

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Uçaklarda Statik Elektrik Yükü Çökme Durumu (P-Statik) ve Statik Deşarj Çubuklarının İncelenmesi

Analysis of Precipitation Static Condition (P-Static) and Static Discharger Wicks for Aircraft

Furkan Akbulut^{1*}, Özcan Kalenderli¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: 30.03.2023

Kabul / Accepted: 17.04.2023

*Corresponding Author: Furkan Akbulut, akbulut20@itu.edu.tr

ÖZ: Uçaklar seyir halinde iken atmosfer içerisinde bulunan elektriksel olarak yüklü parçacıklarla (genellikle buz kristalleri, yağmur, kum ve tozlu parçacıklar) sürtünerek elektrostatik olarak yüklenmektedir. Bu yüklenmeler, biriken (çökelen) statik elektrik olarak adlandırılır ve kontrollü bir şekilde uçaklar üzerinden boşaltılmadığında çeşitli problemlere sebep olabilmektedir. Bu çalışmada ilk olarak uçaklar üzerinde biriken statik elektrik yüklerinin oluşum sebepleri ve uçaklardan kontrollü bir şekilde boşaltılmadığında ortaya çıkabilecek problemler (korona boşalmaları, ark oluşumları gibi) incelenmiştir. Elektrostatik yüklenmeler radyo ve navigasyon sistemlerinde bozulmalara yol açabilmektedir. İkinci bölümde, elektrostatik yüklerin uçak üzerindeki antenlere nasıl kuple olduğunu açıklayan kuplaj teorisi üzerine incelemeler yapılmıştır. Üçüncü bölümde, elektrostatik yüklerin uçaklardan boşaltılmasını sağlayan statik deşarj çubukları incelenmiştir. Statik deşarj çubuklarının özellikleri, kullanım alanları ve deşarj yöntemleri incelenmiştir. Ardından, statik deşarj çubuklarının montaj yöntemleri ve montaj yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken parametreler ile ilgili araştırmalara yer verilmiştir. Son bölümde, uçaklarda kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı için yapılan literatür araştırması ve yapılması gereken hesaplamalara ilişkin denklemler belirtilmiştir. Aynı bölümde örnek bir uçak üzerinde yapılan literatür araştırması referans alınarak kullanılması gereken statik deşarj çubuğu hesaplamaları yer almaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışma için Van's Aircraft'a ait RV-10 modeli uçak referans olarak alınmıştır. Hesaplamalarda bulunan değerler benzer bir uçak için önceden yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik yükü tutma, statik elektrik, elektriksel deşarj, deşarj çubuğu, analiz

ABSTRACT: Aircrafts are electrostatically charged as a result of friction with electrically charged particles (generally ice crystals, rain, sand and dusty particles) in the atmosphere while flight. These charges are called precipitation statics and can cause various problems when they are not discharged from aircraft in a controlled manner. In this study, firstly, the reasons for the formation of static electricity charges accumulated on the aircraft and the problems that may arise when they are not discharged from the aircraft in a controlled manner (such as corona discharges, arc formations) are examined. Electrostatic charges can cause malfunctions on radio and navigation systems. In the second part, the coupling theorem, which explains how the electrostatic charges are coupled to the antennas on the aircraft, is examined. In the third chapter, static discharge rods that allow the discharge of electrostatic charges from aircraft are examined. The properties, usage areas, discharge methods and minimum features of static discharge rods are examined in detail. Then, researches on the mounting methods of static discharge rods and the parameters to be considered in mounting methods are included. In the last section, the literature search for the number of static discharge rods to be used in airplanes and the equations for the calculations are given. In the same section, there are static discharge rod calculations that should be used with reference to the literature research on a sample aircraft. For this study, the RV-10 model of Van's Aircraft was taken as a reference. The values found in the calculations are compared with previous studies for a similar aircraft.

Keywords: Precipitation, static electricity, electrical discharge, discharge wick, analysis

1. GİRİŞ

Günümüzdeki en önemli ulaşım araçlarından biri olan uçaklar, seyir halinde iken elektriksel olarak yüklü parçacıklarla çarpışmaktadır. Bu temas sonrasında uçaklar üzerinde statik elektrik yükü birikimi meydana gelmektedir. Elektriksel yükler, genellikle kanat ve kuyruk uçları gibi çıkıntılı geometriye sahip yüzeylerden deşarj olmaktadır. Ayrıca, bu yükler radyo ve navigasyon sistemlerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple, statik yüklerin kontrollü olarak uçak üzerinden boşaltılması gerekmektedir. Aksi takdirde uçak üzerinden yüksek gerilim seviyelerinde korona boşalması türünde elektriksel boşalmalar meydana gelebilmektedir [1]-[6]. Uçak üzerinde biriken yüklerin kontrollü bir şekilde boşaltılması için çeşitli tiplerde statik deşarj çubukları kullanılmaktadır [7].

Bu çalışma; uçaklar üzerinde meydana gelen statik elektrik yüklenmesi ile ilgili matematiksel hesaplamaların belirlenmesi, elektrostatik yüklerin kontrollü bir şekilde deşarjında kullanılan statik deşarj çubuklarının tipleri, kullanım alanları ve montaj işlemleri ile ilgili araştırmaları ve bunlara ek olarak yapılan literatür araştırmaları referans alınarak örnek tek motorlu bir uçak üzerinde kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı ile ilgili hesaplamaları kapsamaktadır.

2. UÇAKLARIN ATMOSFERLE ELEKTROSTATİK ETKİLEŞİMİ

Bir uçağın atmosferle elektrostatik etkileşimi çeşitli parametrelere bağlı olan karmaşık bir olgudur.

Uçak faktörü

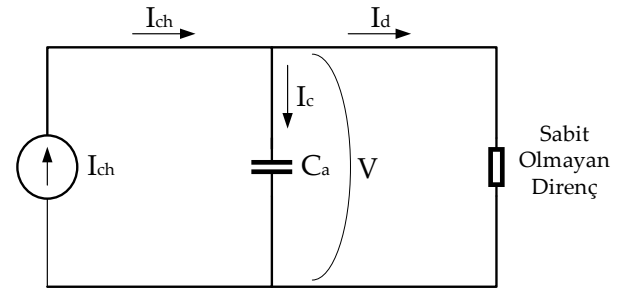
- Elektrik yükü tutma kapasitesi
- Uçağın şekli
- Uçak hızı
- Motor karakteristiği
- Uçak yüzey malzemesi

Atmosferik faktörler

- İrtifa
- İletkenlik
- Sıcaklık ve basınç
- Açık hava elektrik alanı
- Tutulan (çökelen) elektrikli parçacıkların karakteristikleri

Her uçak çeşitli süreçlerde elektriksel olarak şarj ve deşarj olabilen bir kapasite olarak düşünülebilir. Kapasitenin şarj veya deşarj oranı, şarj veya deşarj olduğu konumlar ve bu parametrelerin büyüklükleri uçakların elektrostatik durumu olarak tanımlanabilir [8].

Seyir halindeki bir uçağın elektrostatik yüklenme durumu, Şekil 1'deki gibi Kirchoff yasası ile ilişkili olarak açıklanabilir. Uçaklardaki statik elektrik yük birikimi durumu kapasite ile paralel bağlı sabit olmayan direnç olarak modellenmektedir [4].



Şekil 1: Elektrostatik yüklenme bakımından uçak eşdeğer devre modeli.

Şekil 1'deki eşdeğer devreden

$$I_{ch} = I_d + C_a \frac{\partial V}{\partial t} \quad (1)$$

yazılır. Denklem (1)'de, V uçak potansiyeli [V], I_{ch} toplam şarj akımı [A], I_d toplam deşarj akımı [A], C_a uçak kapasitesi [F] büyüklükleridir.

Uçak üzerinde biriken toplam net elektrik yükü (Q_a) coulomb cinsinden Denklem (2)'de belirtilmektedir [4], [8]:

$$Q_a = C_a \times V_a \quad (2)$$

2.1 Çökeltme Elektrostatığı (P-Statik)

Statik elektrik, bir malzemenin içindeki veya yüzeyindeki elektrik yüklerinin dengesizliği olarak tanımlanabilir. Statik yükler, iki yüzeyin birbirine temas edip ayrılması veya sürtünmesi ile meydana gelmektedir. Statik yükler, herhangi bir deşarj durumu gerçekleşene kadar hareketsizdirler. Birbirleri ile temas halinde olan maddeler arasında temas yüzeyi boyunca elektron alışverişi olmaktadır. Maddeler birbirinden ayrıldığında biri

pozitif diğeri ise negatif elektrik yükü ile yüklenmektedir. Bu zıt yüklerle yüklenme sebebiyle maddeler birbirini çekerler ve arada bulunan yalıtkan tabaka üzerinde ark şeklinde elektriksel boşalma oluşturmaktadırlar. Bu gibi oluşumlar tehlikeli durumlara sebep olmaktadır [9].

Statik yüklerin uçak üzerinde birikimi sonucunda üç tip deşarj oluşumu gözlenmektedir:

1. Korona Deşarjı (Corona Discharge)

Korona, yüksek elektrik alanının olduğu yerlerde havanın iyonlaşması sonucu olan bir elektrik boşalmasıdır. Korona deşarjları gözlemlenebilir yapıdadırlar, ışıltılıdırlar ve duyulabilirler. Bir uçaktaki yüklenme durumu 100 kV ile 200 kV arasında gerilim seviyelerine ulaştığında uçağın kanat uçları ve kuyruk gibi çıkıntılı geometriye sahip bölgelerinde korona deşarjı gerçekleşebilir [10].

2. Akış (Streaming)

Akış, uçak üzerindeki dielektrik yüzeylerden (cam ve seramiklerin yanı sıra kompozit radomlar ve kompozit kanatçıklar gibi yerlerden) meydana gelebilecek bir elektrik deşarjıdır. Bu yolla kompozit malzemedeki metal bir gövdeye veya havada birkaç santimetre mesafeye kadar atlamalar olabilir [10].

3. Ark (Arcing)

Ark oluşumu, akışa (streaming) benzer parlak bir ışıltı oluşturabilir, ancak genellikle bir santimetre veya daha kısa mesafelerde noktadan noktaya atlama ile sınırlıdır. Arklar hemen hemen her zaman uçağın bir bölgesinin ana yapıdan elektriksel olarak yalıtılmasının bir sonucudur ve böylece yalıtılmış kısımda yük biriktiğinde ana yapıya ark oluşabilmektedir [10].

2.2 Kuplaj Teorisi

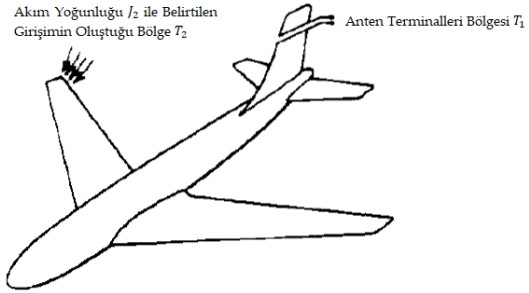
Statik elektrik yükleri yakınındaki antenler üzerine kuplajla elektriksel bozulmalara sebep olmaktadır. Antenler üzerindeki korona deşarjından kaynaklanan girişimin belirlenmesinde kuplaj

teorisi kullanılmaktadır. Teori, bir karşılıklık ilişkisinden türetilmektedir. Kuplaj teorisi Denklem (3) ile belirtilmiştir. Denklemde; I_2 anten üzerinde oluşan kuplaj akımını, V_1 anten uçlarına uygulanan gerilimi, E_1 bu gerilim sebebiyle anten çevresindeki her noktada oluşan elektrik alanı ve J_2 , T_2 bölgesinde oluşan akım yoğunluğunu belirtmektedir [1], [2], [4].

$$I_2(w) = \frac{1}{V_1(w)} \int_{T_2} E_1(x, w) \times J_2(x, w) dv \quad (3)$$

Denklem (3)'ten görüldüğü gibi anten akımı I_2 'nin gürlütüsünün azaltılabileceği veya ortadan kaldırılabilceği birkaç yöntem bulunmaktadır.

1. Deşarj akımı J_2 'nin sifıra yaklaşmasının sağlanması.
2. E_1/V_1 'in sifıra yaklaşmasının sağlanması.
3. J_2 'nin E_1 'e dik olmasının sağlanması [1].



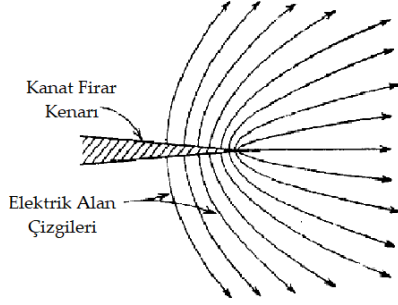
Şekil 2: Kuplaj teorisinin uçak üzerinde gösterimi [1].

3. STATİK DEŞARJ ÇUBUKLARI

Statik deşarj çubukları uçak üzerinde biriken statik elektrik yüklerini herhangi bir ark olayı oluşmadan havaya kontrollü bir şekilde boşaltılması sağlamaktadır.

Statik deşarj çubukları genellikle uçakların flap, kanatçık, dikey ve yatay stabilizatörlerinin firar kenarlarına konumlandırılmaktadır. Kanat ucu (winglet) gibi bölgelerde kullanılan uç kenar (tip edge) tip ve flap, kanatçık gibi kontrol yüzeylerinin firar kenarlarında kullanılan firar kenar (trailing edge) tip olmak üzere iki tip statik deşarj çubuğu bulunmaktadır. Statik deşarj çubuklarının dirençleri; genellikle firar kenar montajlı (trailing edge mounted) olanlar için 6-200 Mohm, uç kenar montajlı (tip edge mounted) olanlar için 6-120

Mohm arasında oldukça yüksek direnç değerindedir [6],[11]. Statik deşarj çubuklarının uçak yüzeylerine elektrikselsel olarak yeterli elektrik yükü iletimi sağlayacak şekilde montajlanmaları gerekmektedir. Herhangi bir arıza durumunda kolayca değiştirilebilmektedirler [3].



Şekil 3: Uçak kanat profilindeki elektrik alan çizgileri [4].

Statik deşarj çubuklarının uçakların karakteristik özelliklerine göre çeşitli türleri bulunmaktadır. Düşük hızlarda uçan ticari uçakların ve süpersonik hızlarda uçan savaş uçaklarında aynı statik deşarj çubuğunun kullanılmaması gerekmektedir [3]. Firar kenar tipi ve uç kenar tipi statik deşarj çubukları için asgari gereklilikler Tablo 1: *Firar kenar ve uç kenar tipi static deşarj çubukları için asgari gereklilikler* [4]

ile belirtilmiştir.

Tablo 1: Firar kenar ve uç kenar tipi static deşarj çubukları için asgari gereklilikler [4]

Özellikler	Firar Kenar Tipi	Uç Kenar Tipi
Uzunluk	15-30 cm	10-15 cm
Tipik Ağırlık (gram)	30	15
Direnç (Mohm)	6-200	6-120
Deşarj Akımı@40kV (μ A)	10 (en az)	10 (en az)
Deşarj Gürültü Kaybı@50 μ A (dB)	-40 (en az)	-30 (en az)
Güç Kaybı (Watt)	5	5
En yüksek Deşarj Akımı (μ A)	400	400
Sürekli Deşarj Akımı (μ A)	50	50

Gerilme (kg)

22

22

3.1 Statik Deşarj Çubuğu Tipleri

Statik deşarj çubukları ilk olarak 1940'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. O günlerden bugüne kadar gelişen havacılık teknolojisi ile birlikte ihtiyaca yönelik farklı tiplerde statik deşarj çubukları geliştirilmiştir.

3.1.1 Karbon ve Naylon Statik Deşarj Çubukları (Carbon wick/Nylon wick)

Bu tür statik deşarj çubukları, 1940'lı yıllarda geliştirilmiştir. Esnek bir plastik sarmal içerisinde karbon kaplanmış liflerden oluşmaktadır. Bu tür deşarj çubukları orta düzeyde (25-30 dB) gürültü azaltma özelliği sağlamaktadır. Rüzgârın statik deşarj çubuğu üzerindeki pamuktan parçacıkları savurarak koparması nedeniyle çok kısa ömürlüdürler. Deşarj çubuğunun ucu siyah renkten griye döndüğünde uçlarda düzenli olarak onarım yapılması gerekmektedir. Bu tip deşarj çubukları, düşük başlangıç maliyetleri sebebiyle tercih edilmektedir. Jet uçakları veya yüksek performanslı çift motorlu uçaklar için uygun değildirler. 260 knot altında seyreden uçaklar için daha uygundur [7].

3.1.2 Mikro Uç Statik Deşarj Çubukları (Micropoint Tip)

Mikro uç türü statik deşarj çubuklarının gürültü azaltma kapasitesi, yapısında bulunan çok küçük çaplı, ince teller sayesinde olmaktadır. Deşarj noktasının küçük çaplı olması elektrostatik alan şiddetinin deşarj noktasında yükselmesine sebep olmaktadır. Bu durum, koronanın daha düşük bir potansiyelde başlamasına neden olur. Mikro uç türü statik deşarj çubuklarının ucunda yaklaşık 4000 adet her biri 4 mikron çapında tel kullanılmaktadır. Bu sayede, iyonlar tüm tellere eşit olarak dağılmakta ve gürültü azalmaktadır. Mikro uç türü statik deşarj çubukları, statik deşarj çubuğu olmayan uçaklardaki elektrik yükü boşalmasına kıyasla yaklaşık 40 dB'lik bir gürültü azaltma özelliği sağlamaktadır [7].

3.1.3 Null-Plus Tip

Null-Plus tip statik deşarj çubukları, 200 knot üzerinde hızla uçan her tür uçak için tasarlanmış karbon noktalı statik elektrik yükü boşaltıcılardır.

Bu deşarj modeli, VLF frekanslarında optimum gürültü azaltması sağlamak için mevcut en etkili modeldir. Tipik gürültü azaltma seviyesi 60 dB'nin üzerindedir. Uçak üzerindeki sürtünmeyi (drag) azaltıcı yönde tasarımları bulunmaktadır. 520 knot altında hızla uçan uçaklar için uygundur [7].

3.1.4 Null-Field Tip

Null-Field tip statik deşarj çubukları, anten alanlarının sıfır olduğu bölgelerde bu alanlara dik açılarda statik yüklerin deşarjını gerçekleştirmektedir. Çubuğun gövdesine dik açılarda çıkıntı yapan sivri uçlar (tungsten pimler) statik alanı daha da yükselterek deşarjın bu noktalardan gerçekleşmesini sağlamaktadır [4], [7].

3.1.5 Null-Strike Tip

Bu statik deşarj çubukları yıldırım önleyici deşarjlar ancak gelişen teknoloji ile birlikte yıldırım dayanımı özelliğine sahip deşarj çubukları geliştirilmiştir. Null-Strike statik deşarj çubukları, yıldırım koruması için özel olarak tasarlanmaktadır. Güçlü bir yapıştırıcı ile deşarj çubuğunun yüzeyine epoksi kaplanmış alüminyum parçacıklardan oluşmaktadır. Bu parçacıklar "Darbe önleyici" olarak adlandırılmaktadır. Darbe önleyici elemanlar, uçak gövdesine verilen hasarı en aza indirmek için herhangi bir yıldırım çarpması durumunda yıldırım akımının deşarj çubuğu üzerinden boşalmasını sağlamak için kullanılmaktadır [7].

3.2 Statik Deşarj Çubuğu Montaj Yöntemleri

Statik deşarj çubukları, uçaklara genellikle tutucu (retainer) olarak adlandırılan bağlantı elemanları ile tutturulmaktadır. Tutucuların firar kenar tipi ve uç kenar tipi deşarj çubukları için olan iki tipi bulunmaktadır. Tutucuların kullanımı sayesinde herhangi bir sebeple zarar gören statik deşarj çubukları tutuculardan sökülerek yenisi ile değiştirilebilmektedir. Statik deşarj çubuklarının uçağın gövdesine tam iletken tutucularla tutturulması gerekmektedir. Eğer uçak montaj yüzeyi iletken değilse en yakın iletken yüzey ile arasında bir iletken bağlantı sağlanması gerekmektedir. Kanat ve kuyruk uçları gibi çıkıntılı geometriye sahip yüzeylere statik deşarj çubuğu yerleştirilmesi sebebiyle uçaklar yıldırım hasarlarına daha açık hale gelebilmektedir. Uçağa

deşarj çubukları üzerinden herhangi bir yıldırım çarpması durumunda yıldırım akımı tutucu üzerinden uçak gövdesine geçecektir. Bu sebeple, tutucunun uçak yapısına 0.1 ohm gibi düşük bir bağlantı direnci ile bağlanması gerekmektedir [3], [12].

3.3 Statik Deşarj Çubuğu Sayısının Hesaplanması

Uçaklar üzerinde biriken statik yükün yeterli miktarda statik deşarj çubuğu ile boşaltılması gerekmektedir. Aksi takdirde statik deşarj çubukları üzerinden anma deşarj kapasitelerinin üzerinde bir akım akışı meydana gelmektedir. Bu sebeple, her uçağa özgü parametreler referans alınarak hesaplamalar uçak özelinde yapılmalıdır [4]. Hesaplamalar yapılırken ilk olarak uçak üzerinde biriken toplam şarj akımı bulunmalıdır. Toplam şarj akımının bir adet statik deşarj çubuğunun minimum deşarj kapasitesine bölünmesi ile kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı bulunabilir. Yapılacak hesaplamalar Denklem (4) ve Denklem (5) ile belirtilmiştir [4], [8].

$$I_{ch} = q_p \times N_p \times v_{air} \times A_e(v_{air}) \quad (4)$$

$$N = \frac{I_{ch}}{I_{min}} \quad (5)$$

Bu denklemlerde, I_{ch} toplam şarj akımı [A], q_p tek bir parçacık tarafından uçak üzerinde biriken elektrik yükü [C/parçacık], N_p parçacık yoğunluğu [parçacık sayısı/m³], v_{air} uçak hızı [m/s], $A_e(v_{air})$ hızın fonksiyonu olarak etkin parçacık yakalama alanı [m²], I_{min} deşarj çubuğunun minimum deşarj akımı [A] ve N kullanılması gereken deşarj çubuğu sayısı [adet] büyüklükleridir.

3.4 Örnek Bir Uçak için Statik Deşarj Çubuğu Sayısının Hesaplanması

Van's Aircraft'a ait RV-10 modeli için kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı araştırılmıştır. Uçağın 8000 ft irtifadaki seyir hızı 171 kn (88 m/s)'dir [13]. Ön yüzey alanı üretici firmanın uçak ile ilgili hazırladığı dokümanlarda belirtilmemiştir. Bu sebeple kanat açıklığı benzer olan Denney Kitfox Classic 4 referans alınarak 3 m² olarak kabul edilmiştir [14]. Sirüs tipi bulutlarda parçacık yoğunluğu 2×10^4 [Parçacık sayısı/m³] ve kümülüs tipi bulutlarda ise 6×10^4 [Parçacık

sayısı/m³]’tür. RV-10’un bu bulut tiplerinin her ikisinde de seyir halinde bulunacağı değerlendirilmiştir. Bu sebeple, $N_p = 4 \times 10^4$ [Parçacık sayısı/m³] olarak ortalama bir değer alınmıştır. Tek bir parçacık tarafından uçak üzerinde biriken yük [C/parçacık] ortalama olarak buz kristalleri içeren sirüs bulutlarında 60×10^{-12} C/parçacık değerine kadar çıkabilmektedir [4]. Bu değerler referans alınarak uçağın toplam şarj akımı Denklem (6) ile belirtildiği gibi bulunmuştur.

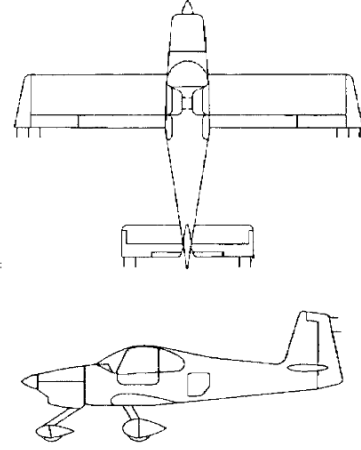
$$I_{ch} = (60 \times 10^{-12}) \times (4 \times 10^4) \times 88 \times 3 \quad (6)$$

$$I_{ch} = 6,34 \times 10^{-4} A \quad (7)$$

Bulunan bu değer uçak üzerinde biriken toplam şarj akımını belirtmektedir. Bu sebeple, kullanılması gereken deşarj çubuğu sayısı bir deşarj çubuğunun minimum deşarj kapasitesine bölünmelidir. Belirlenen standartlara göre bir deşarj çubuğunun minimum deşarj kapasitesi 50 μA ’dır [4]. Bu sebeple, Denklem (7) ile belirtilen değer 50 μA değerine bölünmesi gerekmektedir.

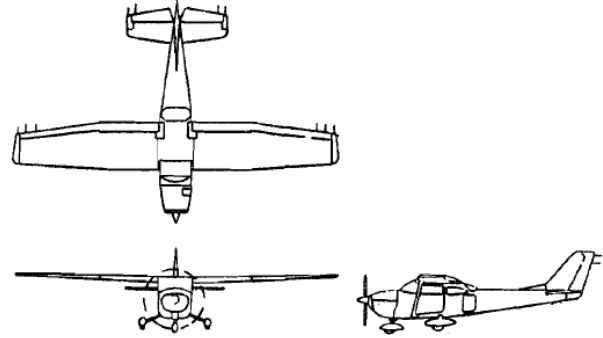
$$N = \frac{6,34 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-6}} \cong 12 \text{ adet} \quad (8)$$

Yapılan hesaplamalar sonrasında kullanılması gereken deşarj çubuğu sayısı, Denklem (8) ile belirtildiği gibi 12 adet olarak kabul edilebilir. RV-10 için yapılan statik deşarj çubuğu yerleşimi Şekil 4’da gösterilmiştir. Buna göre; kanatların firar kenarlarında 3’er adet, yatay stabilizatörlerde 2’şer adet ve dikey stabilizatörde 2 adet olmak üzere toplam 12 adet statik deşarj çubuğu yerleşimi yapılabilir [15].



Şekil 4: RV-10 için statik deşarj çubuğu yerleşimi [15].

RV-10 modeline benzer tek motorlu bir uçak için statik deşarj çubuğu kullanım sayısı araştırılmıştır. Yapılan literatür taraması neticesinde benzer boyutlardaki tek motorlu bir uçak için statik deşarj çubuğu kullanım sayısının RV-10 için hesaplanan değer ile aynı olduğu (12 adet) bulunmuştur [16].



Şekil 5: RV-10 modeline benzer tek motorlu bir uçak için statik deşarj çubuğu yerleşimi [16].

4. SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda uçaklar üzerinde biriken statik yüklerin antenler üzerindeki bozucu etkileri kuplaj teorisi ile ilişkilendirilerek incelenmiştir. Statik deşarj çubuklarının tiplerine göre elektriksel özellikleri ve operasyonel kullanım koşulları belirtilmiştir. Ayrıca, uçak yüzeylerine montaj işlemleri için kullanılması gereken cihazlar ve bağlantı yöntemleri değerlendirilmiştir. Bunlara ek olarak, uçakların yüklenme akımının bulunması için yapılan literatür araştırması örnek bir uçağın teknik özellikleri ile ilişkilendirilerek kullanılması gereken statik deşarj çubuğu sayısı hesaplanmıştır.

Bulunan değerler, tek motorlu benzer bir uçak için yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Yazar Katkısı: Furkan Akbulut, literatür taraması ve çalışmanın gerçekleştirilmesi, Özcan Kalenderli, içerik belirleme ve kontrol kısımlarına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] J. A. Nanevicz and R. L. Tanner, "Some Techniques for the Elimination of Corona Discharge Noise in Aircraft Antennas," Proc IEEE, vol. 52, no. 1, pp. 53-64, Jan. 1964.
- [2] R. L. Tanner, "Precipitation Particle Impact Noise Aircraft Antennas," IEEE IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 5, no. 2, pp. 232-236, Apr. 1957.
- [3] Aircraft Precipitation Static Certification, ARP5672, 2016.
- [4] J. A. Nanevicz and R. L. Tanner. (1961, Apr.). Precipitation Charging and Corona-Generated Interference in Aircraft. Armed Services Technical Information Agency. Virginia, USA. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0261029.pdf>
- [5] N. Felici, S. Larigaldie, "Experimental study of a static discharger for aircraft with special reference to helicopters," Journal of Electrostatics, vol. 9, no. 1, pp. 59-70, June 1980.
- [6] J. Y. Lee, "Electrostatic Discharges and Grounding for Aircraft," 2019 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/AERO.2019.8741867.
- [7] Dayton Granger Team. (2022, Feb.). Types of Static Dischargers. Dayton Granger Company. Fort Lauderdale, USA. [Online]. Available: <https://daytongranger.com/app/uploads/2022/02/StaticDischargersTypes.pdf>
- [8] R. A. Perala. (2009). A Critical Review of Precipitation Static Research Since 1930's and Comparison to Aircraft Charging By Dust. Electro Magnetic Applications, Inc. Colorado, USA. [Online]. Available: https://www.ema3d.com/wp-content/uploads/downloads/AEP_3.pdf
- [9] F. Ünal Toktaş, "Statik Elektrik," Elektrik Mühendisliği, sayı 330-331, s. 60-64, Nisan, 1986.
- [10] AviationHunt Team. (2021, July). Aircraft Static Discharge. AviationHunt. [Online]. Available: <https://www.aviationhunt.com/aircraft-static-discharge/>
- [11] Dischargers, Electrostatic General Specification, MIL-DTL-9129G, 2014.
- [12] Dayton Granger Team. (2022, Feb.). Instruction and Service Manual Dischargers and Retainers. Dayton Granger Company. Fort Lauderdale, USA. [Online]. Available: https://daytongranger.com/app/uploads/2022/02/Dischargers_Retainers-ServiceManual.pdf
- [13] Van's Aircraft Team. (2019, Jan.). RV-10 Brochure. Van's Aircraft Company. Oregon, USA. [Online]. Available: <https://www.vansaircraft.com/wp-content/uploads/2019/01/10FLY-2-19-Screen.pdf>
- [14] C. Lum and B. Waggoner. (2010, Feb.). A Risk Based Paradigm and Model For Unmanned Aerial Systems in the National Airspace. University of Washington. Seattle, USA. [Online]. Available: https://www.aa.washington.edu/sites/aa/files/research/afsl/publications/lum_risk_for_uavs_2010_2.pdf
- [15] Dayton Granger Team. (2005, May). Discharger Installation Diagram Van's Aircraft RV-10. Dayton Granger Company. Fort Lauderdale, USA. [Online]. Available: <http://mouser.org/projects/rv-10/daytongranger-rv10.png>
- [16] R. W. Lilley and R. W. Burhans. (1980, Sept.). VLF P-Static Noise Reduction in Aircraft. Ohio University. Ohio, USA. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA098451.pdf>