



Simulation-Based Placement of Null-field Corona Discharger on a Hypothetical Aircraft

H. Moradi¹, M. J. Razavi^{*2}, R. Toreinia³

*Associate Professor Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 2024/02/20 revised: 2024/06/10 Accepted:2024/06/28 published: 2024/07/24)

Abstract

The accumulation and discharge of static electricity on the body of an aircraft in flight is inevitable which leads to interference in communication, Radar, and localizing systems of the aircraft. One of the more applicable and effective methods against this phenomenon is using a null-field static discharger. In this article, the amount of charging current injected into the airfoil has been calculated with empirical formulas. With the electrical field transient analysis on the aircraft body, the points that reach the corona threshold beforehand have been adopted as the discharger mounting areas. By implementing the structure of the null-field static discharger in the software and mounting it in the adopted points, the corona noise is reduced by 32 dB. The simulation results are justified by the experimental results of the references.

Keywords: Static Charge Accumulation, Corona Discharge, Null-Field Discharger, Corona Discharger Placement

* Corresponding author E-mail: razavismj@mut.ac.ir


This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

© Authors



جانمایی تخلیه کننده کرونا میدان تهی بر روی هواپیمای فرضی مبتنی بر شبیه سازی

حسین مرادی^۱، سیدمحمدجواد رضوی^{۲*}، رضا ترینیا^۳ 

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲- دانشیار، ۳- پژوهشگر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، تهران، ایران.
(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸، انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳)



* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

چکیده

تجمع و تخلیه الکتریسیته ساکن روی بدنه هواپیمای در حال پرواز اجتناب ناپذیر بوده که موجب ایجاد تداخل بر روی سیستم‌های مخابراتی، راداری و مکان‌یابی هواپیما می‌شود. یکی از روش‌های پرکاربرد و مؤثر در برابر این پدیده استفاده از تخلیه کننده‌های میدان تهی می‌باشد. در این مقاله نرخ بار الکتریکی تجمع یافته بر روی هواپیما به صورت جریان الکتریکی با استفاده از روابط تجربی محاسبه شده است. با تحلیل حالت گذرای میدان الکتریکی روی بدنه هواپیما، نقاطی که زودتر به سطح آستانه کرونا می‌رسند به عنوان نقاط نصب تخلیه کننده انتخاب شده‌اند. با پیاده سازی ساختار تخلیه کننده میدان تهی در نرم افزار و نصب آن در نقاط انتخاب شده، میزان نویز ناشی از تخلیه کرونا به اندازه ۳۲ دسیبل کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از شبیه سازی‌های انجام شده، با نتایج تجربی گزارش شده در مراجع همخوانی دارد.

کلیدواژه‌ها: تجمع بار الکتریکی ساکن، تخلیه کرونا، تخلیه کننده میدان تهی، جایابی تخلیه کننده کرونا

۱- مقدمه

پدیده تخلیه بار الکتریکی ساکن (ESD) در هواپیما در اواخر قرن ۱۹ میلادی شناخته شده است [۱]. پدیده الکتریسیته ساکن روی بدنه هواپیما باعث تداخل الکترومغناطیسی در سیستم‌های رادیویی، راداری و ناوبری هواپیما می‌شود. شارژ ترمو الکتریک، هنگامی که هواپیما در هنگام بارندگی پرواز می‌کند، اتفاق می‌افتد. این رویداد پتانسیل هواپیما را افزایش می‌دهد تا زمانی که تخلیه کرونا روی بدنه هواپیما رخ دهد. این تخلیه‌ها در نقاطی که میدان الکتریکی آن به سطح آستانه کرونا رسیده است، اتفاق می‌افتد. تخلیه‌های کرونا نویزی ایجاد می‌کند که به طور مستقیم یا از طریق آنتن سیستم‌های راداری و الکترونیکی داخل کابین را مورد تداخل قرار می‌دهد. روش‌های مختلفی بر پایه اصول سه گانه سازگاری الکترومغناطیس برای کاهش نویز ناشی از تخلیه الکترواستاتیک روی هواپیما ارائه شده است. مطابق با این اصول باید به ترتیب موارد زیر را اجرا کرد.

- ۱- کاهش دامنه نویز ناشی از تخلیه الکترواستاتیک در حد امکان
 - ۲- کاهش تزویج بین منبع نویز و گیرنده‌های قربانی
 - ۳- غیرحساس کردن گیرنده‌های قربانی نسبت به این نویز
- تاکنون چندین طراحی برای آنتن با قابلیت کاهش نویز ناشی از بار استاتیک بارشی^۱ پیشنهاد شده و در آزمایشگاه مورد

آزمودن واقع شده است. آنتن‌های کم تزویج عملکرد مناسبی در کاهش این نویز دارند. مطالعات اولیه نشان داده است که تزویج این نویز بر روی آنتن‌های حلقوی پوشش داده شده در هواپیما کاهش می‌یابد [۲].

تلاش‌های ناکامی هم برای استفاده از پوشش‌ها به منظور عدم تولید یا کاهش تولید بار ساکن انجام شده است. دلیل این ناکامی ایجاد یک لایه نازک روغن بر روی سطح هواپیما می‌باشد که موجب تولید دوباره بار می‌شود [۳].

روش دیگر، حذف سیگنال نویز (ناشی از تخلیه کرونا) تزویج شده روی آنتن گیرنده می‌باشد. یک حذف کننده نویز که در مدار بین آنتن و گیرنده واقع شده است پایانه‌های گیرنده را به محض مشاهده یک پالس قوی نویز در ورودی حذف کننده اتصال کوتاه می‌نماید. پایانه‌های گیرنده در دوره زمانی پالس نویز اتصال کوتاه باقی می‌ماند [۴].

روش دیگر مقابله با الکتریسیته ساکن ایجاد شده روی بدنه هواپیما که در سطح امکان سنجی [۵] بیان شده است استحصال انرژی^۲ است که مستلزم آن است که بدنه هواپیما با استفاده از لایه نازک اکسید گرافن به شکل ساختاری خازن دی الکتریک شود [۶]. این خازن‌های ساختاری بعد از باردار شدن توسط جریان الکتریسته ساکن باتریها را شارژ می‌کنند.

¹ Precipitation Static
² Energy Harvesting

توان بسیار پائین انجام شود. بنابراین، نویز ناشی از تخلیه بار ساکن بر روی سیستم‌های مخابراتی و نوابری هواپیما به حداقل خواهد رسید و خطری مخازن سوختی هواپیما را تهدید نخواهد کرد. این تخلیه‌کننده کرونا با سه مکانیزم نویز ناشی از تخلیه الکترواستاتیکی را کاهش می‌دهد [۲]:

۱- به دلیل وجود نوک تیز در تخلیه‌کننده و با در نظر گرفتن اینکه همواره میدان الکتریکی در نقاط نوک تیز قوی‌تر است؛ قبل از هر نقطه دیگر هواپیما، تخلیه کرونا از نوک تیز تخلیه‌کننده انجام می‌شود.

۲- به دلیل وجود مقاومت بالا بین محل اتصال به بدنه و نوک محل تخلیه در ساختار این نوع تخلیه‌کننده، شدت میدان الکتریکی امواج رادیویی در محل سوزن تخلیه کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه تزویج تخلیه کرونا روی آنتن‌ها کاهش پیدا می‌کند.

۳- ساختار این نوع تخلیه‌کننده‌ها به گونه‌ای است که میدان الکتریکی امواج رادیویی بر میدان الکترواستاتیکی و در نتیجه جهت جریان تخلیه کرونا عمود است. بنابراین، تزویج تداخلات نزدیک به صفر می‌شود.

در ادامه و در گام اول کل جریان تزریق شده به هواپیما ناشی از الکتریسیته ساکن و همچنین تعداد تخلیه‌کننده مورد نیاز محاسبه می‌شود [۸]. در گام بعدی نقاط تخلیه کرونا در هواپیما به کمک شبیه‌سازی با نرم‌افزار CST [۹] تعیین می‌شوند. در مرحله بعد تخلیه‌کننده کرونا میدان تهی [۱۰] پیاده‌سازی می‌شود. در نهایت هواپیمای مجهز شده به تخلیه‌کننده کرونا شبیه‌سازی می‌شود و با حالت بدون تخلیه‌کننده مقایسه می‌شود.

۲- محاسبه جریان معادل ESD در شرایط مختلف

پرواز

میزان باردار شدن یک جسم ناشی از اصطکاک آن با سیالی که درون آن در حرکت است، به پارامترهای مختلف جسم و سیال نظیر فشار و چگالی ذرات سیال و بار ذرات و سرعت و جنس و ابعاد جسم بستگی دارد. تئوری حاکم بر آن مشتمل بر چندین حوزه فیزیکی می‌باشد. مدل کردن دقیق آن با استفاده نرم‌افزارهایی نظیر کامسول^۵ که توانایی حل هم‌زمان مسائل چند محاسبات است که مقرون به صرفه نیست. در استانداردهای هوایی [۸] رابطه‌ای بسته ارائه شده است که نرخ باردار شدن هواپیما را با جریان مدل نموده که به پارامترهای فوق وابسته است.

$$i = V \times A_{eff} \times q_p \quad (1)$$

$$A_{eff} = K (A) \quad (2)$$

i : جریان معادل تزریق شده به هواپیما (آمپر)

۴- یکی از روش‌های پرکاربرد برای کاهش اثرات مخرب الکتریسیته ساکن تجمیع یافته روی بدنه هواپیما استفاده از تخلیه‌کننده‌های کرونا است که مشتمل بر دو روش فعال و غیرفعال می‌باشد.

۵- در روش فعال که حلقه بسته می‌باشد، ابتدا میزان و نوع بار ایجاد شده بر روی بدنه هواپیما توسط حساسه‌های تعبیه شده بر روی بدنه محاسبه می‌گردد. سپس توسط سیستم‌های ولتاژ بالای تعبیه شده بر روی هواپیما بار به میزان متناسب و ناهمنام با بار ایجاد شده، به هواپیما تزریق می‌گردد تا حدی که اثر بارهای ایجاد شده خنثی شود. این فرآیند باعث می‌شود تا میزان بار هرگز به آستانه تخلیه کرونا نرسد بنابراین تخلیه کرونا در هواپیما رخ نخواهد داد. عدم تخلیه کرونا موجب شناسایی نشدن توسط سیستم‌های شناسایی دشمن می‌باشد. این روش معایب زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به طراحی سخت و پیچیده، هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری بالا و احتمال خرابی سامانه کنترل‌کننده آن اشاره نمود [۷].

۶- تخلیه‌کننده کرونای غیرفعال انواع مختلفی مشتمل بر چند رشته‌ای^۱، میدان‌تهی^۲، فتیله‌ای کربنی^۳ و نوک کامپوزیتی^۴ دارد. در همه انواع تخلیه‌کننده غیرفعال بین محل اتصال به بدنه و محل تخلیه یک مقاوم مقاومت الکتریکی بالا وجود دارد. در نوع چند رشته‌ای تخلیه الکتریکی از تعداد زیادی رشته‌های نازک فلزی در انتهای تخلیه‌کننده انجام می‌شود. تعداد زیاد رشته‌ها موجب ایجاد تعداد زیادی تخلیه ناهمدوس می‌شود. نازک بودن آنها موجب کاهش پتانسیل تخلیه و در مجموع کاهش توان تداخل تشعشعی می‌شود. در نوع میدان‌تهی، تخلیه از سوزن تنگستنی انتهای تخلیه‌کننده انجام می‌شود که عمود بر ساختار است. در محل سوزن شدت میدان امواج رادیویی کم و جهت آن عمود بر جهت جریان تخلیه می‌باشد. در نوع فتیله‌ای کربنی نیز تعداد زیادی رشته نایلونی یا کتان‌ی آغشته به کربن وظیفه تخلیه را انجام می‌دهند. به دلیل استحکام پایین فتیله‌های کربنی در سرعت‌های کم مورد استفاده قرار می‌گیرند و طول عمر کمتری نسبت به انواع دیگر دارند. نوع نوک کامپوزیتی این نقص را جبران کرده است زیرا به دلیل استفاده از ساختار کامپوزیتی در نوک، استحکام افزایش پیدا می‌کند.

در این مقاله نوع میدان تهی استفاده می‌شود. ساختار اصلی این نوع از تخلیه‌کننده‌ها شامل یک مقاومت بالا در محدوده ۱ الی ۳۵۰ مگا اهم است که به یک تیغه نوک تیز رسانا ختم می‌شود. نصب این عنصر در مکان‌های صحیح تخلیه کرونا هواپیما و با تعداد درست باعث می‌شود تا در هیچ نقطه دیگر هواپیما (تخلیه) کرونا رخ ندهد و تخلیه کرونا فقط در نوک تخلیه‌کننده و با

¹ Micropoint (Miniprobe)

² Null field Corona discharger

³ Carbon wick

⁴ Composite tip

فرودآمدن	تغییر ارتفاع	پرواز افقی	حالت پروازی
۱۱/۸۱	۹/۷۵	۸/۵۴	A
۲/۶۵۲۵	۲/۴۳۷۵	۲/۱۳۵	A _{eff}

غلظت و بار ذرات به شرایط آب‌وهوایی وابسته است که مقادیر آن در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲). مقادیر غلظت و بار ذرات در شرایط آب‌وهوایی مختلف

نوع ابر	محدوده واحد اندازه‌گیری	کمیت اندازه‌گیری شده	حالت پرواز
پرسا	$12-10 \times (10-1)$	بار هر ذره	پرواز
پرسا	$10^4 \times 3$	غلظت ذرات	افقی
رعدوبرق/آنویل	$12-10 \times (35-1)$	بار هر ذره	فرود یا
رعدوبرق/آنویل	$10^4 \times 5$	غلظت ذرات	تغییر ارتفاع

باتوجه به مقادیر به‌دست‌آمده در جدول‌های (۱) و (۲) و رابطه (۱)، جریان تزریق شده به هواپیما در حالت‌های مختلف پرواز مطابق با جدول (۳) بدست می‌آید.

جدول (۳). جریان تزریقی محاسبه‌شده در حالت‌های مختلف

حالت پروازی	V	A_{eff}	q	c	i
پرواز افقی	۵۵۵	۲/۱۳۵	10×10^{-12}	2×10^4	۰/۲۳۷
تغییر ارتفاع	۱۷۵	۲/۴۳۷۵	30×10^{-12}	5×10^4	۰/۶۳۹
فرودآمدن	۱۶۰	۲/۶۲۲۵	30×10^{-12}	5×10^4	۰/۶۳۶

تعداد تخلیه‌کننده موردنیاز: برای محاسبه تعداد تخلیه‌کننده‌ها بدترین حالت معادل بیشترین جریان محاسبه‌شده در جدول (۳) به عنوان جریان معادل تزریق شده به هواپیما ناشی از الکتریسته ساکن انتخاب می‌شود. با استفاده از رابطه (۳) تعداد تخلیه‌کننده‌ها بدست می‌آید.

$$N = i / I_{min} \quad (3)$$

در این رابطه N تعداد تخلیه‌کننده، i حداکثر جریان تزریق شده به هواپیما و I_{min} حداقل جریان پیوسته تخلیه شونده توسط یک تخلیه‌کننده می‌باشد که برابر ۵۰ میکرو آمپر در نظر گرفته می‌شود [۸].

$$N = \frac{639}{50} = 13$$

باتوجه به اینکه هواپیمای نوع اف ۱۶ تعداد ۱۶ عدد تخلیه‌کننده کرونا دارد مدل هواپیمای انتخاب شده مشابه هواپیمای اف ۱۶ است، می‌توان گفت که مقدار محاسبه شده مقداری صحیح و قابل قبول است.

۳- جایابی نقاط تخلیه بار ساکن

V : سرعت پرواز هواپیما (متر بر ثانیه)

A_{eff} : مساحت مؤثر هواپیما (مترمربع)

K : ضریب مساحت مؤثر هواپیما

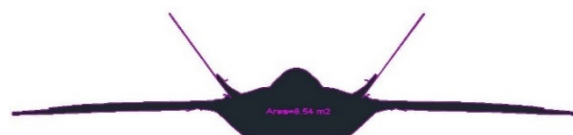
A : مساحت جلویی هواپیما (مترمربع)

q_p : بار در هر ذره (بار/ذرات)

c : غلظت ذرات (ذرات بر مترمکعب)

مساحت جلویی هواپیما در سه حالت زیر محاسبه می‌شود [۱۰]:

پرواز افقی: در این حالت پرواز، چرخ‌ها و بال‌های متحرک هواپیما بسته شده‌اند.



شکل (۱). مساحت جلویی هواپیما در حالت پرواز افقی

فرودآمدن هواپیما: در این حالت پرواز هم چرخ‌ها و هم بال‌های متحرک هواپیما باز هستند.



شکل (۲). مساحت جلویی هواپیما در فرودآمدن

تغییر ارتفاع هواپیما: در این حالت پرواز فقط بال‌های متحرک هواپیما باز است.

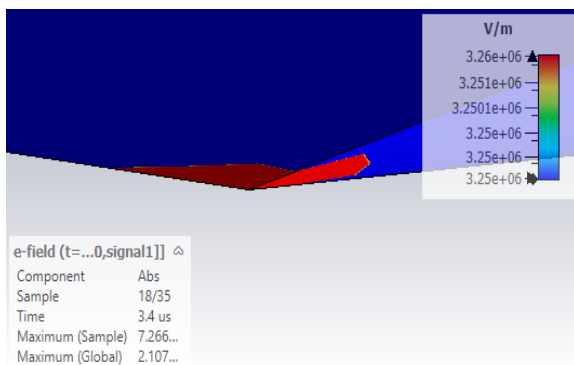


شکل (۳). مساحت جلویی هواپیما در حالت تغییر ارتفاع

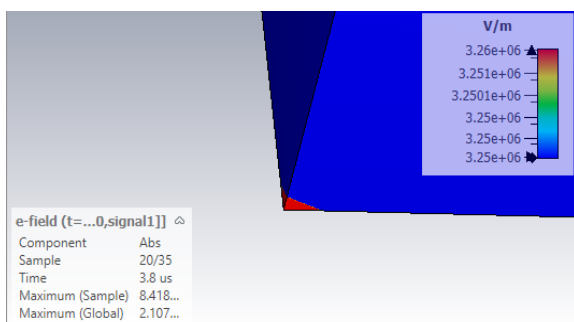
مساحت جلویی هواپیما به کمک نرم‌افزار اتوکد^۱ مطابق با شکل‌های فوق ترسیم می‌گردد و با کمک گرفتن از قابلیت‌های این نرم‌افزار به راحتی می‌توان سطح جلویی هواپیما را در حالت‌های مختلف پرواز محاسبه نمود. در جدول (۱) برای محاسبه مساحت مؤثر هواپیمای فرضی، مساحت جلویی در ضریب $K = 0.25$ ضرب می‌شود [۱۰].

جدول (۱). مقادیر مساحت جلویی هواپیما در حالت‌های مختلف

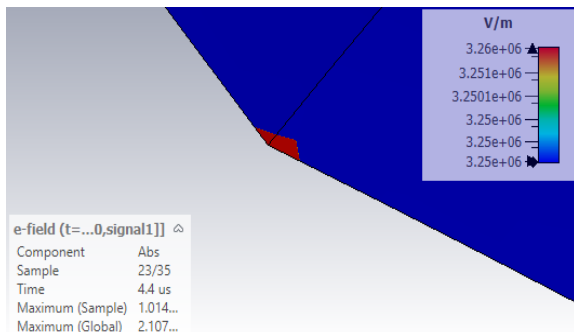
^۱AutoCAD



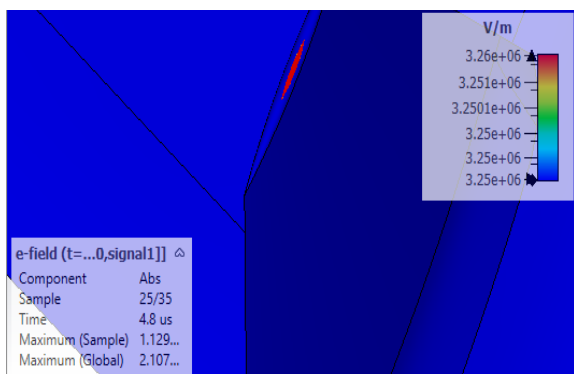
شکل (۵). نمایان شدن تخلیه کرونا در نوک پایدارساز افقی هواپیما
 $t=3.4\mu s$



شکل (۶). نمایان شدن تخلیه کرونا در دم انتهایی هواپیما
 $t=3.8\mu s$



شکل (۷). نمایان شدن تخلیه کرونا در وسط بال اصلی هواپیما
 $t=4.4\mu s$

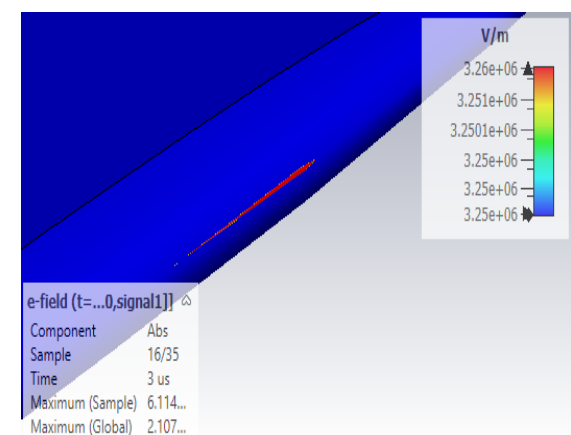


شکل (۸). نمایان شدن تخلیه کرونا در بال عمودی هواپیما
 $t=4.8\mu s$

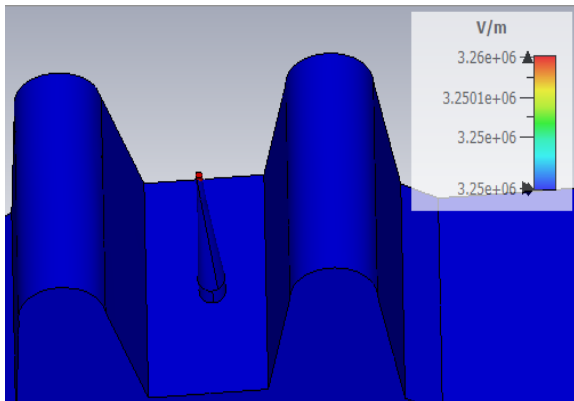
در این بخش با اعمال جریان معادل الکتریسیته ساکن به هواپیما و مشاهده میدان الکتریکی ایجاد شده روی بدنه هواپیما اولین نقاطی که به آستانه تخلیه الکتریکی می‌رسند به‌عنوان نقاط تخلیه کرونا در یک هواپیمای فرضی مشخص می‌شوند. تخلیه الکتریکی (کرونا) هنگامی رخ می‌دهد که مقدار میدان الکتریکی بین هواپیما و هوا از سطح آستانه تخلیه میدان الکتریکی کرونا بگذرد [۱۱]. این سطح آستانه به فشار هوا وابسته است که برای فشار ۱ اتمسفر $3/25 MV/m$ می‌باشد. نقاط تخلیه کرونا با در نظر گرفتن این شرط و اعمال جریان به هواپیمای مدل تعیین می‌شود.

به‌منظور شبیه‌سازی باردار شدن هواپیما در نرم‌افزار یک منبع جریان به ساختار متصل می‌شود. با این کار فرآیند باردار شدن تدریجی هواپیما در مواجهه با ذرات معلق در هوا شبیه‌سازی می‌شود. برای وضوح بهتر در نمایش وقوع تخلیه کرونا بازه میدان الکتریکی در نمایش از $3/25 MV/m$ تا $3/26 MV/m$ تنظیم می‌شود؛ بنابراین رنگ آبی نشان‌دهنده شدت میدان الکتریکی کمتر یا مساوی $3/25 MV/m$ و رنگ قرمز نشان‌دهنده شدت میدان الکتریکی $3/26 MV/m$ یا بیشتر است؛ بنابراین با گذشت زمان در شبیه‌سازی نقاطی که زودتر به رنگ قرمز برسند، محل تخلیه کرونا خواهند بود.

مطابق شکل‌های ۴ تا ۸ وقوع کرونا به ترتیب در نوک بال اصلی، نوک پایدارساز افقی، دم انتهایی، وسط بال اصلی و بال عمودی آن و به ترتیب در زمان‌های ۳، ۳/۴، ۳/۸، ۴/۴ و ۴/۸ میکروثانیه انجام خواهد شد. در واقعیت نیز در صورتیکه جریان باردار شدن بیشتر از جریان تخلیه باشد پتانسیل هواپیما بیشتر می‌شود و نقاط مورد اشاره به ترتیب شروع به تخلیه بار می‌کنند تا تعادل بین جریان باردار شدن و تخلیه ایجاد شود.



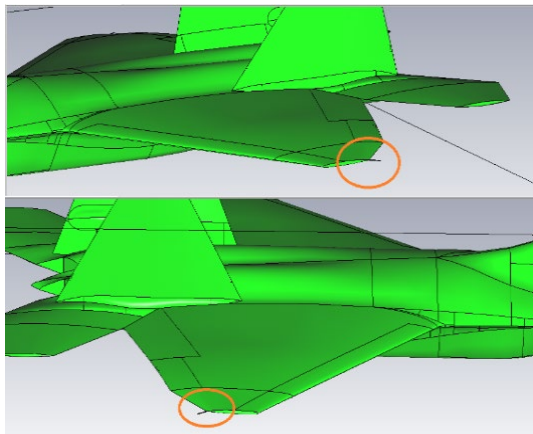
شکل (۴). نمایان شدن تخلیه کرونا در نوک بال اصلی هواپیما
 $t=3\mu s$



شکل (۱۱): وضعیت تخلیه کرونا در نوک تنگستن

۵- شبیه سازی هواپیمای مجهز شده به تخلیه‌کننده کرونا پیاده‌سازی شده

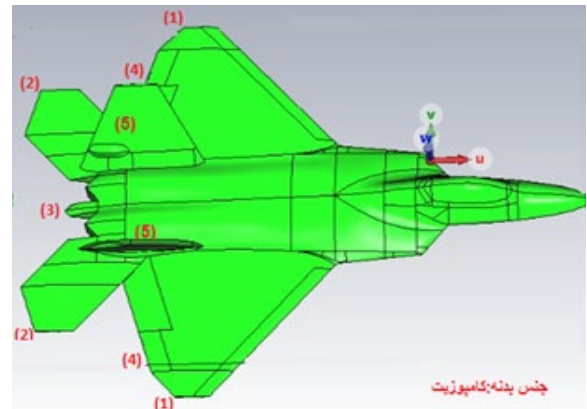
در این بخش وضعیت تخلیه کرونا در هواپیمای مجهز به تخلیه‌کننده بررسی می‌شود. برای این منظور و مطابق با شکل (۱۲) دو عدد تخلیه‌کننده کرونا به صورت متقارن در نوک بال‌های افقی هواپیما که اولین نقاط تخلیه کرونا می‌باشد مطابق شکل (۴) قرار داده می‌شود. در این مرحله به منظور مقایسه با حالتی که هواپیما به تخلیه‌کننده مجهز نبود شبیه‌سازی بر اساس منبع جریان انجام می‌شود.



شکل (۱۲): محل نصب تخلیه‌کننده کرونا در هواپیما

شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ وضعیت تخلیه الکتریکی کرونا را در بالا و پائین نوک تنگستن تخلیه‌کننده‌های چپ و راست نشان می‌دهد. بر این اساس تخلیه کرونا در زمان 0.82 میکروثانیه در نوک تنگستن و زودتر از هر نقطه دیگر از هواپیما، شروع می‌شود. بنابراین می‌توان گفت در صورتیکه تعداد تخلیه‌کننده به صورت صحیح انتخاب شود و در مکان صحیح نصب گردد، تمامی جریان تخلیه الکتریکی کرونا زودتر از اینکه در هر نقطه از هواپیما رخ بدهد، از تخلیه‌کننده به جو اطراف تخلیه می‌شود.

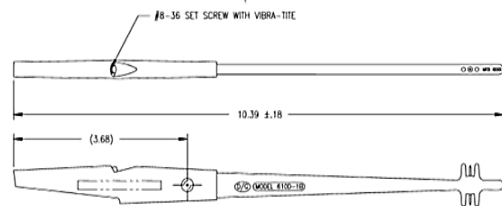
شکل ۹ ترتیب رخدادن تخلیه کرونا در نقاط مختلف هواپیما را نشان می‌دهد.



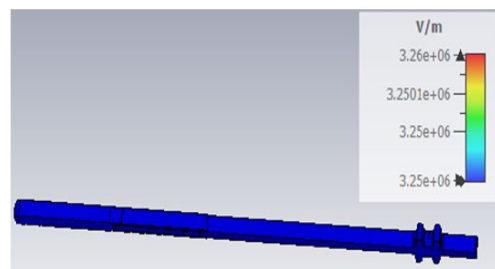
شکل (۹): جمع بندی نقاط تخلیه کرونا در هواپیما

۴- شبیه سازی تخلیه‌کننده کرونا میدان تهی

برای شبیه‌سازی تخلیه‌کننده ابتدا یک مدل از آن مطابق شکل (۱۰) در نرم‌افزار پیاده‌سازی می‌شود. ابعاد حدودی آن بر اساس تخلیه‌کننده شماره ۱۶۳۰۵ شرکت دایتون-گرانجر^۱ در نظر گرفته می‌شود [۱۲]. در این مرحله، شبیه‌سازی بر اساس منبع پتانسیل انجام می‌شود. با اعمال ولتاژ $5kV$ به پایه قطعه طراحی شده و پس از بررسی میدان الکتریکی حاصل از شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که تنها نوک تنگستن دچار تخلیه الکتریکی کرونا شده است که این موضوع بیانگر عملکرد صحیح قطعه پیاده‌سازی شده می‌باشد [۸]. شکل (۱۱) که بزرگ‌نمایی شده نوک تخلیه‌کننده می‌باشد، این موضوع را نشان می‌دهد.

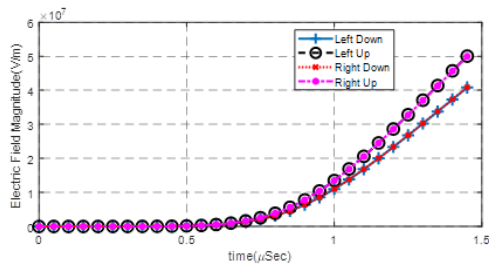


الف: شماتیک تخلیه‌کننده میدان تهی [۱۰]



ب: شماتیک تخلیه‌کننده پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار
شکل (۱۰): شماتیک تخلیه‌کننده کرونا پیاده‌سازی شده

¹ Dayton-Granger



شکل (۱۷): نمودار میدان الکتریکی نوک بالا و پائین تخلیه‌کننده‌های

چپ و راست هواپیما

هواپیمای مجهز شده به تخلیه‌کننده در زمان ۰/۸۲ میکروثانیه و زودتر از هواپیمای بدون تخلیه‌کننده (مطابق شکل (۴) تخلیه در زمان ۳ میکروثانیه انجام می‌شود) به آستانه تخلیه کرونا می‌رسد. با انجام انتگرال‌گیری از سیگنال تحریک (یک پالس پله نرم با زمان صعود ۱/۸ میکروثانیه) اندازه بار در این حالت حدود یک چهلم حالت بدون تخلیه‌کننده به دست می‌آید. بنابراین، تخلیه در پتانسیل کمتری به همین نسبت انجام خواهد شد و بدین ترتیب توان کمتری از محل تخلیه به آنتن‌های نصب شده روی هواپیما تشعشع می‌شود و اندازه نویز تداخلی ناشی از تخلیه کرونا به اندازه ۳۲dB کاهش می‌یابد.

نمودار اندازه شدت میدان در نوک بالا و پایین تخلیه‌کننده‌های سمت راست و چپ در شکل (۱۷) نشان داده شده است. از آنجایی که شبیه‌سازی کاملاً متقارن است، نمودارهای تخلیه‌کننده‌های چپ و راست کاملاً روی هم قرار می‌گیرد. همچنین مشخص است که اندازه شدت میدان در نوک بالایی تخلیه‌کننده قوی‌تر است.

۶- نتیجه‌گیری

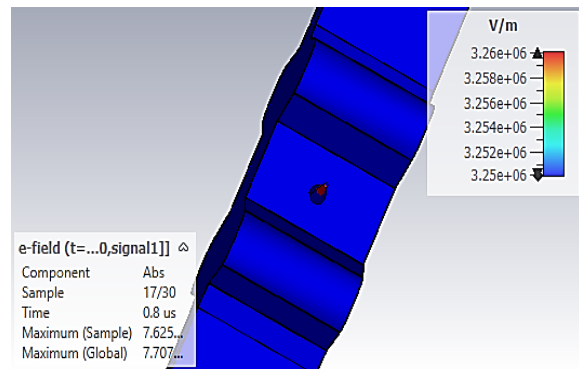
تعداد تخلیه‌کننده موردنیاز یک هواپیما وابسته به سرعت پرواز، حالت‌های پرواز، سطح مؤثر و دیگر پارامترهای پرواز است. حداکثر جریان تزریق شده به هواپیمای مدل شبیه‌سازی ۶۳۹ میکرو آمپر و به‌موجب آن تعداد تخلیه‌کننده موردنیاز ۱۳ عدد به دست می‌آید.

در مجموع نقاط: نوک بال افقی، وسط بال اصلی، دم هواپیما، نوک پایدارساز افقی و نوک بال عمودی به‌عنوان محل تخلیه کرونا در هواپیمای مفروض انتخاب شد که با هواپیمای دیگر همخوانی دارد.

در هواپیمای مجهز شده به تخلیه‌کننده کرونا، ضمن اینکه تخلیه کرونا فقط از نوک تخلیه‌کننده انجام می‌شود، توان تداخلات نیز به‌اندازه ۳۲dB کاهش می‌یابد.

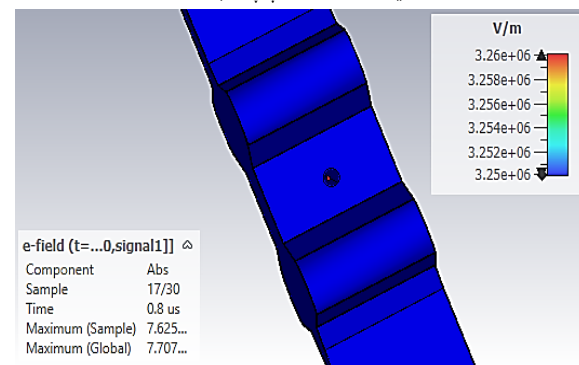
۷- مراجع

[1] J. Taillet, “Basic Phenomenology of Electrical Discharges at Atmospheric Pressure”, North Atlantic Treaty Organization, Atmospheric Electricity Aircraft Interaction. AGARD Lecture Series No.110, 1980



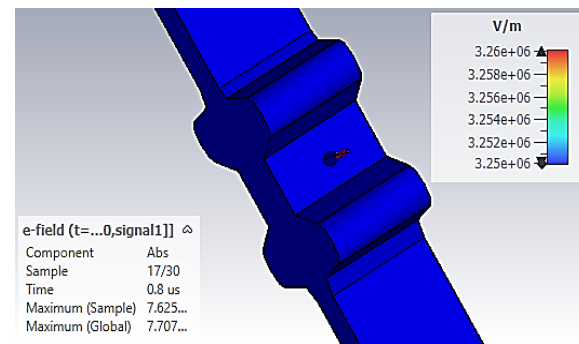
شکل (۱۳): وضعیت میدان الکتریکی برای قسمت بالایی نوک

تخلیه‌کننده سمت چپ $t=0.8\mu s$



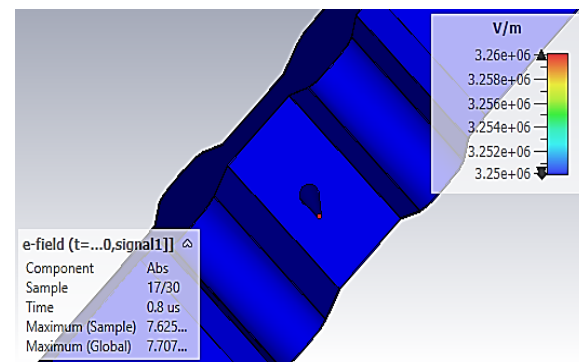
شکل (۱۴): وضعیت میدان الکتریکی برای قسمت پائینی نوک

تخلیه‌کننده سمت چپ $t=0.8\mu s$



شکل (۱۵): وضعیت میدان الکتریکی برای قسمت بالایی نوک

تخلیه‌کننده سمت راست $t=0.8\mu s$



شکل (۱۶): وضعیت میدان الکتریکی برای قسمت پائینی نوک

تخلیه‌کننده سمت راست $t=0.8\mu s$

- K.T. Lau, "Graphene oxide thin film structural dielectric capacitors for aviation static electricity harvesting and storage" *Composites Part B: Engineering*, Volume 201, pp 108375, 2020
- [7] John. B. Solak, et. al, Results of Static Electricity Discharge System Tests (Active and Passive)-Heavy Lift Helicopter, Boeing Vertol Company, AD-784 130, May 1974.
- [8] ARP5672, "Aircraft Precipitation Static Certification", SAE Aerospace International Group, 2016.
- [9] www.cst.com, CST Studio Suite 3D EM simulation and analysis software
- [10] Jay D. Cline, AIRCRAFT STATC DSCHARGER, United States Patent, 4,080,643 Mar. 21, 1978
- [11] R. Holm, Electric Contacts, Theory and Application, 4th edn., Springer-Verlag, Berlin, 1967.
- [12] daytongranger.com, Dayton-Granger Company.
- [2] J. E. Nanevicz and R. L. Tanner, "Some techniques for the elimination of corona discharge noise in aircraft antennas," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 52, no. 1, pp. 53-64, Jan. 1964,.
- [3] J. E. Nanevicz, "Alleviation Techniques For Effects Of Static Charging On Avionics", North Atlantic Treaty Organization, Atmospheric Electricity Aircraft Interaction, AGARD Lecture Series No.110, 1980
- [4] R. L. Tanner and J. E. Nanevicz, "Precipitation charging and corona-generated interference in aircraft", Stanford Res. Inst., Menlo Park, CA, Tech. Rep. 73, Contract AF 19(604)-34-58, Stanford Research Institute, 1961
- [5] H. Xie, Z. Huang, S. Guo, E. Torru, "Feasibility of an Electrostatic Energy Harvesting Device for CFCs Aircraft", *Procedia Engineering*, Vol. 99, pp.1213-1222, 2015
- [6] K.Y. Chan, D.Q. Pham, B. Demir, D. Yang, E.L.H. Mayes, A.P. Mouritz, A.S.M. Ang, B. Fox, H. Lin, B. Jia,