

Kompozit Uçak Yüzeyinde Elektrik İletkenliği

Deniz ÖZEL

Yüksek Kimyager -Malzeme ve Proses Uzmanı-TAI

Cahit TÖRE

Makina Mühendisi- Uçak Yapıları Tasarım Lideri-TAI

ÖZET

Normal bir uçuş sırasında uçaklar yıldırım çarpması, uçak ve hava arasında sürtünmeden kaynaklanan statik elektrik veya uçağın elektronik donanımından kaynaklanan magnetik alan gibi çeşitli nedenlerle elektrik akımına maruz kalmaktadır. Bu akım, uçağa zarar verebilmekte hatta kazalara neden olabilmektedir. Bu nedenle, uçak yapılarında elektrik iletkenliğinin sağlanması önemli bir konudur. Uçak malzemesi olarak alüminyum kullanıldığında bu problem, alüminyumun iyi bir iletken olması nedeniyle yaşanmamaktadır. Ancak son yıllarda metallere göre daha hafif buna karşılık daha mukavim olduğu için iletkenliği düşük kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Bu malzemelerin kullanımı, uçak yapılarında iletkenliğin sağlanması için tasarımcıları çözüm bulmaya zorlamaktadır. Bu makalede bu çözümlerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik iletkenliği, uçak yapıları, kompozit malzemeler

ABSTRACT

During a normal flight aircraft structures are exposed to electrical current due to lightning strike, static electric produced by friction between air and aircraft and magnetic field of electronic equipments. This current can damage the aircraft or even can cause crash. Therefore electrical conductivity of aircraft structures is an important issue. When aluminum is used as aircraft material the problem is not so big since aluminum itself is a good conductor. However, in recent years the use of composite materials, which have very low conductivity, is going up due to their low weight and high strength. Non-conductive properties of these materials force the designers to find out solutions to make such structures electrically conductive. This paper presents these solutions.

Keywords: Electrical conductivity, aircraft structures, composite materials

GİRİŞ

Uçak yapıları tasarımında statik elektriğin veya uçuş esnasında yıldırım düşmesiyle oluşan elektriğin uçağa zarar vermeden akışını sağlamak oldukça önemli bir konudur. Ticari uçakların yılda bir ya da iki defa yıldırım çarpmasına maruz kaldığı tahmin edilmektedir. Buna karşın, yıldırım çarpması nedeniyle en son uçak kazası 1963 yılında görülmüş, Pan Am 707 uçağında biriken elektriğin yakıt tankında oluşturduğu ark'ın yakıt tankını patlatması sonucu 81 kişi bu kazada hayatını kaybetmiştir. Bu kazadan sonra, elektrik iletkenliği ile ilgili tasarım yönetmelikleri daha sıkı bir şekilde uygulamaya konmuştur.

İlgili Yönetmelikler

Başlıca üç yönetmelik uçakları statik elektrik ve yıldırım çarpmasına karşı korumayı amaçlamaktadır:

- 1) Yıldırım çarpmasına karşı koruma JAR 25.581
 - 2) Statik elektrik oluşmasına karşı koruma ve topraklama JAR 25.899
 - 3) Yakıt sistemlerini yıldırım çarpmasına karşı koruma JAR 25.954
- Buna göre, tasarım çalışmalarının, uçakları yukarıda

belirtilen durumlara karşı koruyacak şekilde sürdürülmesi gerekmektedir.

Uçak Üzerinde Elektrik Nasıl Oluşur?

Uçak üzerinde elektrik farklı şekillerde oluşabilir. Bunu genelleştirirsek;

- Uçuş esnasında yıldırım düşmesi sonucu oluşan elektrik,
- Uçak kar, buz, sulu kar, dolu veya toz bulutu içinden geçerken sürtünme etkisiyle oluşan statik elektrik
- Elektronik cihazların oluşturduğu statik elektrik

İlerleyen bölümlerde, yukarıda bahsi geçen nedenlerle oluşan elektriğin uçak üzerinden belli bir yol tanımlanarak atılması anlatılacaktır.

Uçakların Yıldırım Çarpmasına ve Statik Elektriğe Karşı Korunması

Uçak üzerinde biriken statik elektriğin ve yıldırım düşmesi sonucu oluşan akımın oluşturacağı zarar aşağıdaki metotların uygulanmasıyla önlenir:

- 1) Akımın uçak yüzeyinden taşınması ve uçağa zarar vermemesi için iletken yolun tanımlanması (elektriğin uçak üzerinde izleyeceği yolun belirlenmesi). Elektrik

akımının hızlı bir şekilde uçağın çevresine dağıtılması ile yıldırımın bir noktada büyük hasara yol açması önlenir.

- 2) Uçağın elektronik uçuş enstrümanlarının, yoğun manyetik alana karşı (kalkan ile) korunması. Bunun için ana gövde ve kanatların dış yüzey katmanına metal örgü (mesh) ya da tabaka yerleştirilmelidir.
- 3) Cıvata-somun ve delik bağlantısında ark oluşmasına ve yakıt buharının alev almasına neden olacak boşlukların önlenmesi;
- 4) Yapısal parçalar arasındaki boşlukların sıvı conta ile doldurulması ile parçalar arasında ark oluşumunun engellenmesi;
- 5) Sürtünme etkisiyle statik elektrik oluşturan bütün yüzeylerde elektrik akışkanlığının sağlanması.

Tüm bu uygulamalar, iletken yüzeyler ile uçağın geri kalan kısmı arasında bağlantı kurulmasını ve böylece elektrik akımının geçip gidebileceği bir yol oluşturulmasını gerektirir. Bu da metalik bağlayıcı şeritler (electrical bonding) ile sağlanır.

Uçuş Esnasında Yıldırım Düşmesi

Uçak üzerine yıldırım çarpması durumunda, yaklaşık 200 000 amperlik bir akım oluşur. Oluşan bu akım uçak üzerinde kendine iletken bir yol arar. Genelde uçaklar, gövde ve kanatlar da dahil olmak üzere ağırlık olarak % 85 oranında, iyi bir iletken olan alüminyumdan yapıldığı için uçak üzerinde oluşan statik elektrik temel topraklama ve iletkenlik çalışmasıyla uçak yüzeyinden tekrar atmosfere verilmekte ve böylece uçağa zarar vermesi önlenmektedir.

Şekil 1'de gösterildiği gibi uçuş esnasında yıldırım çarpması sonucu oluşan akım uçak burnundan alınarak kanat ve dik stabilize uçlarından tekrar atmosfere verilmektedir.

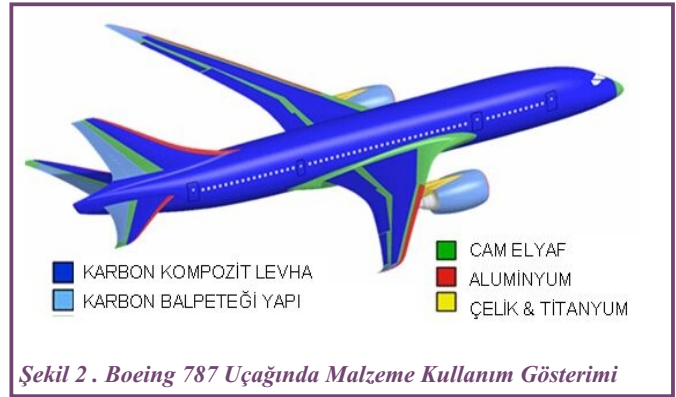


Şekil 1 . Yıldırım Çarpması Sonucu Akımın Uçak Yüzeyinden Atılması

Bu akımın gideceği yolun iyi bir şekilde belirlenmemesi durumunda, kablolar eriyebilir; birbirine bağlı parçalar oluşan akımla birbirine kaynak olurcasına tek parça olabilir; akımın delik cıvata boşluğunda ark yapması durumunda ise uçağın yakıt tankları patlayabilir. Tüm bunların yanı sıra, elektronik aksamın zarar görmesi de bu durumun dolaylı bir sonucudur.

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak yeni nesil uçaklarda metallere göre çok daha hafif buna karşın yüksek mukavemetli kompozit malzemelerin kullanım oranı artmaktadır. Örneğin, Boeing 777 uçağında ağırlık olarak %12 oranında kompozit parça kullanılmaktadır. Airbus A380 uçağında bu oran ağırlıkça % 25 oranındadır. Bundan sonraki en önemli örnek kompozit kullanım oranı %51'in üstünde olan Boeing 787 'Dream Liner' dir. Boeing 787'nin, 2007 yılında test uçuşlarına, 2008 yılında ise ticari uçuşlara başlaması planlanmaktadır. Şekil 2'de gösterildiği gibi Boeing 787 uçağının en önemli özelliği uçak yüzeyinin tamamına yakın bir kısmının kompozit malzemelerden yapılmasıdır.

Yıldırımın yüksek enerjisi yanında kompozit malzemelerin elektrik iletkenliği alüminyum, çelik ve titanyuma göre çok düşüktür (Tablo 1). Özellikle cam elyaf bazlı kompozit malzemelerin elektriği iletmedikleri unutulmamalıdır. Dolayısıyla, kompozit yüzeylerde elektrik



Şekil 2 . Boeing 787 Uçağında Malzeme Kullanım Gösterimi

iletkenliğini sağlamak için bir takım özel önlemlerin alınması gerekmektedir. İşte bu sebeple, kompozit yüzeyleri yıldırım çarpmasına ve statik elektrik birikmesine karşı korumak, bu malzemelerin uçaklarda ilk defa kullanıldığı 30 yıl öncesinden bu yana önemli bir konu haline gelmiştir.

Kompozit Malzeme Nedir?

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan ve bu sayede özellikleri gelişen yapı

olarak tanımlanır (örneğin, reçine emdirilmiş karbon kumaş). Bu yapı mukavemetli (uçuş yüklerine mukavim) ve alüminyuma göre daha hafif olduğu için tercih edilmektedir.

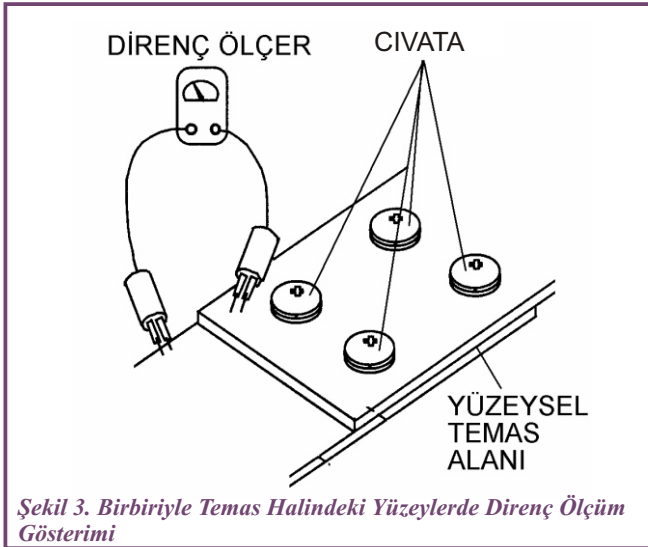
Ağırlıkça %51'i kompozit olan Boeing 787'nin aynı yolcu kapasitesine sahip benzerlerine göre %20 yakıt tasarrufu sağlaması kompozit malzemenin uçak ağırlığını nasıl etkilediğinin bir göstergesidir.

Malzemelerin Yüzeysel Temas Direnç Değerleri

İki yüzey arasında Şekil 3'te gösterildiği gibi direnç ölçüldüğünde, yüzeylerin gösterdikleri direnç değerleri Tablo 1'deki gibidir. Bu değerlere göre, kompozit malzemeler

Tablo 1. Uçak Malzemelerinin Elektrik Direnç Değerlerinin Karşılaştırması

Temas Eden Malzeme Yüzeyleri	Maksimum Direnç Değeri (Ohms)
Alüminyum	0.0005
Çelik	0.0007
Titanyum	0.001
Kompozit	1



Şekil 3. Birbiriyle Temas Halindeki Yüzeylerde Direnç Ölçüm Gösterimi

alüminyum'a göre 2000 kat, çeliğe göre 1400 kat titanyuma göre 1000 kat daha fazla direnç göstermektedir.

Kompozit Yüzeylerde Elektrik İletkenliğinin Sağlanması

Kompozit yüzeylerin elektrik iletkenliğinin alüminyuma göre çok düşük olduğu Tablo 1'de belirtilmişti. Bu değerlere göre Alüminyum gövdeli uçakların doğal bir iletken oldukları görülmektedir. Alüminyum gövdeli uçaklarda sadece topraklama yolunun tanımlanıp iletkenliğin sağlanması yeterli bir çözümdür.

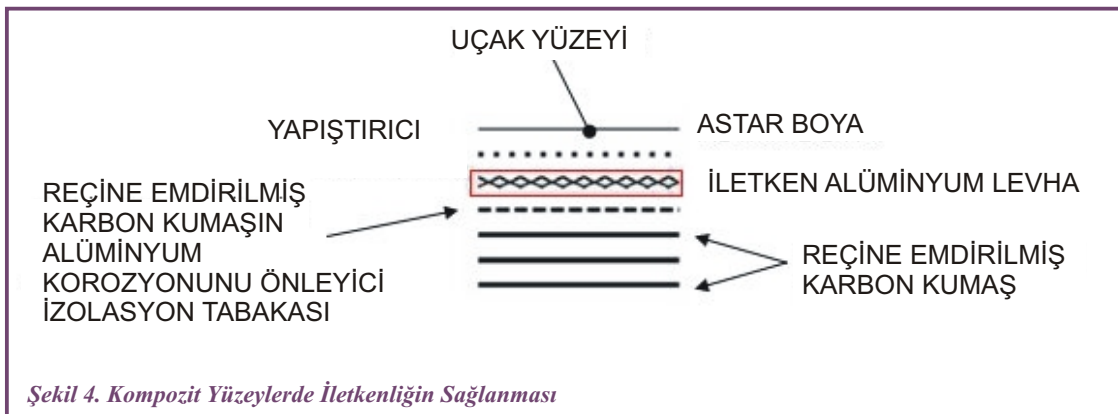
Kompozit gövdeyi iletken bir yapıya çevirmek için Şekil 4'te gösterildiği gibi astar boya öncesinde uçak yüzeyine aşağıdakilerden birinin uygulanması gerekmektedir:

- 1) iletken alüminyum folyo yapıştırmak;
- 2) alüminyum ya da bakır tel örgü (mesh) yerleştirmek;
- 3) kompozit yüzeyi anti-statik iletken bir malzeme ile kaplamak.

Kompozit parçaların iletkenliğini sağlayacak kaplamalar yıldırım çarpması sonucu oluşan akımın iletilmesini sağlayanlar (1 ve 2 nolu maddeler) ve statik elektrik akışını sağlayanlar (3 nolu madde) olmak üzere iki grup halinde incelenebilir. İki grup arasındaki temel fark elektrik akışına gösterdikleri direnç farkından kaynaklanmaktadır.

Yıldırım Çarpması Sonucu Oluşan Akımın İletilmesini Sağlayan Kaplamalar

Yıldırım çarpması sonucu oluşan yaklaşık 200 000 amperlik akımın iletilmesini sağlayan kaplamalardır. Alcore firması tarafından, 1145 alüminyum alaşımından (ASTM B373) üretilen "Strikegrid-iletken alüminyum folyo" bu kaplamaların bir örneğidir (Tablo 2). Bu malzeme, yıldırım çarpması sonucu oluşacak mikro çatlakları da önlemektedir.



Şekil 4. Kompozit Yüzeylerde İletkenliğin Sağlanması

Tablo 2'de görüldüğü gibi 0.1 mm kalınlığındaki iletken alüminyum folyonun göstermesi gereken en fazla direnç değeri 0.15 ohm'dur. Tablo 3'de ise cıvata- iletken yüzey ve iletken yüzey-cıvata yüzeyinde ölçülmesi gereken en yüksek direnç değerinin, malzemenin direnç değerinin hemen hemen 3 katı (0.5 ohms) olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Alcore Firması Tarafından Üretilen İletken Alüminyum Folyo Malzemesi

İletken Yüzey Kaplaması	Maksimum Direnç Değeri (Ohms)
İletken alüminyum folyo (Kalınlık 0.1mm)	0.15

Tablo 3. Cıvata-Somun-iletken Yüzey Kaplaması ve Yüzey-yüzey Arasındaki En Yüksek Direnç Değeri

TEMAS BİÇİMİ	EN ÇOK DİRENÇ (OHMS)
Cıvata-Yüzey İletkenlik Direnci	0.5
Uçak Yüzeyi- Kapak İletkenlik Direnci	

Anti Statik-İletken Kaplamalar

Anti statik-iletken kaplamalar, yüzeyde yıldırım çarpması sonucu oluşan akımın iletildiği yol üzerine uygulanmayan; ancak sürtünme etkisinden ya da elektronik cihazlardan kaynaklanan statik elektriği topraklama yoluyla azaltmak ya da ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan; iletkenliği düşük malzemelerdir. PRC-Desoto firması tarafından üretilen malzeme bu kaplamalara örnek olarak gösterilebilir (Tablo 4).

Tablo 4'te görüldüğü gibi uçağın ikincil yapılarına uygulanan anti statik kaplama 0.1-100 000 ohm arasında değişen değerlerde direnç oluşturur. Bu kaplama uygulandığında, iletken yüzey-cıvata ve iletken yüzey-uçak gövdesi arasında müsaade edilen maksimum direnç değeri ise 300 000 ohm'dur (malzemenin maksimum direnç değerinin 3 katı) (Tablo 5). Kaplama kalınlığı 15-25 µm'dir.

Tablo 4. PRC-Desoto İletken Yüzey Kaplaması

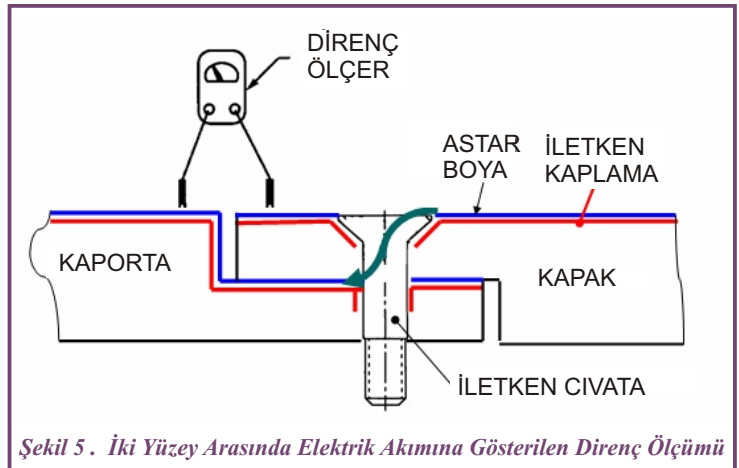
İletken Kaplama Direnç Aralığı	Kullanım Yerleri
528X310 (BMS 10-21 SINIF III) 0.1-100 000 ohms	Statik elektriğin havaya verilerek topraklanmasını sağlar. Uçağın yük taşıyan parçaları haricinde, uçuş güvenliğini daha az etkileyen parçalara (ikincil yapılar) uygulanır. Bu parçalarda oluşan statik elektrik ana yapı üzerinden topraklanır

Şekil 5'te iletken bir parçadan diğer iletken parçaya; Şekil 6'da ise cıvata-dan iletken yüzeye elektrik akımına gösterilen direnç ölçüm şekli gösterilmektedir.

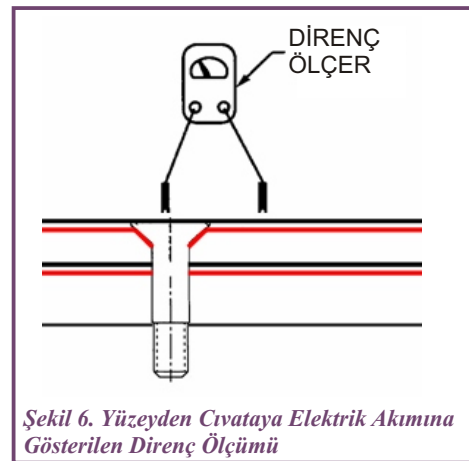
Tablo 3 ve Tablo 5'teki direnç değerleri (0.5 ohm / 300 000 ohm) karşılaştırıldığında iki tür malzeme arasındaki fark görülebilir.

Tablo 5. Cıvata-Somun-İletken Yüzey Kaplaması ve Yüzey-Yüzey Arasındaki En Yüksek Direnç Değerleri

Temas Biçimi	Müsaade Edilen En Yüksek Direnç Değeri (Ohms)
Cıvata-Yüzey İletkenlik Direnci	300 000
Uçak Yüzeyi- Kapak İletkenlik Direnci	



Şekil 5 . İki Yüzey Arasında Elektrik Akımına Gösterilen Direnç Ölçümü



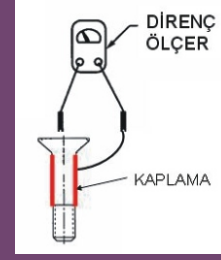
Şekil 6. Yüzeyden Cıvataya Elektrik Akımına Gösterilen Direnç Ölçümü

Cıvata-Somun Yüzey Kaplamaları ve Elektrik İletkenlik Değerleri

Uçak tasarımında cıvata ve somun malzemesi olarak titanyum veya paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Ağırlığın birinci derecede öncelikli olduğu durumlarda titanyum bağlayıcılar tercih edilir. Titanyum'un paslanmaz çeliğe göre en

Tablo 6. Cıvata ve Somuna Uygulanan Yüzey Kaplamaları/korularının Elektrik İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırması

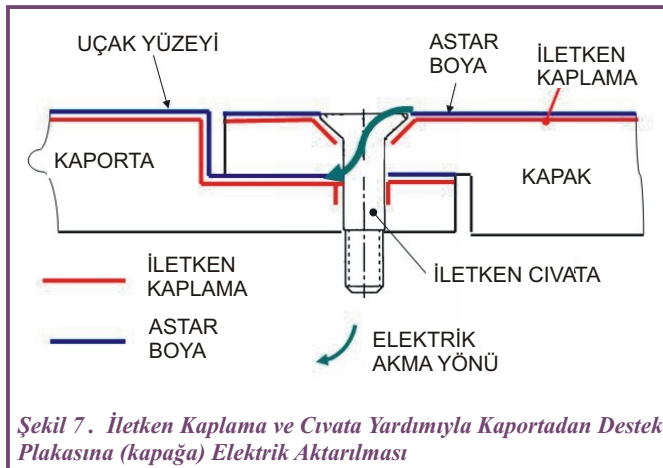
Yüzey İşlem	Elektrik Direnci (ohms)
Alüminyum Pigmentli Kaplama	Yüksek
Kadmiyum(Cd) Kaplama	0.00002
Krom(Cr) Kaplama	0.0001
Gümüş(Ag) kaplama	0.000004



önemli dezavantajı Tablo 1'de gösterildiği gibi elektrik akışına gösterdiği direncin paslanmaz çeliğe göre daha fazla olmasıdır. Bununla birlikte, titanyumun galvanik korozyon ile malzemeyi aşındırma özelliği paslanmaz çeliğe göre daha yüksektir. Sonuç olarak, elektrik iletkenliği ve galvanik korozyon etkisi açısından kaplamasız paslanmaz çelik kullanmak daha avantajlı görünmektedir. Korozyonu önlemek amacıyla kaplama uygulanması durumunda Tablo 6'da verilen direnç değerlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

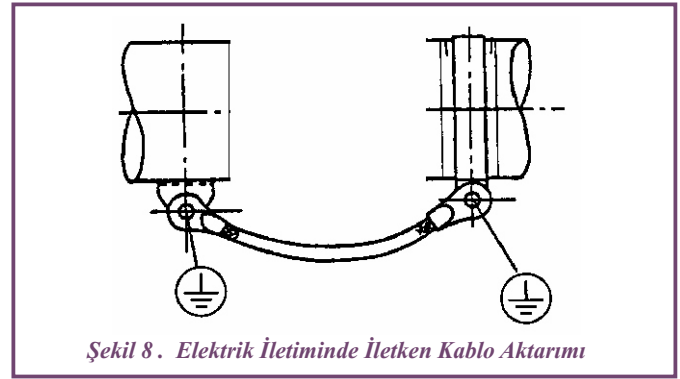
Kompozit Yapılarda Yıldırım Düşmesi Sonucu Oluşan Akım veya Statik Elektrik Nasıl İletilir ?

1) Uçak yüzeyinde, yıldırım düşmesi sonrası oluşan akımın izlediği yol şekil 1'de gösterildiği gibi, uçak burnundan giren akımın sağ ve sol kanat ve dik stabilize uçlarından atmosfere verilmesi şeklindedir. Statik elektrik uçak yüzeyinin her noktasında oluşabileceği için bu akımın uçağın elektrik topraklama noktalarına iletilmesi gereklidir. Şekil 7'de uçak yüzeyinde bulunan kapaktan uçak kaportasına aktarım gösterilmektedir. Statik elektrik iletken kaplama üzerinden cıvataya aktarılmakta, kaportanın (skin) iletken yüzeyinden topraklama noktalarına iletilmektedir.



Şekil 7. İletken Kaplama ve Cıvata Yardımıyla Kaportadan Destek Plakasına (kapağa) Elektrik Aktarılması

2) İletken bağlantının sağlanamadığı durumlarda Şekil 8'de gösterildiği gibi iletken kablo kullanarak elektrik akışkanlığı sağlanmaktadır.



SONUÇ

Sonuç olarak alüminyum gövdeli uçaklarda elektrik iletkenliği, alüminyumun iletkenlik özelliği sayesinde kendi içinde bir çözüm sunarken, kompozit yapılara iletkenlik özelliği kazandırmak için yüzeyin kimyasal (anti-statik kaplama) veya metalik (alüminyum veya bakır folyo, telörgü) malzemelerle kaplanması gerekmektedir. Yıldırım çarpmasına karşı uygulanacak iletken kaplamanın korozyona karşı direnç sağlamak için izolasyon tabakası ve yapıştırma gereksiniminin olması uçağın ağırlığı yanında elektrik iletkenliği için de bir takım zorlukları beraberinde getirmektedir.

KAYNAKÇA

1. <http://www.compositesworld.com/hpc/issues/2006/July/1366/1>
2. http://seattletimes.nwsourc.com/html/business/2002844619_boeing05.html
3. www.alcore.com
4. www.desoto.com
5. ASTM B373 Standard Specification for Aluminum Foil for Capacitors
6. ASTM B193 Standard Test Methods For Resistivity Of Conductor Materials