه متصل به سطح خارجی که فاصله ایمنی کافی از سیستم صاعقه گیر ندارند و برای استفاده به عنوان بخشی از سیستم مذکور مناسب نباشند ، ترجیحاً باید مستقیماً به سیستم صاعقه گیر وصل شوند . اگر فلز در نزدیکی یک شبکه پایانه هوایی قرار داشته باشد (مثل شاه لوله های آب برای مخازن ذخیره در سقف ها ، کابل ها ، لوله ها ، آبروی شیروانی ها ، لوله های آب باران و راه پله ها) و یا اگر فلز تقریباً موازی با یک هادی پایین برنده یا اتصال الکتریکی قرار داده شود ، باید در هر پایانه وصل شود. اگر فلز در راستاهای ناپیوسته باشد ، هر بخش باید به سیستم صاعقه گیر وصل شود . راه دیگر این است که هر جا فاصله ایمنی تأمین شود، می توان از وجود فلز صرفنظر کرد .

قسمت های فلزی یک ساختمان مانند اسکلت مربوط به زنگ برج کلیسا ، همه پوشش ها ، وسیله ها و ابزاری که به شاه راه های آب یا منابع تغذیه الکتریکی وصل می شوند یا در ارتباط با آن ها هستند، باید با مستقیم ترین مسیر در دسترس به نزدیک ترین هادی پایین برنده وصل شوند .

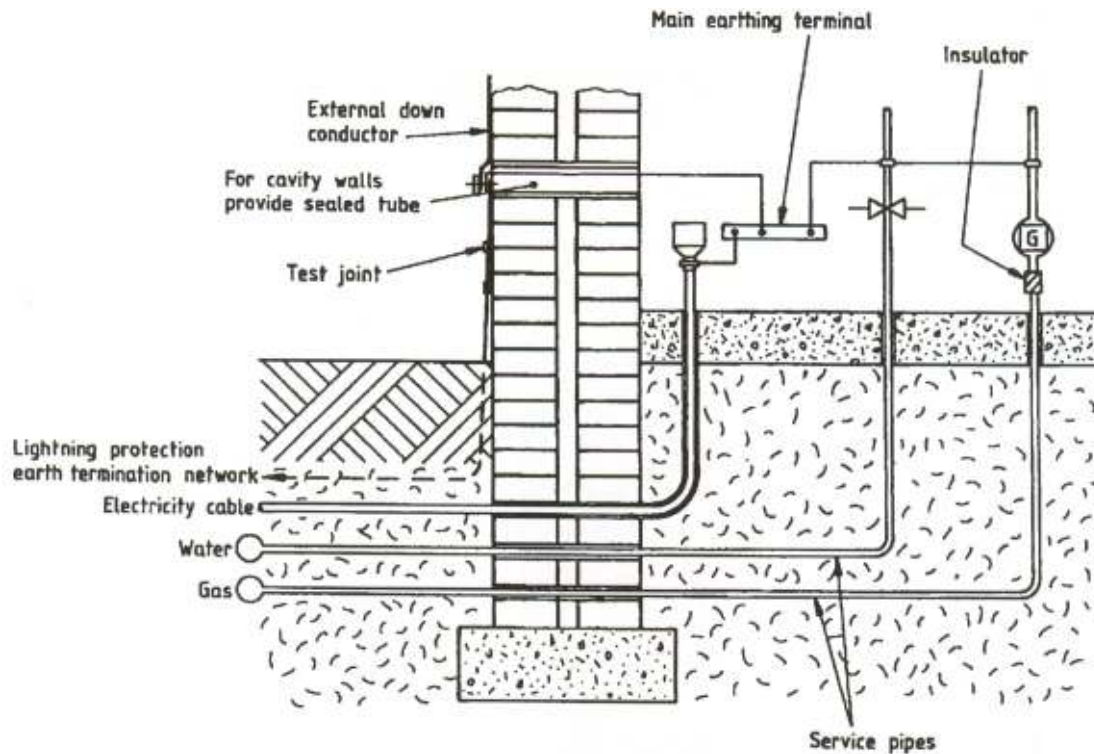
فلزی که به صورت زره کابل یا لوله کشی آب ، گاز، باران ، بخار ، هوای فشرده یا هر سرویس دیگر به ساختمان وارد شده یا از آن خارج می شود ، باید تا حد ممکن به طور مستقیم به پایانه زمین وصل شود . این امر باید در نزدیک ترین نقطه به ورودی یا خروجی سیستم در ساختمان انجام گردد . هر جا فلزی که بخشی از سرویس های مذکور را تشکیل می دهد ، از فواصل ایمنی ایزولاسیون تجاوز کند ، باید آن قسمت در بالاترین نقطه سرویس و در فواصل حداکثر ۲۰ متر به نزدیک ترین بخش سیستم صاعقه گیر وصل شود .

به دلیل تنوع زیاد در طراحی‌های سیستم هیچ توصیه‌نامه‌ی دقیقی نمی‌توان ارائه کرد. به هر حال باید توجه شود که در جاهایی که لوله‌ها یا کابل‌ها با عایق حرارتی یا الکتریکی محافظت می‌شوند، ممکن است مشکلاتی به وجود آید. در چنین حالت‌هایی، باید در نزدیک‌ترین نقطه‌ای که قسمت فلزی لوله یا کابل در دسترس است، اتصال انجام شود. سپس عمل اتصال باید تا حد امکان، از مسیر مستقیم تا زمین صاعقه‌گیر خارج از ساختمان انجام شود.

با در نظر گرفتن منابع تغذیه الکتریسیته، وجود کابل‌های مشترک اتصال زمین و نول (CNE) مشکلاتی را به وجود می‌آورد، زیرا یک قطعی در نول می‌تواند به بازگشت جریان بار از طریق الکتروود زمین منجر شود. این پدیده هرکسی را که مدار الکتروود زمین را اندازه‌گیری می‌کند، در معرض خطر قرار می‌دهد. در شکل ۲۳ یک سیستم متداول نشان داده می‌شود.

در نصب آسانسورها، سازه‌ی فلزی پیوسته باید در بالا و پایین سازه به سیستم حفاظت صاعقه متصل شوند. در صورتی که بتون آرمه یا اسکلت فلزی بخشی از سیستم صاعقه‌گیر را تشکیل می‌دهد، اتصال به این سازه‌ی فلزی الزامی است.

اگر استفاده از بتون آرمه یا اسکلت فلزی غیر ممکن یا غیر عملی باشد، یا اصلاً چنین سازه‌ی فلزی موجود نباشد، سازه‌ی فلزی آسانسور باید به زمین حفاظتی الکتریکی در هر دو محل بالا و پایین وصل شود. در هر صورت، اتصال باید با نقطه‌ی زمین نزدیک‌ترین تابلوی توزیع صورت گیرد.



شکل ۲۳- همبندی سرویس‌های گاز، آب و الکتریسیته

(۷-۱۶) ساختمان‌هایی با ارتفاع متجاوز از ۲۰ متر

(۷-۱۶-۱) ساختمان‌های غیر هادی

روی ساختمان‌های غیر هادی حداقل دو هادی پایین‌برنده به فاصله مساوی باید تعبیه شود و باید مطمئن بود که پایانه هوایی، ناحیه مطلوب حفاظت را ایجاد می‌کند. روی دودکش‌ها، هادی پایین‌برنده باید به کلاهک فلزی یا به یک هادی حول‌انتهای بالایی کلاهک متصل شود.

(۲-۱۶-۷) ساختمان های هادی

پیشتر در مورد ساختمان های هادی بلند مطالبی را ذکر کردیم . اما اگر هادی های پایین برنده مورد نیاز باشند ، حداقل دو عدد باید نصب شوند و این هادی ها نباید بیشتر از ۱۰ متر از پیرامون ساختمان فاصله داشته باشند .

(۳-۱۶-۷) همه انواع ساختمان های مهار شده

در ساختمان های غیر هادی و هادی که توسط سیم های مهار کنترل می شوند ، باید انتهای بالایی سیم های مهار به سیستم صاعقه گیر وصل و انتهای پایینی آن ها زمین شود و نیز به یک الکتروود زمین حلقه ای مدفون به صورت داخلی اتصال داده شوند .

(۴-۱۶-۷) مناره های مساجد و سازه های مشابه آن ها

ضربه های صاعقه زیر مرتفع ترین نقاط ساختمان های بلند به خوبی اثر می گذارند و برای هر یک از مناره های مساجد و سازه های مشابه آن ها حداقل دو هادی پایین برنده باید تعبیه شود.

در ساختمان های غیر هادی باید یک شبکه پایانه هوایی طراحی گردد . میله های پرچم و مشابه آن ها بالای سطح دیواره نیز باید به سیستم وصل شود . سایر قسمت های مسجد باید با هم پتانسیل کردن تیغه ، لبه بام و هادی های پایین برنده ، شبکه های پایانه زمین و صاعقه گیر حفاظت شوند .

(۷-۱۷) روش‌های حفاظتی ساختمان‌هایی با اجزای انفجاری یا با قدرت احتراقی بالا

زمانی که مقداری از ماده خطرناک محبوس شود، مثلاً در یک آزمایشگاه یا مغازه کوچک، یا در جایی که ساختمان در یک موقعیت مجزا قرار داشته باشد، یک خطر قابل ملاحظه‌ای ممکن است پدید آید. شرایطی هم ممکن است به وجود آید که در آن مواد خطرناک روباز نیستند اما کاملاً درون فلزی با ضخامت مناسب قرار دارند. تحت این شرایط، پس از مطمئن شدن از اتصال به زمین مناسب، ممکن است صاعقه گیر اصلاً مورد نیاز نباشد. در شرایط دیگر، خطری که زندگی افراد و اموال را تهدید می‌کند، ممکن است به گونه‌ای باشد که پیش‌بینی هر وسیله ممکن برای حفاظت از پیامدهای یک تخلیه صاعقه ضروری باشد.

(۷-۱۷-۱) پایانه‌های هوایی آویزان

یک شبکه پایانه هوایی باید در ارتفاع مناسبی بالای ناحیه مورد نظر حفاظت، قرار داده شود. اگر فقط یک هادی افقی استفاده شود، زاویه حفاظتی نباید از 30° تجاوز کند (شکل ۱۴). اگر دو یا چند هادی افقی موازی نصب شوند، زاویه حفاظتی اعمال شده ممکن است به بزرگی 45° هم برسد، اما خارج از آن فضا نباید از 30° تجاوز کند (شکل ۲۴).

از سوی دیگر، اگر هزینه روش قبل مورد قبول نباشد، و اگر هیچ خطری به همراه تخلیه جریان صاعقه روی سطح ساختمان مورد حفاظت وجود نداشته باشد، اعمال یکی از روش‌های زیر مناسب خواهد بود.

الف) یک پایانه‌ی هوایی معلق مانند شکل ۲۴ با این تفاوت که زوایای حفاظتی 45° به جای 30° و 60° به جای 45° فرض می‌شوند.

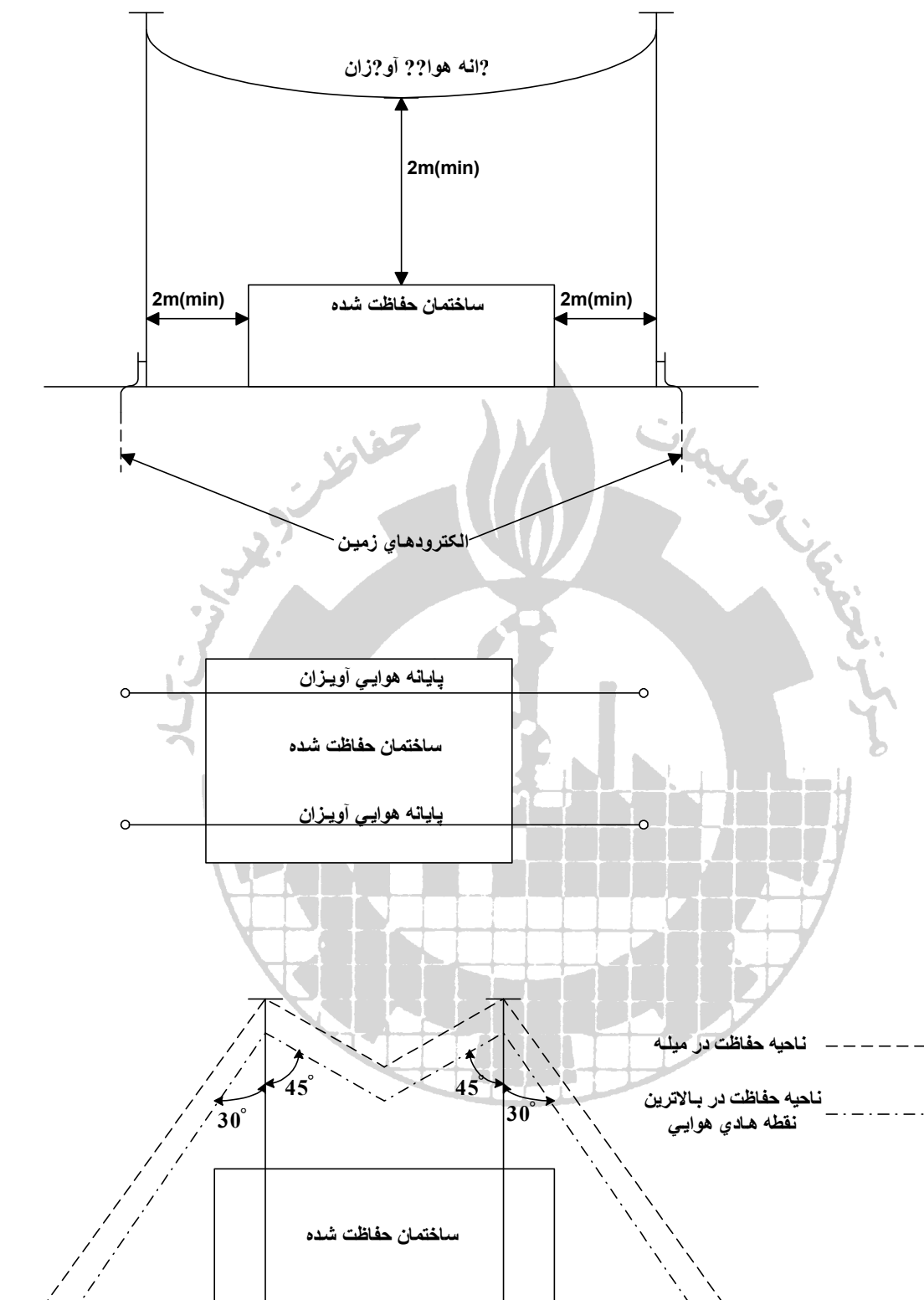
ب) یک شبکه‌ی هادی‌های افقی با یک مش $10m \times 5m$ یا کوچک‌تر، متناسب با میزان خطر، که روی سقف ساختمان تثبیت شده است (شکل ۱۳).

(۷-۱۷-۲) هادی‌های عمودی

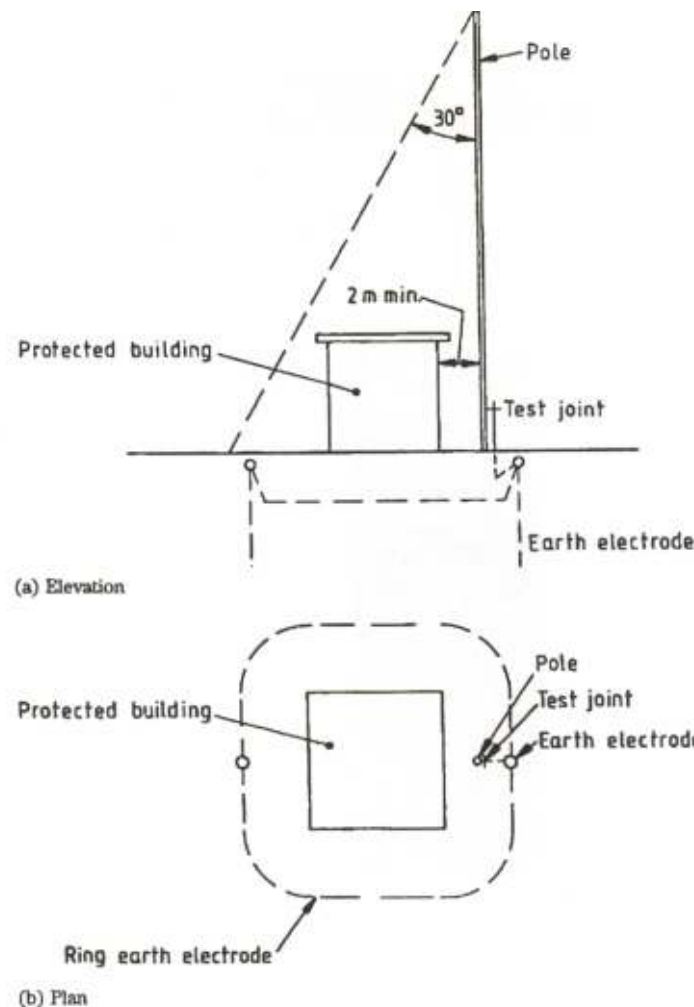
یک ساختمان یا گروهی از ساختمان‌ها با ابعاد افقی کوچک ممکن است توسط یک یا چند هادی صاعقه‌ی عمودی حفاظت شوند. اگر فقط از یک هادی صاعقه استفاده شود، زاویه‌ی حفاظتی نباید از 30° تجاوز کند. اگر دو یا چند هادی صاعقه گیر نصب شوند، زاویه‌ی حفاظتی داخل فضای محصور شده توسط هادی‌ها ممکن است 45° باشد، اما در خارج از این فضا نباید از 30° تجاوز کند. مثال‌های این روش حفاظت را در شکل ۲۵ ملاحظه می‌کنید.

الکترودهای زمین حلقه‌ای

الکترودهای زمین هر سیستم صاعقه گیر باید توسط یک الکتروود زمین حلقه‌ای از درون اتصال داده شوند. این الکتروود زمین حلقه‌ای ترجیحاً باید تا عمق حداقل $0/6$ متر مدفون شود. الکترودهای زمین حلقه‌ای ساختمان‌های مجاور باید به یکدیگر وصل شوند.



شکل ۲۴- پایانه هوایی با دو هادی افقی آویزان و ناحیه حفاظت برای سازه‌هایی با اجزای آتش گیر



شکل ۲۵- پایانه هوایی عمودی برای حفاظت انبارهای حاوی مواد آتش گیر

(۷-۱۷-۳) فلز داخل یا روی ساختمان

همه بخش‌های اسکلت فلزی اصلی ساختمان شامل آرماتور فلزی پیوسته داخل بتون و سرویس‌ها باید به یکدیگر وصل شده و سپس به سیستم صاعقه گیر متصل شوند. چنین اتصالاتی باید حداقل در دو قسمت انجام گیرند (شکل ۱۳) و باید در صورت امکان، به فواصل مساوی کمتر از ۱۰ متر در پیرامون ساختمان نصب شوند.

کلیهٔ اشیاء فلزی داخل ساختمان باید به سیستم صاعقه گیر متصل شوند .
برای مخازن فولادی مخصوص ذخیرهٔ مواد محترقه باید صاعقه گیر مناسب فراهم شود به گونه ای که ساختمان حداقل در دو نقطه زمین شود .

(۷-۱۷-۴) هادی های الکتریکی ورودی ساختمان

هادی های الکتریکی داخل ساختمان باید درون قاب فلزی قرار داده شوند. این قاب فلزی باید از نظر الکتریکی پیوسته باشد و در نقطهٔ ورودی ساختمان در طرف مصرف کننده به زمین وصل شود و به سیستم صاعقه گیر اتصال داده شود (شکل ۲۳).

(۷-۱۷-۵) لوله ها ، نرده ها و سایر قسمت های فلزی ورودی یک ساختمان

لوله های فلزی ، رشته های فولادی ، نرده ها و مسیرهای راه آهن که در ارتباط الکتریکی پیوسته با زمین ساختمانی که به آن وارد می شود ، نیستند ، باید به سیستم صاعقه گیر متصل شوند . این اشیاء باید در دو نقطهٔ ورودی خارج ساختمان و در دو نقطهٔ دیگر ، یکی در فاصلهٔ ۷۵ متری و دیگری در ۱۵۰ متری ، زمین شوند . اتصال به زمین نرده ها باید در نقاط زیر انجام شود :

الف) نقطهٔ ورودی به ساختمان ، یا خروجی از آن

ب) ۷۵ متر آن سوی نقطهٔ ورودی یا خروجی در هر جهت (یعنی اگر یک ساختمان زیر زمینی باشد ، از داخل و اگر روی زمین باشد از خارج)

پ) ۱۵۰ متر آن سوی نقطهٔ ورودی به داخل یا خروجی از ساختمان

ت) به فاصلهٔ هر ۷۵ متر در سیستم های زیر زمینی

(۶-۱۷-۷) حصارها، دیوارهای حایل و غیره

تیرهای فلزی، ترکیبات و سیم‌های همه حصارها و دیوارهای حایل در دو متری ساختمان باید به گونه‌ای وصل شوند که اتصال فلزی پیوسته بین آنها و سیستم صاعقه گیر تأمین شود.

(۷-۱۷-۷) خطرناشی از قسمت‌های بلند روی ساختمان یا نزدیک ساختمان‌های پرخطر

ساختمان‌های پرخطر نباید با اجزای بلند نظیر مناره‌ها، پایه‌های پرچم یا آنتن‌های رادیویی روی ساختمان یا در ۵۰ متری ساختمان تجهیز شوند. همچنین نباید درختان جدیدی در محل کاشته شوند.

(۱۸-۷) حصارها

(۱-۱۸-۷) طبیعت خطر

اگر ضربه صاعقه به یک حصار فلزی گسترده برخورد کند، در امتداد بین نقطه برخورد و نزدیک‌ترین پایانه زمین در یک لحظه پتانسیل بالایی نسبت به پتانسیل زمین برقرار می‌شود. در نتیجه، مردم یا احشام در فاصله نزدیک یا در تماس با چنین حصارهایی در زمان تخلیه صاعقه به حصار ممکن است در معرض خطر قرار گیرند. بنابراین زمین کردن حصار از طریق الکترودهای زمین در فواصل معین به منظور تخلیه صاعقه به صورت مؤثر، ضروری است.

در شرایط ایده آل، بهتر است پیوستگی های حصار در فواصلی در امتداد طول آن شکسته و یا با بخش های عایق پر شوند. این عمل به محدود کردن اثر ضربه صاعقه کمک خواهد کرد.

(۷-۱۸-۲) حصارهای ساختمان های محل نگهداری مایعات یا گازهای محترقه

زمین کردن حصارهای تمام فلزی

هرجا حصارهایی که محل های خطرناک را در بر می گیرند ، از نوع تمام فلزی باشند، مشکلات خاصی به وجود نمی آید و آنها را می توان طبق بند پیشین زمین کرد ، به شرطی که فاصله آنها از ۷۵ متر تجاوز نکند .

زمین کردن حصارهایی با پوشش مواد پلاستیکی

معمولاً در بالای حصارهایی از نوع سیم فولادی توری شکل با یک لایه روکش پلاستیکی هستند که حفاظت در برابر هوا را تأمین می کنند و قطع آنها به منظور زمین کردن فلز، خطر خوردگی را افزایش خواهد داد، یک ردیف سیم خاردار نصب می شود. توصیه می شود که این سیم در فواصلی کمتر از ۷۵ متر به زمین متصل شود تا به عنوان یک پایانه هوایی برای حفاظت حصار عمل کند .

(۷-۱۹) درختان و ساختمان‌های نزدیک آن‌ها

در مواردی که نگهداری درخت به دلایل تاریخی، گیاه‌شناسی، محیطی یا دلایل مشابه دیگر لازم باشد، حفاظت درختان در برابر اثرات صاعقه نیاز به توجه خاصی دارد. در چنین حالت‌هایی موارد ذیل باید اعمال شوند:

الف) یک هادی پایین برنده اصلی باید از بالاترین قسمت تنه اصلی به پایانه زمینی انتقال داده شده و در مقابل صدمه مکانیکی در سطح زمین حفاظت شود.

ب) شاخه‌های بلندتر باید با هادی‌های منشعب شده از هادی اصلی حفاظت شوند.

پ) هادی‌های مورد استفاده باید غلاف دار و متصل به هم باشند. در مورد هادی‌های مسی و آلومینیومی سطح مقطع کلی نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر مربع باشد. به دلیل پدید آمدن مشکلات دسترسی، اندازه‌های خیلی دقیقی ارایه نمی‌شوند. نکته مهم این است که هادی‌ها باید انعطاف پذیر باشند.

ت) در تثبیت هادی‌ها باید به حرکت درخت در برابر باد و رشد طبیعی آن لطمه‌ای وارد نشود.

ث) پایانه هوایی باید شامل دو میله رانده شده به داخل زمین در جهت‌های مخالف و نزدیک به تنه درخت باشد. یک الکترود حلقه‌ای که در زمین مدفون شده باید ریشه‌های درخت را احاطه کند و نیز باید توسط دو هادی شعاعی به میله‌ها متصل شود.

ج) هر جا که دو یا چند درخت آن قدر به هم نزدیک هستند که الکترودهای حلقه ای محیط بر آن‌ها ممکن است همدیگر را قطع کنند، یک الکتروود حلقه ای زمین که به طور مناسبی به میله های ارت وصل شده، باید طوری مدفون شود که ریشه های همه درختان را احاطه کنند.

چ) هر جا یک درخت مجزا نزدیک ساختمان وجود دارد، اگر ارتفاع آن از ارتفاع ساختمان تجاوز نکند، از آن می توان صرفنظر کرد. اگر درخت بلندتر از ساختمان باشد، فاصله های ذیل بین ساختمان و بلندترین بخش درخت باید منظور شوند:

(۱) برای ساختمان های معمولی: نصف ارتفاع سازه

(۲) برای سازه هایی با محتویات مواد منفجره و محترقه: ارتفاع سازه

(۲۰-۷) ساختمان هایی با آنتن های رادیو و تلویزیون

(۱-۲۰-۷) آنتن های داخلی در ساختمان حفاظت شده

در ساختمان های حفاظت شده در برابر صاعقه، اگر فاصله مطمئن بین سیستم آنتن داخلی و سیستم صاعقه گیر خارجی رعایت شود، نیازی به حفاظت اضافی وجود ندارد.

(۲-۲۰-۷) آنتن های خارجی روی ساختمان های حفاظت شده

ساختمان های حفاظت شده در برابر صاعقه را می توان با آنتن های رادیو و تلویزیون خارج از ساختمان بدون در نظر گرفتن حفاظت های اضافی تجهیز کرد، به شرطی که مطمئن شویم کلیه بخش های سیستم آنتن داخل ناحیه حفاظت صاعقه گیر قرار گیرند. اگر درجایی این شرایط تأمین نشوند، حفاظت های دیگری باید بکار گرفته

شوند تا مطمئن شویم که جریان صاعقه می‌تواند بدون صدمه رساندن به ساختمان و اشیاء داخل آن به زمین تخلیه شود. این موارد ایمنی عبارتند از:

(الف) اگر یک سیستم آنتن مستقیماً روی یک ساختمان حفاظت شده قرار گرفته، پایه آنتن باید در نزدیک ترین نقطه قابل دسترسی زیر تجهیزات آنتن به سیستم صاعقه گیر متصل شود.

(ب) اگر یک سیستم آنتن روی یک سازه فلزی بالای سیستم صاعقه گیر نصب شود، پایه آنتن باید در نزدیک ترین نقطه قابل دسترسی زیر تجهیزات آنتن به سیستم صاعقه گیر متصل شود.

(۲۰-۳) آنتن‌های نصب شده روی ساختمان‌های حفاظت نشده

قبل از نصب یک آنتن روی یک ساختمان حفاظت نشده باید بررسی شود که تأمین یک سیستم حفاظتی الزامی است یا خیر.

(۲۱-۷) ساختمان‌های متفرقه

(۲۱-۷-۱) چادرهای بزرگ

اگر این نوع سازه‌های بزرگ موقت به دلایلی نظیر برپایی نمایشگاه‌ها و محل‌های تفریحی که جمعیت زیادی از مردم را در بر می‌گیرد، استفاده شوند، باید به حفاظت آن‌ها در برابر صاعقه توجه شود. معمولاً چنین سازه‌هایی از مواد غیر فلزی ساخته

می شوند و ساده ترین شکل حفاظت شامل یک یا چند پایانه هوایی افقی خواهد بود که بالای آن ها آویزان هستند و محکم به زمین وصل شده اند . از یک انشعاب غیر فلزی از نگهدارنده های عمودی می توان برای نگه داشتن یک سیستم پایانه های هوایی افقی استفاده کرد ؛ به شرطی که اجرای آن عملی و راحت باشد . همچنین فاصله بین هادی و پارچه پوشاننده نباید کمتر از ۱/۵ متر باشد . هادی های پایین برنده باید در خارج از سازه قرار داده شده و به میله های زمینی وصل شوند. این میله ها به نوبه خود باید به یک الکتروود حلقه ای متصل شوند به گونه ای که از دسترس عموم به دور باشند . ساختمان هایی که اسکلت فلزی دارند، باید در فواصلی کمتر از ۲۰ متر در امتداد محیط سازه به گونه ای مؤثر به ارت متصل شوند.

(۲-۲۱-۷) داربست های فلزی و سازه های مشابه

اگر داربست های فلزی و سازه های مشابه در دسترس عموم قرار دارند ، مخصوصاً اگر روی قسمتی از بزرگراه های عمومی نصب می شوند یا در ساختمان های عمومی محل تجمع افراد استفاده می شوند ، باید به طور مؤثری به زمین وصل شوند . یک روش ساده اتصال چنین سازه هایی قراردادن یک تسمه فلزی ، به غیر از آلومینیوم با سطح مقطع $20\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ ، در داخل زمین و زیر سازه است به گونه ای که با صفحات پایه حامل اجزای عمودی داربست در تماس باشد و در فواصل کمتر از ۲۰ متر به زمین متصل شود. در مکان های عمومی ، فقط قسمت های محیطی سازه باید به زمین متصل

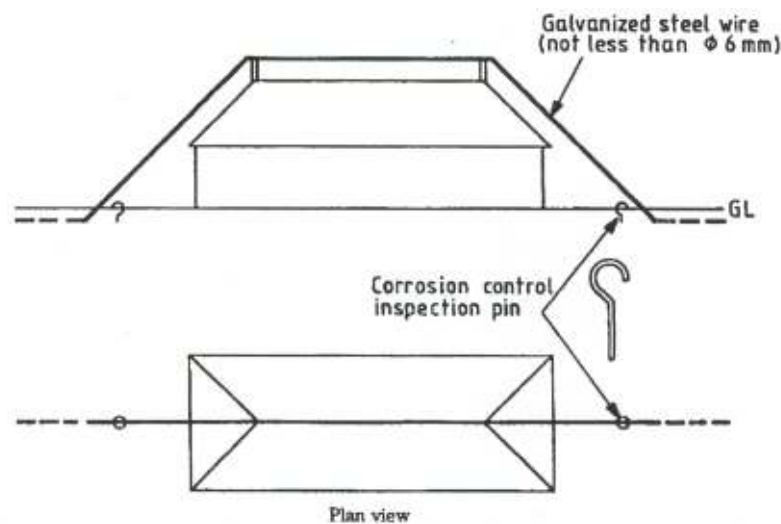
شوند. سازه‌های فولادی دیگر نظیر سازه‌هایی که برای پل‌های عابر پیاده استفاده می‌شوند، در قسمت‌هایی که ممکن است در معرض ضربات صاعقه باشند و بنابراین باید به زمین وصل شوند، به طور متناوب ایزوله می‌شوند.

(۲۱-۲) پایه پرچم‌های فلزی بلند، بالابرهای برج و سازه‌های گردشی و تفریحی

پایه پرچم‌ها و سیم‌بکسل‌های آن‌ها، برج‌های نورافکنی و سازه‌های مشابه دیگر با اسکلت فلزی باید به زمین وصل شوند. بالابرهای مورد استفاده در ساختمان، کارخانه‌های کشتی‌سازی و تجهیزات اسکله نیز باید به زمین متصل شوند. برای بالابرهای سازه‌های گردان ساخته شده روی ریل‌ها، زمین کردن مؤثر ریل‌ها، ترجیحاً در بیش از یک نقطه، معمولاً حفاظت مناسب در برابر صاعقه را تأمین خواهد کرد.

(۲۱-۴) ساختمان‌های معمولی و کم‌ارزش در نواحی با احتمال بالای وقوع صاعقه

در بعضی نواحی، جایی که احتمال وقوع صاعقه بالاست و در عین حال استفاده از مس یا آلومینیوم از نظر اقتصادی مقدور نباشد، برای حفاظت ساختمان‌های کوچک مجاور مزرعه‌ها یا ساختمان‌های مشابه، سیم فولادی نرم گالوانیزه استفاده می‌شود. این سیم باید یکپارچه بوده و قطر آن کمتر از ۶ میلیمتر نباشد. سیم مذکور در امتداد بالای سقف و در نقاط انتهایی ساختمان کشیده می‌شود. سپس در یک فاصله ۳ متری در عمق ۰/۶ متری داخل زمین قرار داده می‌شود (شکل ۲۶). نگه دارنده‌ها می‌توانند از الوارهایی باشند که برای ایجاد یک فاصله حداقل ۰/۹ متر از سقف تنظیم شده‌اند.



شکل ۲۶- حفاظت ساختمان‌های معمولی مانند ساختمان‌های آجری مجاور مزارع

(۷-۲۱-۵) استادیوم‌های ورزشی

در استادیوم‌های ورزشی بزرگ معمولاً زمان‌های کوتاهی جمعیت زیادی مستقر هستند. علیرغم این مسأله، اغلب جمعیت زیادی از مردم را در بر می‌گیرند و رعایت بعضی اصول حفاظتی ضروری به نظر می‌رسد.

در جاهایی که مقره‌های چند لایه ای بلند وجود دارند، پایانه‌های هوایی به شکل سیم‌های افقی باید در عرض استادیوم از یک سو به سوی دیگر کشیده شوند. اتصال همه قسمت‌های فلزی الزامی است. همچنین می‌توان از برج‌های نورافکن به عنوان قسمت‌های ضروری سیستم صاعقه‌گیر یا به عنوان نگه‌دارنده‌های سیم‌های افقی

استفاده نمود. در هرحال، حفاظت‌هایی باید بعمل آید تا مردم را از خطر تماس مستقیم با برج‌ها یا در مقابل استرس ولتاژ زمین حول این پایه‌ها محافظت نماید. به کمک روکش‌های عایق حفاظتی از سطح زمین تا ارتفاع ۳ متری یا با حصارکشی پایه برج و محدود کردن دسترسی به آن می‌توان از تماس مستقیم با برج جلوگیری کرد.

(۷-۲۱-۶) پل‌ها

سازه‌های فولادی و بتنی باید به زمین متصل شوند. همه فضا‌هایی که پیوستگی الکتریکی دارند، باید به یکدیگر اتصال داده شوند؛ لوله‌های فلزی سرویس‌ها، ریل‌ها، نرده‌ها، علائم، ستون‌های نور و فلزات پیوسته دیگر باید با ستون‌های بتونی همبندی گردند.

در مورد پل‌های چندتایی ضروری است که از پیوستگی الکتریکی بین مجموعه سازه‌ها اطمینان حاصل شود. یک ضربه صاعقه روی پل بالایی باعث خواهد شد که جریان صاعقه از طریق سازه‌های پایین به زمین جاری شود.

محاسبات نشان داده‌اند که فلاش جانبی بیشتر وقتی اتفاق می‌افتد که شخص زیر لبه یک پل ایستاده باشد تا اینکه در وسط پایه‌های ستون نگه دارنده باشد. لذا رعایت موارد حفاظتی ذیل در این گونه شرایط توصیه می‌شود:

الف) سازه روشنایی، نرده‌ها و غیره باید به ستون‌های بتنی وصل شوند و نباید از یک هادی پایین برنده مجزا که از خارج نصب شده، استفاده شود.

ب) درنواحی ای که احتمال خطر وجود دارد ، جایی که مردم به صورت گروهی هستند، تابلوهای هشدار دهنده باید در محل های مناسب نصب شوند که به خطرات ایستادن نزدیک لبه با چترهای باز اشاره کنند .

(۷-۲۲) خوردگی

در شرایطی که احتمال صدمه دیدن بخشی از سیستم صاعقه گیر به دلیل خوردگی در اثر عوامل جوی ، عوامل شیمیایی ، الکترولیتی یا عوامل دیگر وجود داشته باشد، محافظت های مناسبی برای جلوگیری از وقوع آن باید انجام شود .

(۷-۲۲-۱) خوردگی الکترولیتی بین فلزات غیر هم جنس

تماس فلزات غیر هم جنس ، باعث شروع و شتاب خوردگی می شود ، مگر اینکه سطوح تماس کاملاً خشک نگه داشته شوند و در برابر نفوذ رطوبت حفاظت شوند .

تماس فلزات غیر هم جنس در شرایطی برقرار می شود که یک هادی توسط ابزارهای تثبیت کننده ثابت شود یا در مقابل سطح فلزی خارجی قرار گیرد. همچنین عبور جریان الکتریکی بالا از یک فلز می تواند باعث تماس آن با فلز دیگر شود. آب جاری که از مس ، آلیاژهای مس و سرب عبور می کند ، می تواند به آلیاژهای آلومینیوم و روی حمله کند.

از این رو، فلز سیستم صاعقه گیر باید با فلز یا فلزهای خارجی مورد استفاده روی ساختمان که این سیستم از بالای آن ها عبور می کند یا با آن در تماس است، سازگار باشد.

(۲-۲۲-۷) خوردگی شیمیایی آلومینیوم در مجاورت سیمان پرتلند ، مخلوط های ملات و غیره

به دلایل مختلف وقتی آلومینیوم در تماس با سیمان پرتلند و مخلوط های ملات قرار می گیرد ، مستعد خوردگی می شود. لذا، توصیه های ذیل در مورد تکنیک های نصب اعمال می شوند :

- الف) هادی های آلومینیوم همیشه باید دور از همه سطوح مخصوصاً سطوح افقی قرار داده شوند و باید از قرار گرفتن هادی ها در مجاورت آب یا در ارتباط با مواد خورنده مثل ملات کهنه و غیره، جلوگیری شود.
- ب) هادی ها نباید در جاهایی قرارداده شوند که با نخاله هایی نظیر برگ ها و غیره پوشانده یا با خاک مدفون شوند.

(۳-۲۲-۷) خوردگی شیمیایی مس

اگرچه مس نسبت به انواع زیادی از حملات مواد شیمیایی بسیار مقاوم است، در جاهایی که احتمال خوردگی در اثر ترکیبات سولفور بالاست ، استفاده از یک لایه حفاظتی سربی توصیه می شود ، مخصوصاً در حالتی که محل مانند بالای دودکش ها، غیر قابل دسترسی باشد.

لایه حفاظتی روی تمام ناحیه ای که احتمال قرار گرفتن در معرض حمله های خوردگی وجود دارد، اعمال می شود و نباید در مفصل ها حذف شود. استفاده از لایه های عایقی که دایمی نبوده و یا آتش گیر هستند، توصیه نمی شود. قطعات اتصال باید نسبت به عوامل خوردگی مقاوم باشند یا اینکه به طور مناسبی حفاظت شوند. بسته

به شرایط محیطی، مفصل‌ها و اتصالات را می‌توان با قیر طبیعی حفاظت نمود و یادر ترکیبات پلاستیک قرار داد.

هادی‌های زمین بین نقاط آزمایش و الکترودهای زمین در محل ورود به زمین در فاصله ۰/۳ متر بالا و زیر سطح زمین باید در مقابل خوردگی حفاظت شوند، بوش PVC می‌تواند وسیله حفاظتی مناسبی باشد.



فصل هشتم - بحث و نتیجه گیری

صاعقه یکی از نعمت‌های عظیم الهی است که فواید قابل ملاحظه‌ای به همراه دارد که از آن جمله می‌توان به تقویت لایه ازن و نیز کمک به باروری گیاهان اشاره نمود. از سوی دیگر، همین پدیده طبیعی به دلیل انتقال جریان الکتریکی بسیار بالایی در حدود ۲ الی ۲۰۰ کیلوآمپر به زمین، سالانه خسارات جانی و مالی قابل توجهی به بار می‌آورد. صدمه به سلامت افراد جامعه، صدمه به میراث فرهنگی، خسارت‌های مالی تحمیل شده به فرد و جامعه و زیان‌های معنوی از مهم‌ترین انواع آسیب‌های ناشی از صاعقه می‌باشند.

صدمات جانی ناشی از برخورد صاعقه را به چند دسته می‌توان طبقه‌بندی نمود که اهم آن‌ها عبارتند از:

- ۱- مرگ ناشی از صاعقه
- ۲- صدمات قلبی - عروقی
- ۳- صدمات عصبی - روانی
- ۴- سوختگی‌ها
- ۵- شوک‌های شدید و آنی در اثر پرتاب شدن یا سقوط ناشی از برخورد ضربه صاعقه
- ۶- آسیب‌های حسی نظیر نابینایی و ناشنوایی

در هر لحظه در حدود ۳۰ الی ۱۰۰ صاعقه به زمین برخورد می‌کند و بر طبق آمار بدست آمده، سالانه ۲۴۰۰۰۰ حادثه در اثر صاعقه رخ می‌دهد که ۱۰٪ این حوادث (معادل ۲۴۰۰۰ مورد) منجر به فوت می‌شود.

مطالعات نشان داده است که یک سوم حوادث مذکور (معادل ۸۰۰۰۰ حادثه) در گروه حوادث ناشی از کار قرار می‌گیرند. همچنین برآورد شده است که تنها در ایالات متحده آمریکا سالانه ۴ الی ۵ میلیارد دلار خسارت مالی ناشی از صاعقه ببار می‌آید.

آنچه مسلم است آمار بدست آمده چندان دقیق نیست و بر اساس نتایج تحقیقات بعمل آمده مرگ و میر ناشی از صاعقه ۲۸ الی ۴۲ درصد کمتر از میزان واقعی گزارش می‌شود. علت اصلی خطای مذکور در آمار حوادث ناشی از صاعقه همانند سایر حوادث، فقدان سیستم ثبت اطلاعات استاندارد در کشورها می‌باشد. علاوه بر این، در خصوص گزارش و ثبت حوادث ناشی از صاعقه، اقدامات جدی صورت نمی‌پذیرد.

از سوی دیگر، اکثر افرادی که در معرض برخورد ضربه صاعقه قرار می‌گیرند، بلافاصله نیاز به مراقبت‌های پزشکی ندارند و در مراجعات بعدی به پزشک، ارتباط بین مشکلات جسمی به وجود آمده و ضربه صاعقه کمتر مدنظر قرار می‌گیرد و لذا آمار این دسته از حوادث نیز توسط هیچ منبعی ثبت نمی‌شود. بنابراین، افزایش سطح آگاهی پزشکان از صدمات احتمالی ناشی از صاعقه و تأثیرات درازمدت آن‌ها بر سلامتی افراد نه تنها در کاهش صدمات جسمی ناشی از صاعقه مؤثر خواهد بود، خطاهای آماری حوادث ناشی از صاعقه را نیز کاهش خواهد داد.

آنچه حایز اهمیت است، توجه به روش‌های کنترل حوادث و کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از صاعقه است. از جمله عوامل مؤثر در کاهش مرگ و جراحات ناشی از صاعقه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- هشدارها و هواشناسی مناسب
- ۲- تجهیز سازه‌ها به سیستم‌های صاعقه گیر مناسب
- ۳- استحکام ساختمان‌های مسکونی، اداری

۴- تغییرات اقتصادی و اجتماعی

۵- پیشرفت در مراقبت‌های پزشکی و مخابرات

تجهیز ساختمان‌ها و سازه‌های مختلف به سیستم صاعقه گیر می‌تواند نقش بسزایی در کاهش صدمات ناشی از صاعقه ایفا نماید. علی‌ایحال، نصب این سیستم همواره الزامی نمی‌باشد و از توجیه اقتصادی منطقی و متناسب با اهمیت موضوع برخوردار نیست. لذا قبل از اقدام به طراحی و اجرای سیستم صاعقه گیر باید میزان خطر صاعقه برآورد شود. در مواقع خاص نیاز برای حفاظت به وضوح آشکار است. از جمله:

(الف) در مکان‌هایی که جمعیت زیادی تجمع می‌کنند .

(ب) در مکان‌هایی که خدمات عمومی ضروری ارایه می‌شود.

(پ) در مناطقی که صاعقه شایع و متداول است .

(ت) در مکان‌هایی که سازه‌های خیلی بلند یا مجزا وجود دارند .

(ث) در مکان‌هایی که سازه‌های تاریخی یا فرهنگی مهمی وجود دارد.

(ج) در شرایطی که ساختمان‌ها حاوی تانکرهای مواد منفجره یا مواد آتش‌زا هستند.

اما در سایر موارد باید میزان خطر به روش‌های آماری برآورد گردد. مهم‌ترین فاکتورها در تعیین و ارزیابی میزان خطر صاعقه عبارتند از چگالی فلاش صاعقه (تعداد فلاش‌هایی که در طول سال به یک کیلومتر مربع از زمین مورد نظر اصابت می‌کند) و تعداد روزهای همراه با صاعقه در یک سال در مکان موردنظر.

متأسفانه در سیستم هواشناسی ایران، تنها تعداد روزهای همراه با صاعقه در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی قابل دسترسی می‌باشد و چگالی فلاش صاعقه به عنوان یکی از پارامترهای مهم آماری، اندازه‌گیری و ثبت نمی‌شود. لذا محاسبه دقیق

خطر صاعقه در نقاط مختلف کشور امکان پذیر نیست. چه بسا در مکانی هزینه های گزافی برای برقراری سیستم صاعقه گیر صرف شود، حال آنکه هیچ نیازی به این سیستم نمی باشد. بالعکس در مواردی وجود سیستم صاعقه گیر ضروری می باشد، اما توجهی به این مقوله نمی شود.

من حیث المجموع، مؤثرترین عامل در خصوص حوادث ناشی از صاعقه و کاهش آثار سوء آن، ارتقای سطح آگاهی جامعه به طور کلی و از طریق برنامه های مختلف نظیر گنجاندن مبحث صاعقه در سرفصل دروس ایمنی برق برای صنایع و آموزش های عمومی در وسایل ارتباط جمعی می باشد.



منابع و مراجع

منابع انگلیسی

- ۱- http://www.tpwd.state.tx.us/publications/nonpwdpups/young_naturalist/earth_sciences/۲۰۰۷.
- ۲- Mary Ann Cooper, MD, " Lightning Injuries", Departments of Emergency Medicine and Bioengineering, University of Illinois, Chicago, US, ۲۰۰۵.
- ۳- Cooper MA, Andrews CJ, Holle RL, Lopez RE, "Lightning Injuries", Ch۳, Auerbach P(Ed), Wilderness Medicine, ۴th Edition, CV Mosby, ۲۰۰۱.
- ۴- "Protection of Structures Against Lightning", Code of Practice, BS ۶۶۵۱: ۱۹۹۹.
- ۵- Ronald L.Holle, Raúl E.López and E.Brain Curran, "Demographics of US Lightning Casualties and Damages", the National Severe Storms Laboratory and National Weather Service, US, ۱۹۹۹.
- ۶- Dr. Elisabeth Gourbière, "Most Typical Disorders Associated with Lightning Strikes" , The Electricité de France, Service des Etudes Médicales, ۱۹۹۹.
- ۷- Holle RL , Lopez RE, Curran EB, "Distributions of Lightning-caused Casualties and Damages Since ۱۹۵۹ in the United States, ۱۱th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, January ۱۹۹۹.
- ۸- "۲۰۰۷ Lightning Statistics Through July",
<http://www.srh.noaa.gov/ffc/html/ltg۸۴۰۷.shtml>

۹- "Damage Report Costs", NOAA Technical Memorandum NWS
SR-۱۹۳, Section ۱۲,

۱۰- "Lightning Fatalities, Injuries, and Damage Reports in the United
States from ۱۹۵۹-۱۹۹۳",

<http://www.nssl.noaa.gov/papers/techmemos/NWS-SR->

[193/techmemo-sr193.html](http://www.nssl.noaa.gov/papers/techmemos/NWS-SR-193/techmemo-sr193.html)

منابع فارسی

۱- "حفاظت سازه‌ها در مقابل آذرخش- قسمت اول- اصول کلی"، استاندارد ملی

ایران ۱-۶۲۱۳، چاپ اول، مهر ماه ۱۳۸۱.

۲- "مشخصات سیستم حفاظت مزارع در برابر صاعقه"، استاندارد ملی ایران ۶۵۶۵،

چاپ اول، اردیبهشت ۱۳۸۲.

۳- "ارزیابی احتمال آسیب‌های وارده در اثر صاعقه"، استاندارد ملی ایران ۶۲۱۷،

چاپ اول، مهر ماه ۱۳۸۱.