

AVİYONİK GÜÇ DAĞITIM SİSTEMLERİ ve İRTİFANIN HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN İLETİM HATLARI ÜZERİNDEKİ AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİ

Haydar Yusuf ERDOĞAN¹ ve Sefa OCAKLI²
Savronik Elektronik A.Ş. Organize Sanayi
Bölgesi 20. Cadde, No:19 Eskişehir

Serkan ERDEM³ ve Ahmet Engin YILMAZ⁴
Savronik Elektronik A.Ş. Organize Sanayi
Bölgesi 20. Cadde, No:19 Eskişehir

ÖZET

Hava araçları teknolojisindeki gelişmeler uçak ve helikopterleri daha karmaşık yapıya dönüştürmüş, teknolojik gelişmelerin yanında hava araçları için birçok görev tanımlamaları ve söz konusu görevlere özel çeşitli tasarımlar ortaya çıkmıştır. Tüm bu gelişmeler hava araçlarında daha çok elektrik enerjisi kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır (MEA: More Electric Aircraft). Askeri uçakların tanımlı görevlerini icra edebilmesi için farklı irtifada uçuş senaryoları mevcuttur. Sivil uçaklar ise daha çok uçuş emniyeti, hava şartları ve yakıt tasarrufu için farklı irtifalarda uçuş gerçekleştirmektedirler. Yüksek irtifada uçmanın olumsuz taraflarından biri, yükseldikçe havadaki oksijen miktarının azalması ve buna bağlı olarak ekipmanların ısınma/soğuma eğrisindeki değişimlerdir. Ortamdaki oksijen miktarının değişkenliği hava aracında kullanılan ekipmanların ısınma/soğuma eğrisini etkilemektedir. Güç dağıtım sistemleri, sistem içerisindeki iletim hatları ve hava aracı boyunca kullanılan elektrik iletim hatlarında irtifaya bağlı olarak akım taşıma kapasitelerinde değer kaybı oluşmakta ve nominal akım kapasitelerinde azalma meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak yüksek irtifada akım kapasitesi belirlenirken Azaltıcı (Derating “K”) faktör dikkate alınmalıdır. Azaltıcı faktör hava araçlarında kablo demetleri için geçerli olup bara yapılarında ihmal edilebilir seviyededir.

GİRİŞ

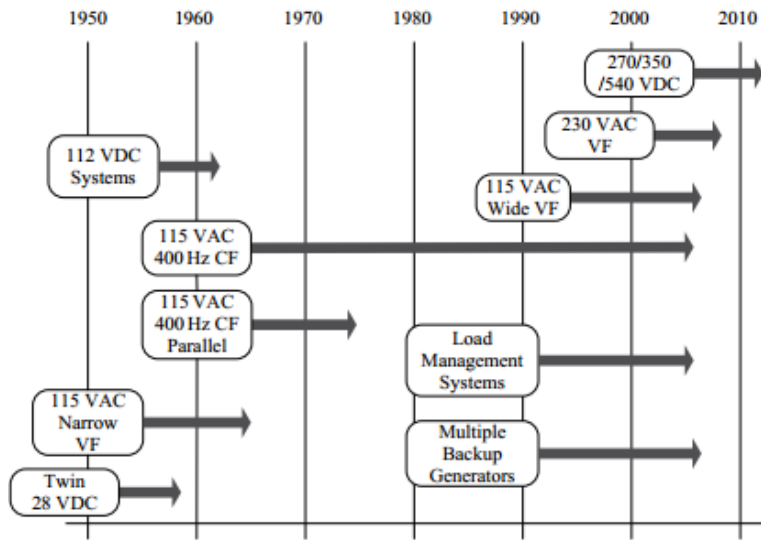
Havacılık kurallarının kanla yazıldığıнын söylenile gelmesinin pek çok nedeni vardır. Bu yüzden hava araçları tasarımları yapılırken dikkat edilmesi gereken parametreler oldukça fazladır. Bu parametrelerden en önemlilerinden biri irtifadır. Tasarlanan hava araçları, sektörde kullanılan tüm ekipmanlar değişik irtifalarda farklı tepkiler vermeye yatkındırlar. Son yıllarda, uçak performansının optimizasyonu, güvenilirliğinin artırılması ve başlangıç ile idame maliyetinin azaltılması amacıyla, hidrolik, mekanik ve pnömatik güç sistemlerinin yerini elektrik gücünün alması eğilimine girilmiştir. [KOÇ, 2013] Aviyonik elektrik sistemlerindeki kronolojik gelişim Şekil 1’de verilmiştir.

¹ Sistem Mühendisi / Savunma Sistem Programları, E-posta: hyusuf.erdogan@savronik.com.tr

² Proje Yöneticisi / Savunma Sistem Programları, E-posta: sefa.ocakli@savronik.com.tr

³ Tasarım Mühendisi / Birim Ürün Geliştirme, E-posta: serkan.erdem@savronik.com.tr

⁴ Yönetici / Birim Ürün Geliştirme, E-posta: aengin.yilmaz@savronik.com.tr



Şekil 1 Aviyonik Elektrik Güç Sistem Kronolojisi [Moir, Seabridge, 2008]

Elektrik, hidrolik, mekanik ve pnömatik güç kaynaklarının karşılaştırılması Tablo 1 ile verilmektedir[KOÇ, 2013].

Tablo 1 Uçak Güç Sistemlerinin Karşılaştırılması.[KOÇ, 2013]

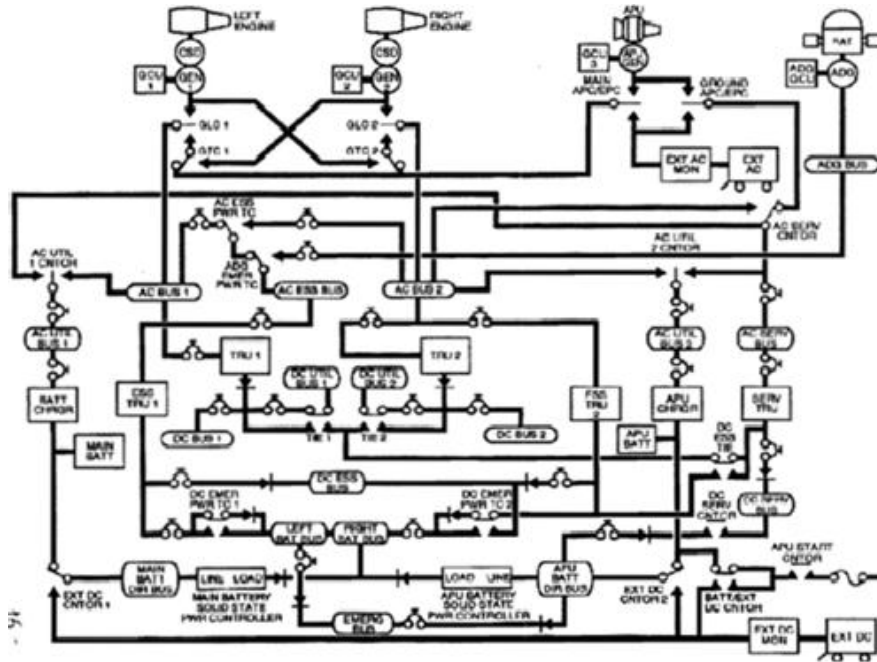
Sistem	Komplekslik	Bakım	Teknolojik Olgunluk
Elektrik	Kompleks	Basit	Sistem (olgun) Yeni teknolojiler (olgun değil)
Hidrolik	Basit	Kompleks ve Tehlikeli	Olgun
Mekanik	Fazla kompleks	Sıklıkla ve zaman alıcı	Çok olgun
Pnömatik	Basit	Kompleks	Çok olgun

Gelişen teknoloji ile birlikte tasarımı ispatlanmış birçok hava aracı sistem tasarımında çeşitli değer ve frekanslarda AC ve DC elektrik sistemini kullanmaktadır. DC elektrik sistemi kullanılmasının en büyük avantajı depolanabilir olmasıdır. Bu yüzden havacılık tarihinde ilk uçak tasarımlarında DC elektrik enerjisi tercih edilmiştir.

Havacılık sektöründeki gelişmeler ve hava araçlarının artan ihtiyaçları, tasarımları karmaşıktır. Bunun sonucunda DC sistem ortaya yeni çıkan aviyonik sistemler için yetersiz kalmıştır. Tüm bu gelişmeler sonucunda AC sistemlerin hava araçlarında DC sistemler ile birlikte kullanılması söz konusu olmuştur. Hava araçlarında elektrik güç sistemi, hava aracı özelinde ve uygulamaya göre farklılıklara sahipken haberleşme, seyrüsefer, gösterge/uyarı/kontrol gibi aviyonik sistemler ile uçuş kontrol, itki, yakıt, hidrolik, ışıklandırma, pnömatik, çevresel kontrol, yangın, oksijen gibi uçak sistemlerine çalışmaları için gereken elektrik gücü sağlamaktadır. Tüm bu zaruri ekipmanların kullanılması hava araçlarında daha çok elektrik enerjisi ihtiyacı doğurmaktadır. Hava araçlarında kullanılan çeşitli voltaj standartları şu şekildedir;

- 115VAC/400Hz
- 28VAC/400Hz
- 26VAC/400Hz
- 5VAC/400Hz
- 270 VDC
- 28 VDC

Şekil 2 ile örnek bir hava aracı ATA 24 Elektrik güç üretim ve dağıtım sistem mimarisi verilmektedir[KOÇ, 2013].



Şekil 2 Uçak Elektrik Güç Üretim ve Dağıtım Sistemi Mimari Örneği [KOÇ, 2013]

Hava araçlarında elektrik güç üretim sistemi birincil ve ikincil olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Birincil Elektrik Güç Dağıtımı:

Birincil güç kaynakları, mekanik enerjiden elektrik enerjisi üreten kaynaklardır. Birincil elektrik güç dağıtım sistemi ise mekanik enerjiden üretilen elektrik enerjisini, hava aracının tüm operasyon modlarında, farklı görevleri olan baralara dağıtımını sağlayarak sistem güvenliği ve mimarinin tüm çalışma koşullarında uygun olması için mantık elemanlarını içerir. Güç dağıtım birimleri içerisinde bulunan sistem mimarisiyle de ilgili operasyon modlarında ilgili baralara gerekli enerji dağıtımı bu birimle yapılmaktadır.

İkincil Elektrik Güç Dağıtımı:

İkincil güç dağıtım sistemleri, birincil güç dağıtım sistemi tarafından baralara aktarılan elektrik gücünün, kullanıcı olan aviyonik sistemlere iletimindeki koruma devrelerini içerirler. İletim hatlarında meydana gelebilecek aşırı yük çekme veya kısa devre durumlarından koruyan askeri standartlara uygun (MS3320 Serisi Devre Kesiciler) termal tip devre kesiciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ek olarak hava araçlarında ağırlık kazanımı nedeniyle birçok uçakta ikincil güç dağıtım sistemi için yarı iletken teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır. (SSPC: Solid State Power Controller).

Hava araçlarında güç üretim ve dağıtım operasyonları kaynakların ve dağıtım elemanlarının kapasitelerinin tüm olası koşullarda ve sürelerde yeterlilikleri, elektrik yük analizi çalışmaları ile değerlendirilmektedir. Bunun için elektrik güç ihtiyacı olan ekipmanların en fazla, nominal, anlık güç ihtiyaçları, güç üretim elemanları kayıpları da dahil olmak üzere bazı elemanların arızalanmaları senaryoları ve uçağın görev profili de göz önünde bulundurularak, tüm olası çalışma koşullarında hesaplanmakta ve bulunan değerlerin güç kaynaklarının belirlenen senaryolarda sağlayabilecekleri kapasiteler ile uyumlulukları incelenmektedir. Uçak elektrik sistemleri güç üretim ve dağıtım sistemleri olarak iki alt sistemde, gelişen ve elektrik gücüne bağımlılığı artacak şekilde tasarlanma eğilimindeki sistemlerin ihtiyacını karşılayacak uygun kalite ve kapasitede, emniyetli uçuş ve iniş için yeterli güvenilirliği sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. [KOÇ, 2013]. Buna bağlı olarak hava araçlarındaki güç dağıtım birimleri içerisinde dağıtım elemanları olarak bara kullanımı havacılık sektöründe oldukça yaygındır. Kullanılan baralar gerekli akım taşıma kapasitesine bağlı olarak tasarlanmaktadır. Baraların akım taşıma kapasitesini belirleyen formül aşağıda verilmektedir [IEC 62271-1, 2017].

$$I = K \times \frac{24.9 \times (\theta - \theta_n)^{0.61} \times S^{0.5} \times P^{0.39}}{\sqrt{p20 \times [1 + \alpha(\theta - 20)]}} \quad (1)$$

I= faz başına maksimum izin verilen akım (A)

K= toplam katsayı faktörü

θ = izin verilen maksimum bara sıcaklığı (°C)

θ_n = nominal ortam sıcaklığı ($\leq 40^\circ\text{C}$)

$p20$ = 20 °C'deki öz direnç:

Bakır= 1.83 $\mu\Omega$ cm; Alüminyum 2.90 $\mu\Omega$ cm

α = sıcaklık direnci katsayısı = 0.004

P = bara çevresi, 2(e+a) (cm)

S = bara kesiti, e x a (cm²)

Hava trafik kontrol kulesi genellikle 39.000 feet'e kadar seyir yüksekliğine müsaade etmektedir, ancak uzun uçuşlarda genellikle daha yüksek rakımlar bulunmaktadır. Aşağıda bazı uçakların uçuş yükseklikleri verilmektedir.

- En yüksek ticari uçak seviyesi, Concorde tarafından 60.000 feet.
- En yüksek askeri hava girişli motorlu uçak SR-71 yaklaşık 85.000 feet.
- Boeing 737 Yolcu Uçağı 37.000-41.000 feet. [Chris, 2017]

Hava araçlarında kullanılan ekipmanların ısınma/soğuma eğrileri bulundukları ortamdaki oksijen miktarından doğrudan etkilenmektedir. Uçaklar kullanım amaçlarına göre farklı yüksekliklerde uçmaktadırlar. Uçakların seyir yükseklikleri arttıkça ortamda bulunan oksijen miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak ekipmanların ve güç dağıtım birimi içerisinde elektrik iletimi için kullanılan bara ve kabloların ısınma/soğuma eğrisi etkilenmektedir. Üzerinden akım geçen her iletken zamanla ısınır ve sıcaklık artışı iletim hatlarında akım taşıma kapasitelerinde azalma olmasına neden olur. Güç dağıtım sistemleri ve hava aracı boyunca kullanılan elektrik iletim hatlarında irtifaya bağlı olarak akım taşıma kapasitelerinde değer kaybı oluşur ve nominal akım kapasitelerinde azalma meydana gelir. Buna bağlı olarak yüksek irtifada akım kapasitesi belirlenirken azaltıcı faktörü dikkate alınmalıdır.

YÖNTEM

Akım taşıma kapasite kriterleri: Yüksek irtifada görev yapan hava araçlarında kullanılan elektrik iletim hatlarında irtifanın direk ve dolaylı olarak birçok etkisi mevcuttur. Bakır Geliştirme Birliğinin yayınladığı busbar sistemlerde kullanılan bakırlar için tasarım ve tesisat kılavuzunda ele alınan bazı kriterler aşağıda verilmiştir [Chapman, Norris, 2014].

Sıcaklığın iletkenlik üzerindeki etkisi: İletkenlik sıcaklık ile değişir, bu nedenle gerçek çalışma sıcaklığı için doğru değerin kullanılması önemlidir. Ortalama kinetik enerjinin bir ölçüsü olan sıcaklık arttıkça, atomların titreşim hareketinin genliği de artar. Böylece akımı taşıyan elektronların iletken malzemedeki atomlarla çarpışma sıklığı ve bu çarpışmalar sonucunda ısıya dönüşen enerji miktarı artar. Sonuç olarak sıcaklık arttıkça malzemelerin direnci artar. Bir bara için geçerli sıcaklık derecesi, çalışma sıcaklığının seçimine bağlıdır. Bakır bara üzerindeki dirençten akan yük akımı ile tüketilen ısı nedeniyle ısınır ve ısıma ile çevresi ve konveksiyon yüzeyleri soğutulur. [Chapman, Norris, 2014]

Isı kaybı yöntemleri: Bir barada üretilen ısı ancak aşağıdaki yollarla dağılabilir.

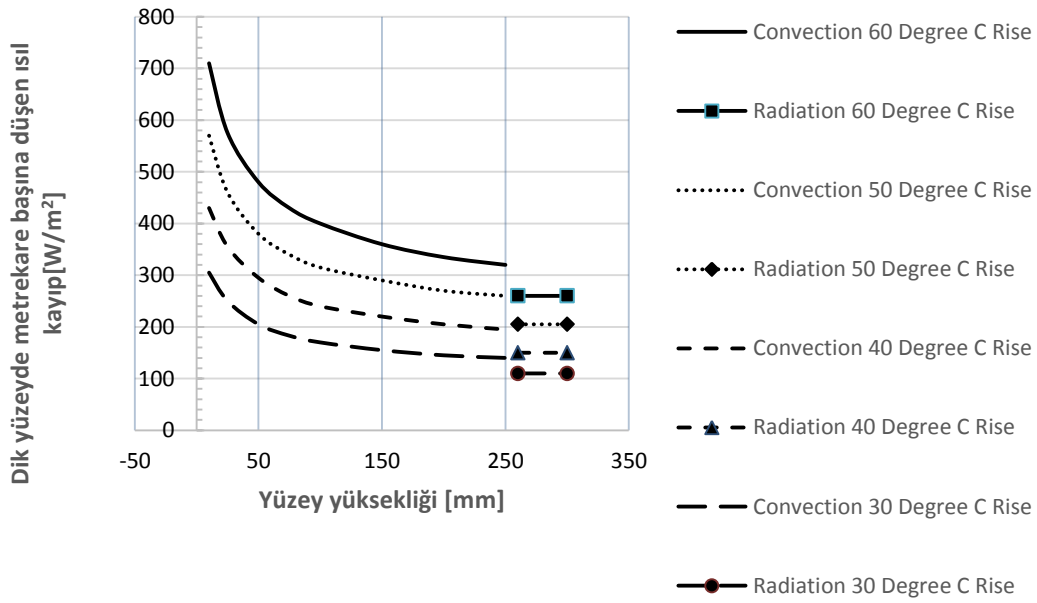
- Konveksiyon - Doğal Hava Soğutma

Konveksiyon yoluyla birim alan başına atılan ısı, iletkenin şekline ve boyutuna ve ortam sıcaklığının üzerindeki sıcaklık artışına bağlıdır. Bu değer genellikle hareketsiz hava koşulları için hesaplanır, ancak bir soğutma sistemi ile zorlanırsa büyük oranda artırılabilir. [Chapman, Norris, 2014]

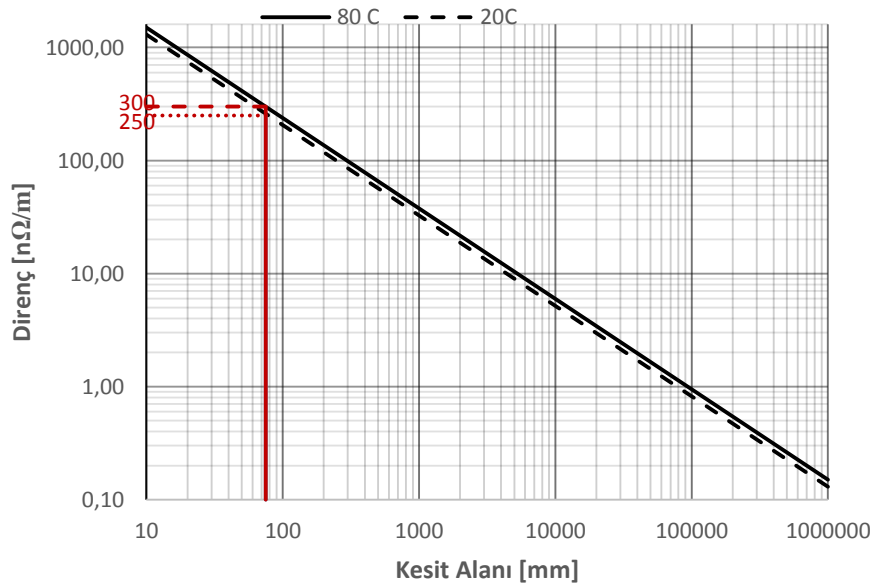
- Radyasyon

Emissivite (Işıma gücü), bir maddenin mükemmel bir radyatör (siyah bir gövde) ile birlik değerine ve mükemmel bir şekilde yansıyan bir yüzeye sıfır değerine sahip olan bir malzemenin ısıyı ne kadar iyi yaydığını tanımlar. Işınım miktarı bakırın ve çevrenin sıcaklığına bağlı olduğundan, kapalı alanlardaki bakırlar radyasyonla çok az ısı kaybedebilir. [Chapman, Norris, 2014]

Çoğu durumda, konveksiyon ve radyasyon ısı kayıpları, bir bara sisteminin akım taşıma kapasitesini belirler. Basit bir barada, iletkenlik hiçbir rol oynamaz, üniform sıcaklıktaki bakır bir çubuk boyunca ısı akışı olmaz. İletim, bilinen bir ısı miktarının baraya bağlı sistemin dışında bir ısı emicisine akabileceği veya sistemin komşu bölümlerinin soğutma kapasitelerinin farklı olduğu durumlarda dikkate alınması gerekir. [Chapman, Norris, 2014] Şekil 3'de çeşitli sıcaklıklarda ısı kayıpları grafiği verilmiştir. Ek olarak farklı sıcaklıklarda bakırın direncindeki değişim Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3 Çeşitli sıcaklıklarda konveksiyon ve radyasyon ısı kayıpları grafiği [Chapman, Norris, 2014]



Şekil 4 20 ° C ve 80 ° C'de tipik HC bakırın direnci[Chapman, Norris, 2014]

Yukarıda belirtildiği gibi, bakırın DC Direncindeki fark, 75 mm²'lik bir alan için yaklaşık 50 nΩ / m'dir.

Yük altındaki iletken: Maksimum bara akım taşıma kapasitesi derecelendirmesi doğrudan ölçeklendirilemez, ancak fark çok büyük olmadığı, hesaplama ve başlangıç noktasını tahmin etmek için ölçeklendirme kullanılabilir. Buna bağlı olarak baraların farklı boyutlarda taşıyabilecekleri akım kapasiteleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Baraların farklı boyutlarda maksimum akım kapasiteleri[Chapman, Norris, 2014]

Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)	Maks. Akım (A)
25	6.3	158	1.403	530
31.5	6.3	198	1.768	639
40	6.3	252	2.245	776
50	6.3	315	2.807	932
63	6.3	397	3.536	1127
80	6.3	504	4.491	1390
100	6.3	630	5.613	1662

Akım Kapasitesini Artırmak İçin Kaplama : Mat siyah yüzeyler açık renkli ve parlak yüzeylere kıyasla daha yüksek emissiviteye sahiptir. Havacılıkta kullanılan güç dağıtım birimleri içerisinde radyasyon ile soğutmayı iyileştirmek için baralara mat siyah boya uygulaması genel kullanım kuralıdır.

Hava araçlarında kullanılan kablolar dış etkenlerden korunması amacı ile bulundukları bölgeye göre bir araya getirilerek gruplar hâlinde strap adı verilen özel bağlarla birbirine bağlanır. Bu gruplara kablo demeti (harness/bundle) adı verilir. Harnesslar içerisinde çok farklı kalınlıklarda farklı adetlerde kablolar olabilir. 0 AWG tek bir kablo ile yapılan iletimler mevcutken 24 AWG 45 adet kablonun bir demet halinde iletimi sağlayan uygulamalarda mevcuttur. Tablo 3'de bakır kabloların akım taşıma kapasiteleri ve dirençleri verilmiştir.

Tablo 3 Bakır kabloların akım taşıma kapasiteleri ve dirençleri[FAA AC 43.13-1B]

Kablo Boyutu	Sürekli çalışma akımı (A)-Kablo demeti, Grup, Kablo ağı, veya kablo kanalı			Max. direnç ohms/1000ft@ 20°C kalay kaplı iletken	Nominal iletken kesit alanı-circ.mils
	Kablo İletken Sıcaklık Değerlendirme				
	105°C	150°C	200°C		
24	2.5	4	5	28.40	475
22	3	5	6	16.20	755
20	4	7	9	9.88	1,216
18	6	9	12	6.23	1,900
16	7	11	14	4.81	2,426
14	10	14	18	3.06	3,831
12	13	19	25	2.02	5,874
10	17	26	32	1.26	9,354
8	38	57	71	0.70	16,983
6	50	76	97	0.44	26,818
4	68	103	133	0.28	42,615
2	95	141	179	0.18	66,500
1	113	166	210	0.15	81,700
0	128	192	243	0.12	104,500
00	147	222	285	0.09	133,00
000	172	262	335	0.07	166,500
0000	204	310	395	0.06	210,900

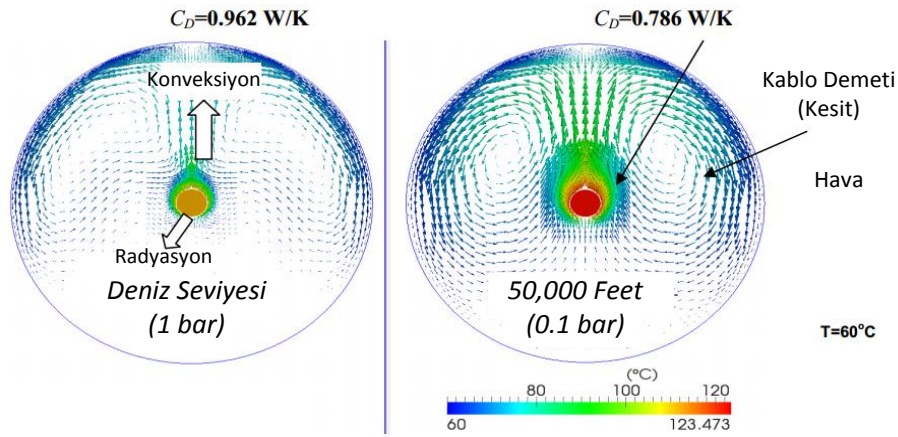
AS50881F ve MIL-W-5088 havacılık araçlarında kullanılan kablolama, kablolama cihazlarının kullanılması ve sonlandırma cihazlarının kurulumundan, elektrik kablolarının sistemde nasıl kullanılması gerektiği ile ilgili tüm ayrıntıları kapsar.

UYGULAMALAR

İrtifaya bağlı olarak değişen sıcaklık değerinin iletim hatlarında akım kapasitesine etkisi: Bir hava aracı içerisinde bulunan demet kablolar bir izolasyon malzemesi ile çevrelendiği için, üretilen ısıнын büyük kısmı doğal konveksiyon, hava iletimi ve ısı yayılımı nedeniyle radyal yönde taşınır. Havalandırma vasıtasıyla soğutma çok sınırlıdır. Demet içerisinde bulunan her kablo üzerinden akım geçtiği için ısınması artar ve yüksek irtifada soğutma sınırlıdır. Isınan her bir kablo radyasyonel olarak demet içerisindeki diğer kabloları da ısıtmaya başlar ve normalde üzerinden ΔI akım geçtiğinde $\Delta ^\circ\text{C}$ sıcaklığa ulaşacaksa demet içerisindeki tüm kabloların birbirini ısıtmasıyla üzerinden ΔI akım geçmesine rağmen $\Delta ^\circ\text{C}$ 'den daha fazla sıcaklığa gelir bu durumda kabloların ısınmasına bağlı olarak dirençlerindeki artış taşıyacağı akım kapasitesini düşürür. Deniz seviyesi ve yüksek irtifada iletim hattında ki sıcaklık karşılaştırılması Şekil 5'de verilmiştir.

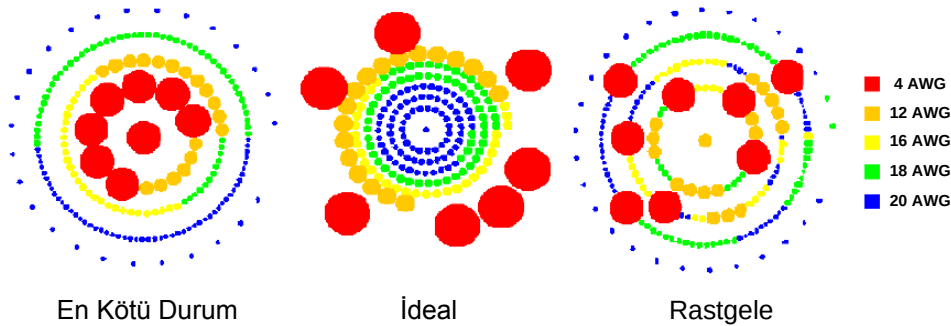
Hava araçlarında kullanılan kablo demetleri için ısı dengesi aşağıdaki gibi örneklenebilir:

$$Q \text{ (ısı yayılımı)} = Q \text{ (Doğal konveksiyon)} + Q \text{ (ışınma yoluyla)} = Q \text{ (Emilen ısı)} + Q \text{ (Havalandırma yoluyla)} + Q \text{ (eksensel iletim)} \text{ [NLR-TP-2011-469, 2011]}$$



Şekil 5 Deniz seviyesi ve 50000 Feet'te ısı değerleri [NLR-TP-2011-469, 2011]

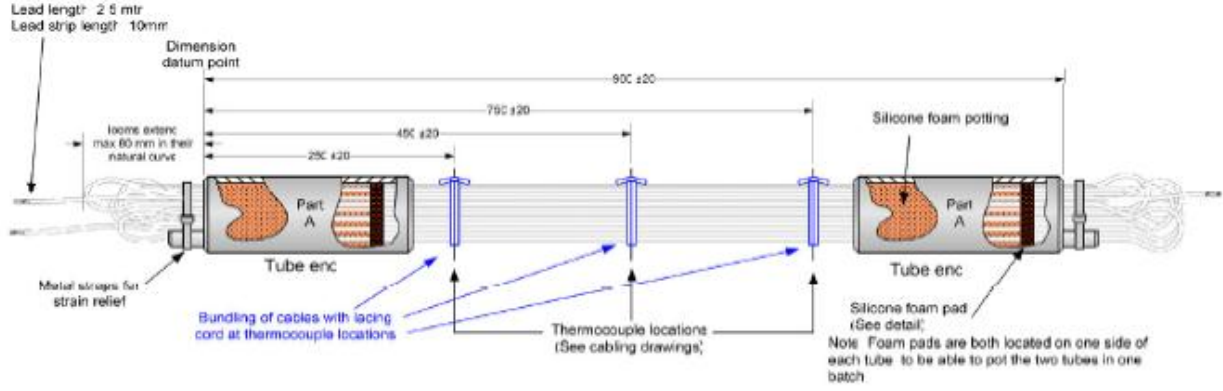
Yüksek irtifa veya düşük basınç koşullarında yapılan analizlerde, eksensel iletim veya havalandırma ile soğutma genellikle ihmal edilir. Doğal taşınmanın katkısı önemli derecede azalır, bir kablo demetin soğutulması için ısı yayılımı ve hava iletimi önemlidir. Konu ile ilgili yapılan test sonucu aşağıda verilmiş olup kablo demetleri için akım taşıma kapasitesinin azaldığı açıkça görülmekte tek kablo kullanımı ve bara kullanımı için bariz bir etkisi tespit edilememektedir. Şekil 6'da kablo demetlerinin kullanımı ve kullanımına göre sıcaklık gösterimi verilmiştir



Şekil 6 Kablo demetlerinin olası kesitleri [NLR-TP-2011-469, 2011]

Test Değerlendirmesi [NLR-TP-2011-469, 2011]: Test değerlendirilmesinde kullanılan gerçekleştirme yöntemi Şekil 7'de verilmiştir.

- A Serisi kullanılan standart tasarım (Kablo demeti çapı 17mm)
- B Serisi kullanılan inceltirilmiş tasarım (Kablo demeti çapı 15mm)



Şekil 7 Test Düzeneği

A ve B serisi örnekler için Şekil 6'de verilen 3 adet demet hazırlanmıştır.

1. En kötü durum (içinde güç kabloları, veri kabloları dışarıda)
2. İdeal kullanım (içerde veri kabloları, dışarda güç kabloları)
3. Rastgele kullanım (imalat uygulaması)

Buna ek olarak Tablo 4'de test değerlendirilmesinde kullanılan kombinasyonların ayrıntıları mevcuttur.

Tablo 4 Test Değerlendirmesinde kullanılan kombinasyonlar

Test Örneği	Kablo Demeti Çapı (mm)	Kablo Demeti Durumları
A1	17	En Kötü Durum
A2	17	İdeal Durum
A3	17	Rastgele Kullanım
B1	15	En Kötü Durum
B2	15	İdeal Durum
B3	15	Rastgele Kullanım

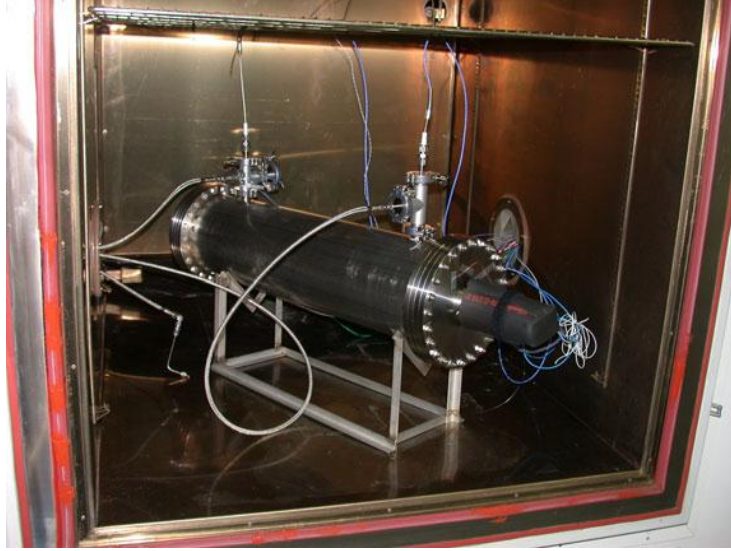
Yukarıdaki kombinasyonlar: A1, A2, A3, B1, B2 ve B3 olarak hazırlanmış ve her demet -50°C ila +60°C ve 0,1 Bar ila 1 Bar arasında değişen üç çevre koşulunda (sıcak, nominal ve soğuk) test edilmiştir. Basınç ve sıcaklık aralıkları havanın konveksiyon özelliklerini simüle etmesi için, deniz seviyesi ve 50.000 feet seçilmiştir. Test Tablo 5'de verilen koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5 Test Koşulları

Test Koşulu	Çevre Sıcaklığı(°C)	Hava Basıncı(Bar)
Sıcak	60	0.1
Normal	15	0.7
Soğuk	-50	1

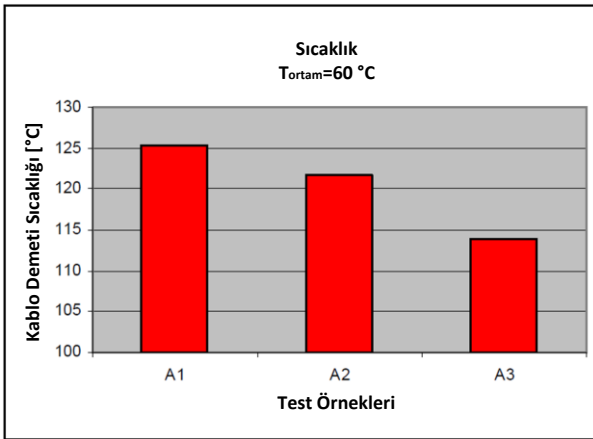
Test konfigürasyonları için aşağıdaki kurulum (Şekil 8) kullanılmıştır.

- Teste girecek kablo demetleri düşük basınç altında test yapılabilmesi için basınç kontrollü silindirik bir tüp içine yerleştirilmiştir.
- Basınç kontrollü tüp, sıcaklık kontrollü bir odaya yerleştirilmiştir.
- Basınç kontrollü tüp üzerine birkaç termokupl yerleştirilerek gerekli ölçümler alınmıştır.
- Ortalama kablo demeti sıcaklığı ölçülebilmesi için, kablo demetlerinin merkezine termokupl yerleştirilerek ölçüm alınmıştır.

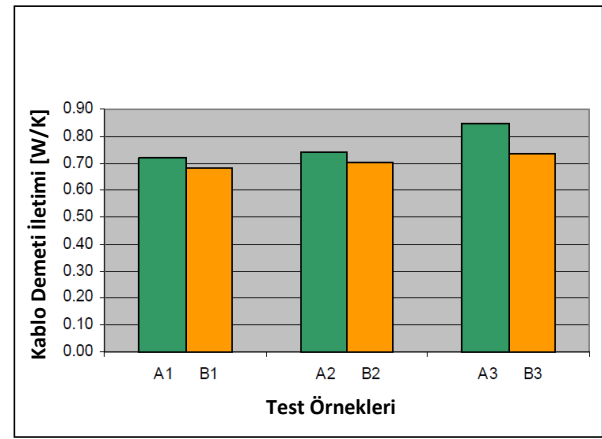


Şekil 8 İklimlendirme kabini içerisindeki Basınç Kontrollü tüp

Test Sonuçları: Şekil 9 ve Şekil 10'da test sonuçları kablo demetlerindeki ısı transfer katsayıları ve iletimleri verilmiştir. Yapılan testten de anlaşıldığı gibi kablo demetleri şeklinde kullanılan iletimlerde kablolar arası ısı alışverişi oldukça fazla olduğu için kabloların aynı sıcaklık, basınç ve yük altında demet çapı büyük olan daha fazla ısı alış veriş yaptığı için daha fazla ısınmakta ısınan kabloların direnci artmakta ve artan dirence bağlı olarak akım kapasitesinde düşüş meydana gelmektedir. Şekil 11'de hava aracı üzerinde kullanılan kablo demetinde bulunan kablo sayısına bağlı olarak akım azaltıcı faktör grafiği ve irtifaya bağlı olarak azaltıcı faktör grafiği Şekil 12'de gösterilmektedir. Bu yüzden havacılıkta kullanılan kablo demetleri için azaltıcı faktör dikkate alınmalıdır. İletim şekli olarak tek kablo kullanımı veya bara sistemlerinde kullanılması irtifaya bağlı olarak sıcaklığın akım taşıma kapasitesine etkisi göz ardı edilebilir. Ayrıca Tablo 7'de kablo kesitleri ve demet içerisindeki kablo sayısına bağlı olarak azaltıcı faktör(K) değışkeni verilmektedir.

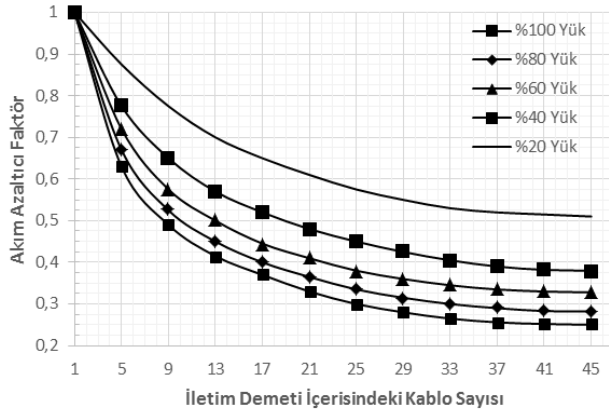


Şekil 9 Sıcak Test koşulundaki A Konfigürasyonu için ölçülen ortalama demet sıcaklığı [NLR-TP-2011-469, 2011]

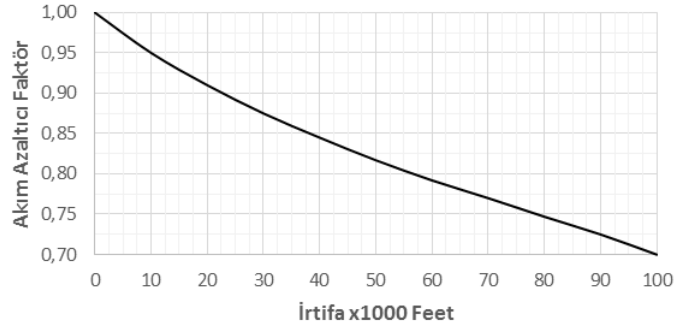


Şekil 10 Sıcak Test koşulundaki A ve B konfigürasyonları için ölçülen ısı transfer katsayısı [NLR-TP-2011-469, 2011]

Tablo 6 Kablo kesitleri ve Demet İçerisindeki kablo sayısına bağlı olarak derating faktör(K) [MIL-W-5088L, 1991]



Şekil 11 Demet içerisindeki kablo sayısına bağlı olarak Akım Derating faktör grafiği [FAA AC 43.13-1B]



Şekil 12 İrtifaya bağlı olarak Akım Derating Faktör grafiği [MIL-W-5088L, 1991]

Tablo 7 Kablo kesitleri ve Demet içerisindeki kablo sayısına bağlı olarak derating faktör(K) [MIL-W-5088L, 1991]

12- 32 AWG Arası		0- 10 AWG Arası	
Kablo Sayısı (N)	K	Kablo Sayısı (N)	K
$1 < N \leq 3$	$1,1 - (0,1 \times N)$	$1 < N \leq 3$	$1,1 - (0,1 \times N)$
$3 < N \leq 7$	$1,01 - (0,007 \times N)$	$3 < N \leq 7$	$1,01 - (0,007 \times N)$
$3 < N \leq 7$	$0,81 - [0,15 \times \ln(N)]$	$3 < N \leq 52$	$0,81 - [0,15 \times \ln(N)]$
$19 < N \leq 331$	$0,59 - [0,076 \times \ln(N)]$	$52 < N \leq 331$	$0,467 - [0,0632 \times \ln(N)]$

Not: $\ln$ Doğal Logaritma

SONUÇ

Hava araçlarının sivil ve askeri alanda kullanımları çeşitlilik göstermesine paralel olarak oldukça farklı tasarımlara sahiptirler. Genel maksatta tüm ihtiyaçları karşılayabilmek için gittikçe büyüyen hava araçları buna bağlı olarak daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Tüm bu ihtiyaçları karşılayabilmek için oldukça uzun iletim hatları ve yüksek akım kapasitesine sahip dağıtım birimleri tasarlanmaktadır. Birincil ve ikincil güç dağıtım birimleri içerisinde yüksek akım kapasitesine sahip baraların kullanımı oldukça yaygındır. Ne tür bir hava aracı tasarlanırsa tasarlansın o sistemden optimum düzeyde faydalanmak gerekmektedir buda hava araçlarında kullanılacak elektrik iletim hatlarının tasarımını kritik duruma getirmektedir.

Hava araçları üzerindeki hedeflerden biri de ağırlıktan kaçınmaktır. Bir hava aracından ne kadar az yük varsa, o kadar fazla performans elde edilebilir. Bu yüzden ATA 24 elektrik güç sistemi içerisinde ve güç dağıtım birimleri içerisindeki baraların tasarımında akım taşıma kapasiteleri ağırlık artışıyla daha kritik duruma gelmektedir. Baraların akım taşıma kapasiteleri belirlenirken tolerans değerlerini kritik seviyede belirlemekle birlikte oldukça fazla tolerans değeri kullanılamaz. Baraların akım kapasiteleri belirlenirken göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden biride irtifadır. İrtifaya bağlı olarak baraların düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta akım taşıma kapasitelerinde ciddi bir değişim söz konusu değildir.

Yapılan testten anlaşılacağı üzere demetlerinde kullanılan kablo sayısındaki artış konveksiyonel radyasyonel olarak yüksek irtifada birbirileri daha fazla ısıtmaktadır. Bu nedenle, yüksek irtifadaki demetler için azaltıcı faktör eğrisi mevcuttur. Tek telli veya bara sistemlerinde kullanım için herhangi bir azaltıcı faktör belirtilmemiştir.

Test ve tüm değerlendirmeler sonucunda, azaltıcı faktör kablo demetlerini açık şekilde etkilemekle birlikte bara ve tek kablo kullanımında ihmal edilebilir durumdadır. Kablo demetler için geçerli olmasının nedeni irtifaya bağlı olarak değişen hava yoğunluğunda sıcaklık derecesinde bir değişikliklerdir. Yüksekliğin artması nedeniyle ortam yoğunluğunun azalması, kabloların soğumasında azalma meydana gelmesi ve kablo demetlerinde, birbirine konveksiyonel ve radyasyonel ısı geçişi nedeniyle daha fazla ısıtılır. Kablo demetlerindeki bu ısınma/soğuyamama kablo direncinde bir artışa neden olmaktadır. Buna bağlı olarak, iletim hatlarının akım taşıma kapasitelerinde ciddi düşüşlere neden olur.

Buna ek olarak, Şekil 11’de belirtildiği gibi demetlerdeki kablo sayısındaki artış azaltıcı faktör ile ters ve doğrusal olmayan şekilde orantılıdır. Eğri’den Tüm değerlendirmeler sonucunda görülebileceği gibi, tek kablo ve bara kullanılmasında azaltıcı faktör ihmal edilebilir.

Kaynaklar

- Brady Chris, 2017 *The Boeing 737 Technical Guide* 06 Nov 2017
- Chapman, Norris *Copper for Busbars* Copper Development Association publication No 22
- KOÇ, Bengi. 2013 *Uçak Elektrik Güç Sistemleri Teknolojileri ve Eğilimleri*, Elektrik Mühendisleri Odası
- Moir Ian, Seabridge Allan, 2008 *Aircraft Systems* John Wiley & Sons, Ltd, 978-0-470-05996-8
- ECSS-Q-ST-30-11C Rev1 4 October 2011 *European Cooperation for Space Standardization*
- Federal Aviation Administration *FAA AC 43.13-1B Chapter 11 Aircraft Electrical Systems*
- IEC 62271-1:2017 2017-07-12 Edition 2.0 *International Standard*
- Military Specification Wiring, 10 May 1991 *Aerospace Vehicle MIL-W-5088L*
- NLR-TP-2011-469 October 2011 *National Aerospace Laboratory Thermal analysis of wiring for weight reduction and improved safety*