



T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA ARACI KABLO TAKIMLARI TASARIM DETAYLARI

MERT YENİLMEZ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Şule OCAK ARAZ

KIRIKKALE – 2023



T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA ARACI KABLO TAKIMLARI TASARIM DETAYLARI

MERT YENİLMEZ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Şule OCAK ARAZ

KIRIKKALE – 2023

MERT YENİLMEZ tarafından hazırlanan “HAVA ARACI KABLO TAKIMLARI TASARIM DETAYLARI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şule OCAK ARAZ

İmza:.....

Malzeme Mühendisliği A.B.D, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Fatih VARÇIN

İmza:.....

Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fahrettin HORASAN

İmza:.....

Bilgisayar Mühendisliği A.B.D, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 18/04/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mert YENİLMEZ

18.04.2023

ÖZET

Hava Aracı Kablo Takımları Tasarım Detayları

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üy. Şule OCAK ARAZ

Mayıs 2023, 87 sayfa

Elektrik ve elektronik sistemlerin sinir sistemi olarak nitelendirebileceğimiz kablolar hayatımızın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle kabloların azaldığı düşünülse de sistem fonksiyonları insanların beklentisiyle artmış ve gün geçtikçe kablolar daha da karmaşık hal almaya başlamıştır. Bu durum, içinde binlerce alt sistemi barındıran havacılık platformlarında da fazlasıyla görülmekte ve geniş gövde sivil uçaklarda yaklaşık toplam kablo boyu 500 km'ye kadar ulaşabilmektedir. Regülasyon otoriteleri tüm bu kablo bağlantılarını bir sistem olarak EWIS adı altında tanımlamıştır. Öyle ki EWIS maliyeti ve ağırlığı en fazla olan sistemler arasında sayılır. Bu tez çalışmasında ulaşım kategori hava araçlarında bir kablo takımının tasarım detayları, testleri, kablolama terminolojisi, havacılık cihaz ve parça sertifikasyonu anlatılmıştır. Ulaşım kategori uçaklar için koltuk arkası eğlence sistemlerinde kullanılmak üzere Kabin Kontrol Panel'i beslemesini sağlayacak ve 1000 Mbps ethernet veri hattı taşıyabilecek kablo takımı EASA CS-25, 14 CFR Part 25 sertifikasyon kuralları, FAA AC 43.13-1B, FAA AC 25.1701-1 sertifikasyon kılavuzları ve SAE-AS-50881, ARINC 628 P4-A3, ARINC 628 P5-2A, IPC-D-620, IPC-WHMA-A-620 sınıf 3 standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Ulaşım kategori hava araçlarında serifiye edilebilir kablo takımının muadil tasarımdan yaklaşık 124,6 g daha hafif olduğu ve sadece bu kablo takımının tüm koltuklardaki koltuk arkası ekranlarda kullanılmasıyla 330 koltuklu bir uçakta 41,118 kg sistemi hafifletebileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablo, havacılık kablo, kablo takımı, kabla, EWIS

ABSTRACT

Aerospace Vehicle Wiring Harness Design Details

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defense Technologies, Master's Thesis

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Şule OCAK ARAZ

May 2023, 87 pages

Cables, which we can describe as neural system of electrical and electronic system, appear in every aspect of our lives. Although it is thought that cables have decreased with the development of technology, system functions have increased with the expectation of people and cables have started to become more complex day by day. This situation is also evident in aviation platforms that contain thousands of subsystems, and in wide-body civil aircraft, the total cable length can reach up to 500 km. Regulatory authorities have defined all these cable connections as a system under the name of EWIS. EWIS is among the system with the highest cost and weight. In this thesis, the wire harness design details, wiring terminology, aviation device and part certification of a cable set in transport category airplane are explained. Cable assembly that supply the Cabin Control Panel and carry 1000 Mbps ethernet data line to be used in seat back entertainment systems for transport category airplane is designed per EASA CS-25, 14 CFR Part 25 certification rules, FAA AC 43.13-1B, FAA AC 25.1701-1 certification manuals and SAE-AS-50881, ARINC 628 P4-A3, ARINC 628 P5-2A, IPC-D-620, IPC-WHMA-A-620 class 3 standards. Certifiable cable assembly for transport category airplane is approximately 124,6 g lighter than the equivalent design, and that only this cable assembly can be used in all seat back display units to lighten the system by 41,118 kg in a 330 seat aircraft.

Key Words: Cable, aerospace cable, wire harness, EWIS

TEŞEKKÜR

Hayatımın her alanında ve her anında desteğini hissettiğim en büyük şanslarım sevgili eşim Sena Yenilmez'e, annem Aylin Yenilmez'e, babam Doğan Yenilmez'e ve kardeşim Sude Yenilmez'e sonsuz teşekkür ederim. Tez süresince desteklerini esirgemeyen, değerli vaktini doğruyu bulmam için harcayan, ilgilendiğim disipline bilim penceresinden bakabilmemi sağlayan çok değerli danışmanım Dr. Öğr. Üy. Şule Ocak Araz'a, örnek tasarımın yapılmasında yardımcı olan Cornea Havacılık Sistemleri ekip arkadaşlarıma ve müdürlerime, mühendis kavramını öğreten değerli yöneticim Evran Zihnioğlu'na, manevi desteğini hep hissettiğim can dostlarım Ekin Çelik ve Kemal Erdem Akyürek'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Havacılık Sistemleri ve Kablo Takımları Tasarım Sürecine Genel Bakış.....	3
1.2. Kablolama Terminolojisi	7
1.3. Havacılık Ürün, Cihaz Sertifikasyonu ve Kablolama İlişği	13
1.4. Elektriksel Kablolama Ara Bağlantı Sistemi (Electrical Wiring Interconneciton System (EWIS)).....	14
1.5. Kablo Tercihi	15
1.5.1. Kalifiye Kabloların Kullanılması.....	16
1.5.2. Kabloların Mekanik Mukavemeti	17
1.5.3. Güç Kabloları ve Enerji Transferi	17
1.5.3.1. Voltaj Düşümü ve Hat Direnci.....	17
1.5.3.2. Akım Taşıma Kapasitesi	20
1.5.4. Veri Taşıma-Haberleşme Kabloları.....	23
1.5.5. Bükülme Yarıçapı Hesabı	23
1.5.6. Genel Dış Çap (Overall Diameter) Hesabı	26
1.6. Konnektör Tercihi	27
1.7. Bazı Diğer Kablo Takımları Alt Malzemelerin Tercihi	31
1.7.1. Arkalık Tercihi	32
1.7.2. Ekran ve Ekran Sonlandırma Tercihi	32
1.7.3. Yalıtkan Koruyucu Tercihi	36
1.7.4. Etiket ve Markalama Tercihi.....	36
1.8. Havacılık Sistem ve Kablolama Teknik Dokümantasyonu	38
1.8.1. Elektriksel Ekipmanlar (Installed Electrical Equipment)	38

1.8.2. Elektriksel Diyagramlar ve Şematiği	39
1.8.2.1. Sistem Diyagramları ve Şematikleri	39
1.8.2.2. Bağlantı Diyagramları (Wiring Diagrams)	40
1.8.3. Ekipman ve Kablo Listeleri (Equipments and Wire List Data)	41
1.8.4. Kablo Demeti Montaj ve Entegrasyon Çizimleri (Wire Bundle Assembly and Installation Drawings)	42
1.8.4.1. Kablo Takımı İmalat Çizimleri	42
1.8.4.2. Kablo Takımı Montaj Dokümanı	43
1.9. Kablo Takımları Üretimi.....	43
1.10. Kablo Takımları Testleri	47
1.10.1. Kablo Takımları Mekanik ve Elektriksel Fonksiyon Testleri	47
1.10.1.1. Çekme Testi	47
1.10.1.2. Geri Kaçma Testi	48
1.10.1.3. Süreklilik	48
1.10.1.4. Dielektrik Dayanım Voltajı (DWV)	49
1.10.1.5. İzolasyon Direnci (IR)	49
1.10.2. Kablo Takımları Kalifikasyon Testleri	50
1.10.2.1. Yanıcılık (Flammability), Duman Yoğunluğu ve Zehirli Gaz Salınımı	51
1.11. Kablo Takımlarının 3D Yönlendirilmesi ve Entegrasyonu	53
1.12. Bakım ve Tamir Yapılabilir Kablo Takımlarının Tasarlanması	57
1.13. Literatür Özeti	58
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	60
2.1. Tasarlanacak Kablo Takımı	60
2.2. Tasarım Yöntemleri	61
2.2.1. Tasarım Gereksinimleri.....	62
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	64
3.1. Konnektör Tercihlerinin Yapılması	64
3.2. Kablo Tercihleri ve Bağlantı Şemasının Oluşturulması	66
3.3. Diğer Alt Malzeme Tercihlerinin Yapılması	69
3.4. İmalat Dokümanının Oluşturulması.....	70
3.5. 3D Yönlendirmenin Yapılması	71
3.6. Test Koşullarının Belirlenmesi	72
3.7. Tasarım Çıktıları	74
4. SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Kalifiye Kablo Örnekleri	16
1.2. AC 43.13-1B'ye göre Kabul Edilebilir Voltaj Düşümü Seviyeleri	18
1.3. SAE AS 50881 ve MIL STD 704 F'e göre Kabul Edilebilir Voltaj Düşümü Seviyeleri	18
1.4. Bazı M22759 Standart Kabloların Uzunluğa Bağlı Hat Direnci	19
1.5. Metal İletkenliler için Dönüş Yarıçapları	25
1.6. Fiber Optik Kablolar için Dönüş Yarıçapları	26
1.7. Kablo Sayısı Katsayısı	27
1.8. Boeing Bazı Kalifiye Konnektörler	28
1.9. Devre Kategorilerine Göre Ekranlama Gereksinimleri	33
1.10. Kabul Edilebilir Tel Hasarı	44
1.11. Kablo Uzunluk Toleransları	45
1.12. Bazı Yanmazlık Test Standartları	52
2.1. Kabin Kontrol Paneli J1 Konnektör Bağlantıları	62
2.2. Elektronik Kutu J4 Konnektör Bağlantıları	63
3.1. PIC E6A6826 Kablo Teknik Özellikleri	66
3.2. Akım Taşıma Kapasitesi	67
3.3. Gerilim Düşümü	67
3.4. Tasarlanan Kablo Takımı Ağırlık Analizi	74
3.5. Referans Kablo Takımı 1 ve Ağırlığı.....	75
3.6. Referans Kablo Takımı 2	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

1.1. Kablo Takımları 3D Modellenmesi	3
1.2. Basit Sistem Tasarımı	4
1.3. Kablo Takım Tasarım Aşamaları	4
1.4. EWIS Tasarım Aşamaları	4
1.5. Motor Yeri Yangın Söndürme Elektriksel Sistem Şematiği 2/2	5
1.6. Kablo Takımları Sık Kullanılan Performans Kriterleri.....	6
1.7. Kablo Demeti Ayrım Noktaları.....	8
1.8 Kablo Kelepçesi	9
1.9. Kablo Klipsi	9
1.10. Kablo Bağı	10
1.11. Konnektörler	10
1.12. Bağlantı Konfigürasyonu	11
1.13. Kablo Ekranı	12
1.14. Hava Aracı Kablolaması	15
1.15. 10-26 AWG Tek Bakır Kablo için Sıcaklık Akım Grafiği	21
1.16. 8-4/0 AWG Tek Bakır Kablo için Sıcaklık Akım.....	22
1.17. Demet Yüklenmesi ve Kablo Sayısına Göre Akım Değer Kaybı Katsayısı Grafiği	22
1.18. İrtifaya Göre Akım Değer Kaybı Katsayısı Grafiği.....	23
1.19. Konnektör Arkası Potalama Uygulaması.....	29
1.20. Ekranın Konnektöre Lehimlenmesi	34
1.21. Ekranın Konnektöre Pabuç ile Bağlantısı	34
1.22. Ekranın Şasiye Krimplenmesi.....	34
1.23. Ekranın Papatya Zinciriyle Sonlandırılması	35
1.24. Grup Kabloların Ekranlanması	35
1.25. Kablo Lazer Markalaması	37
1.26. Kablo Lazer Markalama Mesafeleri.....	38
1.27. Örnek Sistem Blok Diyagramı	39
1.28. Örnek Sistem Şematiği.....	40
1.29. Örnek Sistem Şematiği 2.....	41
1.30. Örnek Ekipman Listesi.....	41
1.31. Örnek Kablo Listesi (Wire List)	42
1.32. Örnek Kablolama Listesi (Wire Hookup List).....	42
1.33. IPC ve WHMA Logoları	44
1.34. Uzunluk Referans Noktaları.....	45
1.35. Form 1 Örneği	46
1.36. A380 EWIS 3D Modellemesi	53
1.37. MS21919 Standart Kablo Kelepçesi	54
1.38. Kablo Kelepçeleme Tanımları	54
1.39. Kablo Kelepçesi Mesafeleri	55
1.40. Kablo Kelepçeleri Aralarındaki Mesafe Sınırları	56
1.41. Paralel Kablo Yönlendirmesi	56

2.1. Temsili Kabin Kontrol Paneli	60
2.2. Temsili Elektronik Kutu	62
2.3. Video Kontrol Merkezi Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Tasarımı	61
3.1. Kablo Takımı Bağlantı Şeması	68
3.2. Kablo Takımı Sistem Şematiğine Konumlandırılması	68
3.3. Ekipmanlar ve Kablo Takımı Blok Diyagramı	69
3.4. Kablo Takımı İmalat ve Tasarım Dokümanı	71
3.5. Kablo Takımı 3D Yönlendirilmesi	71



KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
ADOA	Alternatif Tasarım Organizasyon Onayı (Alternate Procedures to Design Orgnasiation Approval)
ARINC	Havacılık Radyo Anonim Şirketi (Aeronautical Radio Incorporated)
ATA/A4A	Amerika Hava Taşımacılığı Birliği (Air Transport Association of America)
AWG	Amerikan Tel Ölçü Standardı (American Wire Gauge)
CAD	Bilgisayar Destekli Grafik Tasarım (Computer Aided Design)
CFR	Federal Yönetmelik Kodları (Code of Federal Regulations)
CS	Sertifikasyon Şartnamesi (Certification Specifications)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DOA	Onaylı Tasarım Organizasyonları (Design Organizations Approvals)
DWV	Dielektrik Dayanım Voltajı (Dielectric Withstand Voltage)
EASA	Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (European Union Aviation Safety Agency)
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compability)
EMI	Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
ESD	Elektrostatik Deşarj (Electrostatic Discharge)
ESPM	Elektrik Standard Uygulamalar Kılavuzu (Electrical Standard Practices Manual)
ETSO	Avrup Teknik Standartları (European Technical Standard Order)
EWIS	Elektriksel Kablolama Ara Bağlantı Sistemi (Electrical Wiring Interconnection System)
FAA	Federal Havacılık İdaresi (Federal Aviaiton Administration)
FDAL	Fonksiyonel Tasarım Güvence Seviyesi (Functional Design Assurance Level)
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (Internation Civil Aviation Organization)
IFE	Uçak İçi Eğlence (In Flight Entertainment)
IPC	Elektronik Devreleri Ara Bğalantı ve Paketleme Enstitüsü (Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits)
IR	İzolasyon Direnci (Insulation Resistance)
NAVAIR	Deniz Hava Sistemi Komutanlığı (Naval Air System Command)
OAM	Orjinal Uçak Üreticisi (Original Aircraft Manufacturer)
OEM	Orijinal Ekipman Üreticisi (Original Equipment Manufacturer)
P/N	Parça Numarası (Product Number)
POA	Onaylı Üretim Organizasyonları (Production Organizations Approvals)
RTCA	Havacılık Radyo Teknik Komisyonu (Radio Technical Comision for Aeronautics)

SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği (Society of Automobile Engineers)
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
STC	İlave Tip sertifikası (Supplemental Type Certification)



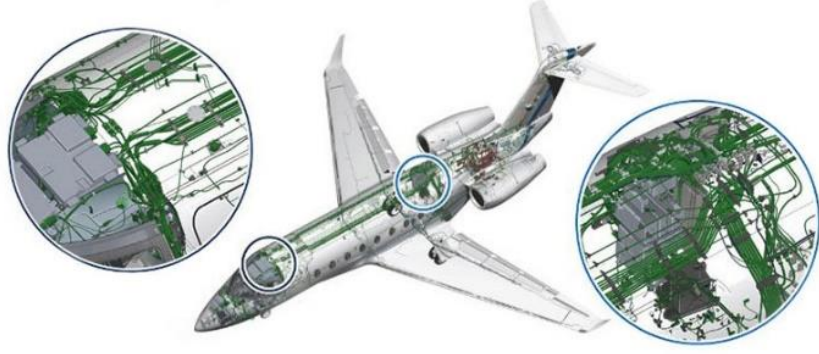
1. GİRİŞ

Havacılık platformlarının veya çeşitli sistemlerin kablo takımlarının tasarımı, tasarımcıları en çok zorlayan disiplinlerin başlarında yer almaktadır. Kablo takımları, basit şekilde elektriksel sinyallerin ve gücün ekipmanlar veya sistemler arasındaki iletişimi sağlaması olarak düşünülse de hava aracındaki kablolanın, bir uzay sondası sisteminden daha kompleks olduğu ve sistemlerin optimum düzeyde çalışmasını etkilemesi dolayısıyla kritik bir konumda olduğu söylenebilir. Toplam kablo uzunluğu yaklaşık olarak bir helikopterde 20 km, bir savaş uçağında 40 km ve geniş gövde modern bir sivil uçak olan Airbus A380’de 500 km uzunluğa varmaktadır ve konektör sayısı 40.000’in üzerindedir. Bu kablo uzunluğu ve konektör sayılarının yeni nesil elektrikli uçaklarda azalması beklenirken giderek arttığı kabul edilmektedir. Kablo takımları tasarımı, kütlesi, hacmi, bakım yapılabilirliği, sistem karmaşıklığı, elektromanyetik ekranlama kabiliyeti, yanıcılığı, alt malzemelere ulaşılabilirliği, süreç değişiklikleri, üretim süreleri, üretilebilirliği, dokümantasyonu, kalitesi, maliyeti gibi birçok parametrede değerlendirilmektedir. Tüm bu karmaşıklık, artan sistem yoğunluğu vb. gibi sebeplerle havacılık regülasyon otoriteleri uçakların elektrik kablo bağlantılarını kendi başına bir sistem olarak EWIS adı altında tanımlamıştır (Millet, G., Bruillot, S., Dejardin D. ve Imbert N., 2014; Zhu, Z., La Rocca, G., van Tooren, M.J.L., 2017; Scully, 2020).

Havacılık regülasyon otoritelerine (FAA, EASA, SHGM vb.), Air Transport Association of America’ya (ATA/A4A) uçak üreticileri ve çeşitli kurumların hazırladığı standartlara-klavuzlara göre uçaklarda her bölge için farklı EWIS gereksinimi tanımlanmıştır. İlgili gereksinimlerin hazırlanmasındaki temel hedef uçuş emniyetinin sağlanmasıdır. Bu hedefe ulaşmak için tasarlanan-üretilen her ürünün-sistemin uçuşa elverişli olması gerekmektedir. Havacılık platformlarında yapılacak tasarımlarda öncelik olarak yetkili otoritelerin yayınladığı ilgili dokümanlar referans alınmalıdır. Örnek olarak, bu dokümanlar Ulaşım Kategori (Transport Category) uçakların EWIS’i için: FAA’nın yayınladığı 14 CFR PART 25

Subpart H ve EASA'nın yayınladığı CS-25 Subpart H'dir. Türk sivil havacılık otoritesi olan SHGM ise EASA ile yapılan iş birliği antlaşması ile CS-25'i takip ettiğini açıklamıştır. Otorite ve kuralların çıkış noktası ise merkezi Kanada Montreal'de bulunan ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) olarak nitelendirilebilir. 7 Aralık 1944 tarihinde Şikago Sözleşmesi'ni 52 ülkenin imzalamasıyla 4 Nisan 1947 tarihinde kurulmuş ve Birleşmiş Milletler'in yasal havacılık organı olarak kabul görmüştür. Türkiye'nin kurucu üyelerinden olduğu ICAO'ya günümüzde 193 ülke üyedir (Ashour, 2014; European Union Safety Agency [EASA], 2021; Code of Federal Regulations [CFR], 2022; Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM] b, 2022, <https://web.shgm.gov.tr/tr/s/4981-shy-21-sertifikasyon-koordinatordugu-shy-21-certification-section>, Erişim Tarihi: 15.10.2022; Yardım, 2022)

Otoritelerin yayınladığı gereksinimlere ek olarak çeşitli kurum-kuruluşlar ve uçak üreticileri de kendi standartlarını, kılavuzlarını ve gereksinimlerini hazırlamışlardır. Kablo takımları tasarımı konusunda sıkça kullanılan ve bu tezde de referans alınan dokümanlardan bazıları: Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuit (IPC) ve Wiring Harness Manufacturer's Association (WHMA) tarafından hazırlanan IPC-D-620, IPC/WHMA-A-620 ve IPC-HDBK-620, Society of Automotive Engineers (SAE) tarafından hazırlanan SAE-AS-50881, Aeronautical Radio Incorporated (ARINC) tarafından hazırlanan ARINC Standards (ARINC 400, 500, 600 vb.), Naval Air System Command tarafından hazırlanan TM 1-1500-323-24-1; Installation and Repair Practices, Airbus tarafından hazırlanan Electrical Standard Practices Manual (ESPM), BOEING tarafından hazırlanan Standard Wiring Practices Manual (SWPM)'dir. Genellikle kablo donanımları, elektromekanik üretimlerde en yüksek maliyeti oluşturur. Ancak kablo donanımları alanında akademik araştırma yaygın olarak tanınmamaktadır. Uluslararası literatürde CAD sistemleri aracılığıyla yapay zeka kullanılarak kablo takımları yollarının seçimini otomatikleştirmek veya yarı otomatikleştirmek için bazı çalışmalar yapılmıştır fakat başarı oranı oldukça düşüktür. Sebebi sorunların çok açık uçlu olması ve aktivitenin tasarım amacını yakalamasında zorlanmasıdır. Sonuç olarak hala bilgisayar sistemleri kablo donanım tasarımlarını optimum bir çözüme ulaştırmak için insan girdisine ihtiyaç duymaktadır (Meng, F., Ritchie, J. ve Simmons, J., 2000).

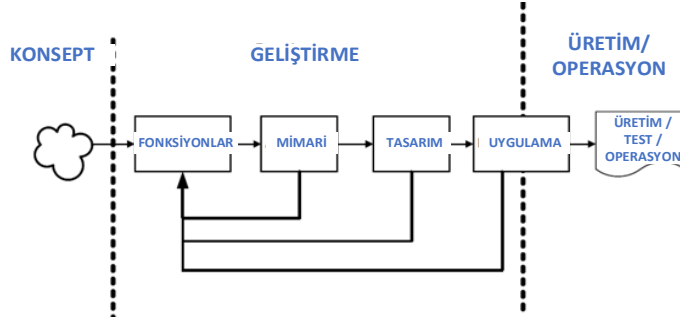


Şekil 1.1. Kablo Takımları 3D Modellenmesi (<https://www.iai.co.il/p/HarnesSYS>, Erişim Tarihi: 17 Ocak 2023)

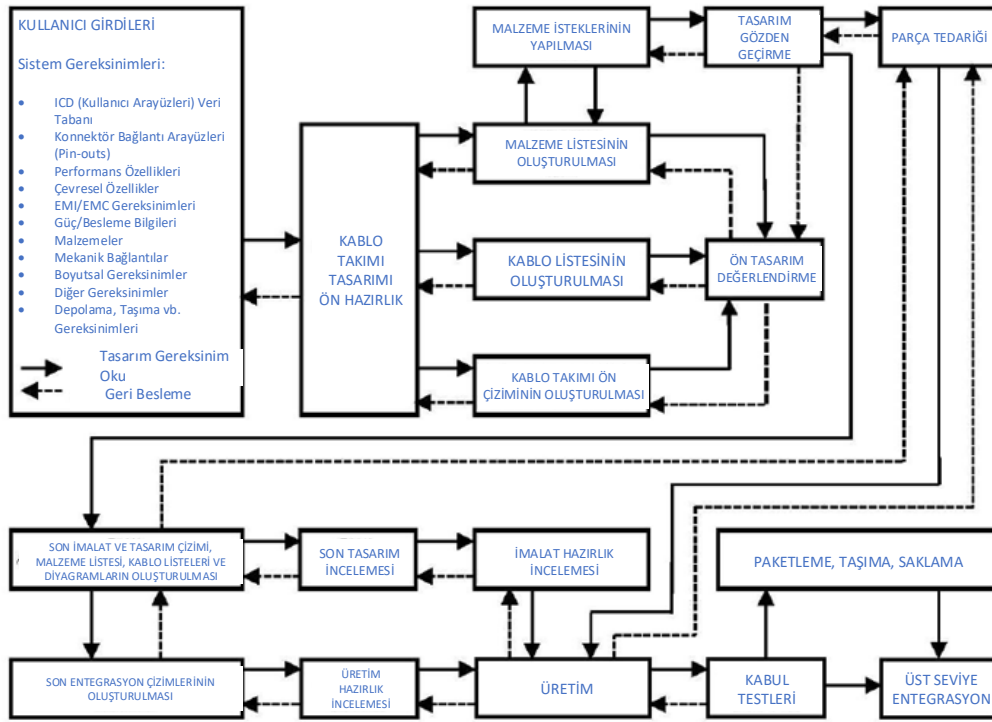
Bu yüksek lisans tez çalışmasında, bir hava aracı donanım tasarımı; kablo takımlarının, tasarım detayları, havacılık sertifikasyonu, alt malzemeleri, tasarım süreci, testleri, referans standartları, CAD modellemesi, dokümantasyonu, ağırlık analizleri, üretimi, entegrasyonu, bakımı/tamiri detaylı olarak araştırılmış ve ulaşım kategori uçaklar için örnek bir kablo takımı tasarımı yapılmıştır.

1.1. Havacılık Sistemleri ve Kablo Takımları Tasarım Sürecine Genel Bakış

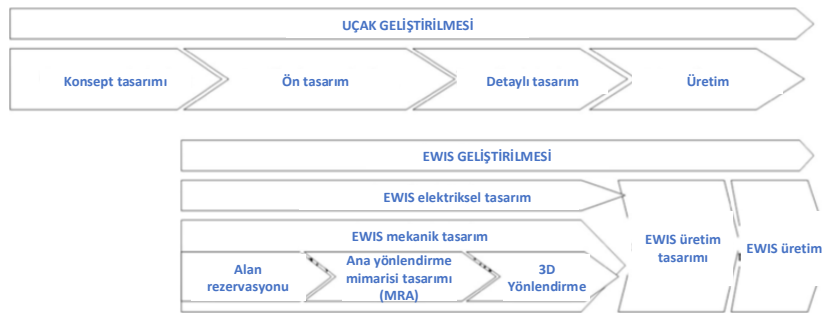
Havacılık sistemlerinin kompleks ve çok disiplinli yaklaşımlar olması sebebiyle sistem tasarımları yapılmalıdır. Havacılıkta kablo takımlarının veya tasarlanan ekipmanların doğru yöntemle istenen çıktıya ulaşabilmesi amacıyla sistem çıktılarının doğru ve eksiksiz aktarılması önemlidir. Bir uçak veya havacılık sistem geliştirme modeli basit olarak Şekil 1.2, detaylı kablay tasarımı için Şekil 1.3 ve uçak geliştirme sürecinde EWIS tasarımı için Şekil 1.4 referans alınabilir (Society of Automobile Engineers [SAE], 2010; Institute for Printed Circuits [IPC], 2015; Zhu Z. vd., 2017).



Şekil 1.2. Basit Sistem Tasarımı (SAE, 2010)



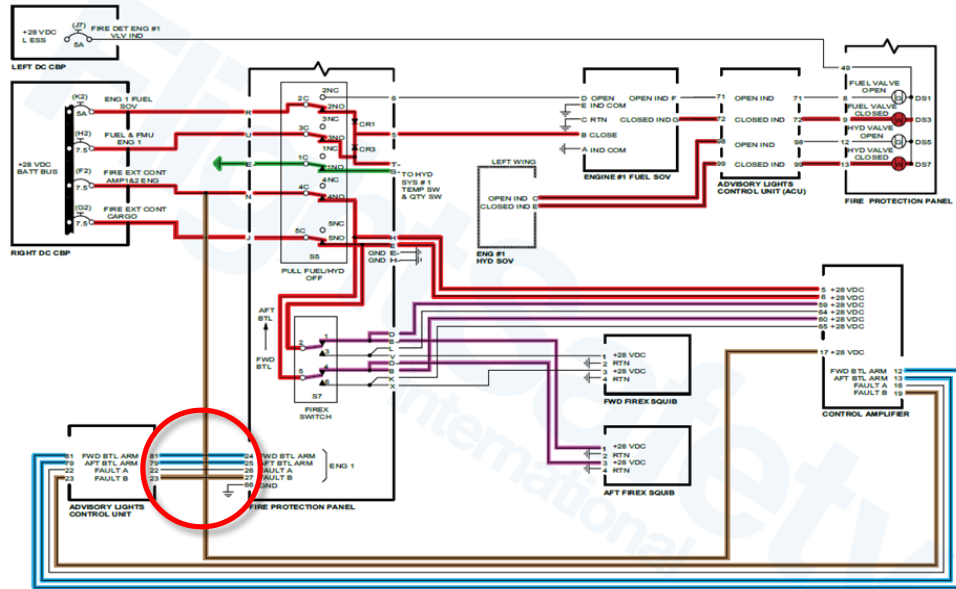
Şekil 1.3. Kablo Takım Tasarım Aşamaları (IPC, 2015)



Şekil 1.4. EWIS Tasarım Aşamaları (Zhu Z. vd., 2017)

Kablo takım tasarımları, minimum düzeyde karmaşıklık, ağırlık ve maliyet, maksimum uçuş güvenliği, bakım yapılabilirlik, üretilebilirlik, beklenen performansta çalışma ve belirlenen teknik gereksinimleri karşılama parametreleri ile değerlendirilebilir. (IPC, 2015; Peramarathne, P. ve Fernando T., 2016; Scully, 2020)

Sistem ve kablaj gereksinimleri havacılık otoriteleri, uçak üreticisi ve kılavuz dokümanlara göre hazırlanır. Sistem seviyesinde ilgili gereksinimlere ve sistemin işlevine uygun sistem blok diyagramları, sistem bağlantı şematikleri veya sistem kablolama diyagramları oluşturulur. Genel sistem mimarisinin/büyük resmin oluşmasıyla tasarlanması gereken kablo takımları ve bağlantıları da daha net görülecektir. Öyle ki, kablo tasarımcısı için, tasarım aşamalarının ilki sistemin/projenin kapsamı ve içeriğine hakim olmaktır. Örnek olarak Şekil 1.5'te Yangın Koruma Paneli (Fire Protection Panel) ile Uyarı Işıkları Kontrol Ünitesi (Advisory Lights Control Unit) arasındaki bağlantının sağlanabilmesi için bir kablo takımının yeterli olacağı görülebilmektedir. Standart sistem bağlantı şematiklerinin hazırlanması için ANSI Y14.15 ve DOD-STD-863B referans alınabilir (American Society of Mechanical Engineers [ASME], 1966; Department of Defense [DOD], 1979; Flight Safety, 2015; Peramarathne, P. ve Fernando T., 2016).



Şekil 1.5. Motor Yeri Yangın Söndürme Elektriksel Sistem Şematiği 2/2 (DASH 8 Q400)

Tüm kablo takımlarının maliyet, üretilebilirlik, işçilik, bakım yapılabilirlik, entegrasyona uygunluk, ağırlık, elektriksel performans, mekanik performans vb. parametrelerde optimum koşulda tasarlanmalıdır. Buna istinaden her kablo takımı için ayrı gereksinimler oluşturulabilir ve tasarım buna göre şekillenmelidir. Bunun sebebi, sistem veya hava aracının çeşitli yerlerinde kabloların farklı çevresel şartlara maruz kalabilecek olması ve farklı elektriksel performans beklentilerin olmasıdır (Bkz. Şekil 1.16). Buna örnek olarak: keskin kenarlı yapısalara yakın geçen veya hareketli kablolar için ekstra koruma kılıfı veya çok dar alanlardan dönmesi beklenen kablolar için minimum dönme yarıçapı düşük esnek kablolar kullanılması veya karışma(crosstalk) olması muhtemel noktalarda ekstra ekranlama yapılması verilebilir.

Elektriksel	Mekaniksel
• Gerilim Düşümü • Akım Taşıma Kapasitesi • EMI/EMC • Sinyal Kaybı • Yüksek Voltaj Dayanımı • Kaçak Akım • Devre Devamlılık • Toprak Bağlantı Direnci	• Sızdırmazlık • Yanıcılık • Duman Salınımı • Zehirli Gaz Salınımı • Kablo/Demet Çapı • Min. Dönüş Yarıçapı • Çekme Dayanımı • Kontak Geriye Kaçma Direnci

Şekil 1.6. Kablo Takımları Sık Kullanılan Performans Kriterleri

Mühendislik tasarım süreci, mühendislik ekiplerinin işlevsel sistemler veya ürünler yaratmasını sağlamak için bir planın yürütülmesidir. Tipik olarak, tasarım hedefleri ve gereksinimleri, ürün işlevi, sentez, analiz, ürün performansı, test, değerlendirme gibi birçok unsuru göz önünde bulundurarak maliyet-performans dengesini sağlayarak gerçekleştirilir. Fonksiyonel gereksinimlere ek olarak kablo demeti tasarımı genellikle ürünün amaçlanan son kullanımının estetik, güvenlik, ekonomik ve çevresel yönlerinin dikkate alınmasını gerektirir. Kablo takım tasarımları sonucunda çizimler, satın alma spesifikasyonları veya bilgisayar destekli tasarım (CAD) çıktıları gibi belgeler oluşur (IPC, 2015).

Kötü olarak nitelendirilebilecek kablo demeti tasarımları, empedans devrelerinin arızalanması, sinyal kayıplarının yaşanması, termal problemler, voltaj düşümü gibi türlü sorunlara yol açabilmektedir. Geliştirilen sistemleri/ekipmanları birbirlerine bağlayan kablo takımlarının doğru tasarlanması sistemlerin performansı ve

güvenirliliği için esastır. Sonuç olarak kablo demetleri gerektiği gibi çalışmadığında sistem/ekipman tasarımlarının ne kadar zarif veya yenilikçi olduğunun önemi kalmaz (Scully, 2020).

Hava araçları kablo takımlarının tasarımları beklenen görevi sağladığı takdirde sırasıyla aşağıdaki önceliğe uygun şekilde tasarlanmalıdır:

- Uçuş güvenliğini gözetmesi,
- Kolay bakım yapılabilir, sökülebilir ve yenilenebilir olması,
- Maliyetinin uygun olması (SAE, 2019).

1.2. Kablolama Terminolojisi

Kablo tasarımlarına başlamadan bu alandaki terminolojiye hakim olmak önemlidir. Tasarımlarda tüm donanım tasarımlarında olduğu gibi farklı alt malzemeler ve teknik terimler kullanılmaktadır. Kablo takımlarında sıkça kullanılan bazı alt malzemeler ve terimler aşağıdaki verilmiştir:

Aksesuarlar (Accessories): Konnektörlere takılan, sonradan eklenebilir kelepçeler, mekanikler(arkalık) vb. donanımlar.

AWG (American Wire Gauge): Tel çapını belirtmek için kullanılan Amerikan Kablolama Ölçü Birimi standart sistemidir. AWG değeri arttıkça tel çapı küçülür. AWG değeri azaldıkça tel çapı büyür.

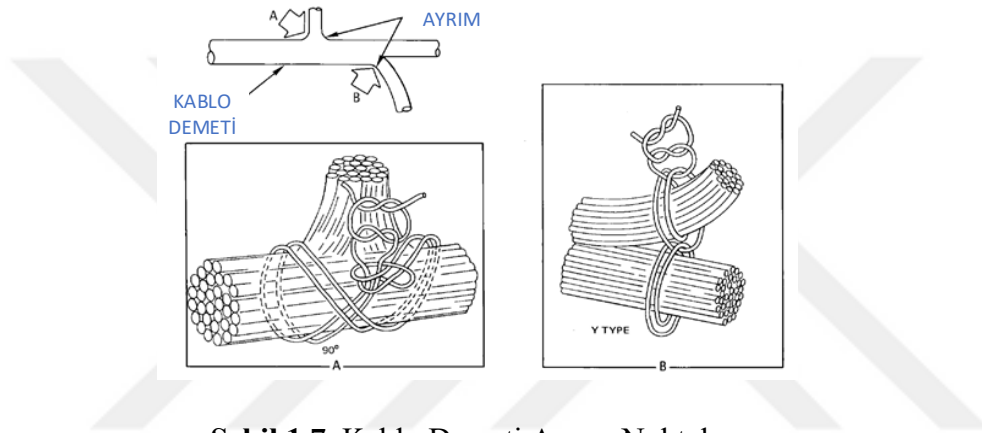
Arkalık (Backshell): Ek destek, koruma, ekran sonlandırma, estetik görüntü vb. sebeplerle konnektör arkalarına çeşitli şekillerde montajlanabilen malzemelerdir.

Bükülme Yarıçapı (Bend Radius): Telin veya kabloların hasar almadan bükülebildiği yarıçap değeridir. Genellikle üreticiler ve tasarımcılar min. Bükülme yarıçapı değerini paylaşır. Paylaşılan değerden fazla bükülen kabloların hasar alması yüksek ihtimaldir. İki çeşit bükülme yarıçapı değeri vardır: Durağan Bükülme Yarıçapı (Static Bend Radius) ve Hareketli Bükülme Yarıçapı (Dynamic Bend Radius). Kabloların hareketsiz olacağı bir ürün/sistem için durağan bükülme yarıçapı, hareketli olacağı ürün/sistem hareketli bükülme yarıçapı değeri dikkate alınır.

Dip Makaronu (Boot): Kablonun, izolasyonlu tellerin veya konnektörlerin herhangi bir kısmına normal ceketleri veya izolasyon malzemelerine ek olarak koruma sağlayan esnek malzemelerden yapılan kablo takımı alt malzemesidir. Konnektörlere nemin girmesini engellemek için de kullanılır.

Örgü (Braid): Tekstil ipliğinden veya ince iletken tellerden üretilen kaplamalardır. İletken tellerden üretilen örgüler EMI/EMC gerekliliklerini sağlarken tekstil ipliğinden üretilenler mekanik ve termal koruma sağlar.

Ayrım (Breakout): Çok damarlı kablo damarlarının veya kablo gruplarının birbirlerinden ayrıldığı noktalara verilen isimdir.



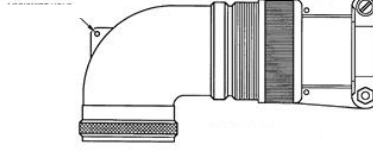
Şekil 1.7. Kablo Demeti Ayrım Noktaları

Demet (Bundle): Kabloların, kablo takımlarının ve/veya izolasyonlu tellerin beraber yönlendirilmesiyle oluşan gruptur.

Kablo (Cable): Ortak bir veya daha fazla koruma altında bulunan tek veya çok telli iletken; ortak kaplama olmadan beraber bükülmüş/kalıplanmış iki veya daha fazla yalıtılmış iletken; metalik bir kaplama (Ekran vb.), veya dış iletken ile bir yalıtımlı iletkene verilen isimdir.

Kablo Takımı (Cable Assembly): Kablolar ve eklenen donanımların tamamı.

Kablo Kelepçesi (Cable Clamp): Kablo-kontak bağlantısı üzerindeki gerginliği, titreşimi, şoku vb. olumsuz mekanik koşulları yalnızca kablo üzerinde tutmak için konnektörlerin kablo tarafında kullanılır.



Şekil 1.8 Kablo Kelepçesi

Kablo Klipsi (Cable Clips): İzolasyonlu tel veya kabloların montajı için kullanılan parçalardır. Bazı klipsler gerginliği ayarlamak için kullanılabilir.



Şekil 1.9. Kablo Klipsi (Essentra Components, 2022, <https://www.mouser.com.tr/new/essentra/essentra-cable-clips-clamps>, Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Koaksiyel Kablo (Coaxial Cable): Bir iletkenin diğer bir iletkenin merkezine eş merkezlendiği kablodur. Öncelikli amacı radyo frekans sinyallerinin gönderilmesidir.

Kablo Damarı (Cable Core): Kablo izolasyonunun altında bulunan izolasyonlu bir teldir.

Kablo Bağı (Cable Tie): Kablo demetlerini veya yalıtılmış telleri bir arada tutmak veya herhangi bir yüzeye sabitlemek için dolanan kayış benzeri plastik şeritlerdir.



Şekil 1.10. Kablo Bağı (Matec Electronics, 2022,
<https://www.matecelectronics.com/kategori/cable-ties-fixings>, Erişim Tarihi:
15.10.2022)

Boru (Conduit): Yalıtılmış tel veya kabloların geçtiği boru veya oluk. Hava aracı kablolarının korunması amacıyla erişilemeyen, yüksek sıcaklığa maruz kalacak, sık hareket edecek ve çeşitli çevresel streslere maruz kalacak kabloların üzerine uygulanan ve farklı malzeme yapılarında olabilen borudur.

Konnektör (Connector): Elektrik kablosu ve/veya kablo ara bağlantıları için hızlı bağlantı /bağlantı kesmeyi sağlama amacıyla kullanılan fiş veya prizlerin tamamıdır. Askeri uygulamarda kullanılan konnektörler genelde 3 çeşittir: Koaksiyel, yuvarlak ve dikdörtgendir.



Şekil 1.11. Konnektörler (Lane Electronics, 2022,
<https://www.fclane.com/news/Guaranteeing-Supply-Chain-Aerospace-Defence-Connectors>, Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Kontak (Contact): Bağlantı elemanlarının iletken parçalarıdır.

Krimp (Crimp): Elektrik bağlantısı yapmak için bir iletkenin etrafındaki kontağın veya iletken bağlantı elemanının fiziksel olarak sıkıştırılmasıdır (deformasyon).

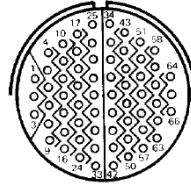
Krimp Aracı (Crimping tool): Krimp yapmak için kullanılan mekanizmadır.

Karışma (Crosstalk): Demet veya birbirlerine çok yakın kablolar arasında istemsiz elektromanyetik kuplaj olması ve sinyallerin bozulmasıdır.

Direnaj Teli (Drain Wire): Kablo içerisinde izolasyonsuz bulunan teldir. Toprak bağlantısı için kullanılan bir yöntemdir.

Kablo Ağı (Harness): Bir birim olarak kurulabilecek veya çıkarılabilecek şekilde düzenlenmiş izolasyonlu teller ve/veya kabloların montajıdır.

Bağlantı Konfigürasyonu (Insert Arrangement): Konnektör kontaklarının sıralaması, numaralandırması ve boşluklarına verilen isimdir.



Şekil 1.12. Bağlantı Konfigürasyonu (Naval Air Systems Command [NAVAIR], 2019)

Ekleme Aracı (Insertion Tool): Kontakların konnektöre girmesi için kullanılan araçtır.

Çıkarma Aracı (Removal Tool): Kontakların konnektörden çıkarmak için kullanılan araçtır.

Gözetleme Deliği (Inspection Hole): Krimp yapmadan önce iletkenin kontağın boşluğuna girdiğini doğrulamak için kullanılır. Kontakların alt bitiminde yer alır.

Anahtar Yönü (Keyway): Karşılık gelen konnektörlerin doğru eşleşebilmesi için oluşturulan yapıdır.

Polarizasyon/Kama Yönü (Polarization): Uygun olmayan konnektörlerin eşleşmesini engellemek amacıyla konnektör şasilerinde oluşturulan mekanik konfigürasyonlardır. Bu aynı boyuttaki konnektörlerin yanlış bağlantı yapma tehlikesini ortadan kaldırarak yakın konumlandırılmasına olanak tanır.

Bağlama Bandı / Bağlama Kordonu (Lacing Cord / Lacing Tape): Kablo formlarının verilmesi, kablo demetlerinin bağlanması, kablo ağlarının montajının sağlanması amacıyla kullanılır. Farklı birçok materyal ve varyasyonu vardır. Bağlama kordonu (Lacing tape) Bağlama bandı (lacing cord) ile aynı işlevdedir. Ancak bağlama kordonu daha modern ve ileri malzemelerden (nylon, polyster, teflon, fiberglas vb.) tasarlanmış ve üretilmiştir.

Konumlayıcı (Locator): Terminallerin, birleştiricilerin (splice) veya kontakların sıkma kalıplarına (crimping die), konumlandırıcılara (positioner), taret kafalarına (turret heads) yerleştirmek için kullanılan ürünlere verilen isimdir.

Kablo Etiketi (Cable Marker): Kablo takımlarını, konnektörleri, demetleri vs. tanımlamak için kullanılan çeşitli boyut, renk, malzeme veya özellikte (yapışkanlı, ısıyla daralan vb.) kablaj alt malzemesidir.

Dış Çap (Outside Diameter): Dairesel bir kesitin eksenine dik olarak ölçülen dış yüzeyler arasındaki mesafedir.

Genel Çap (Overall Diameter): Bitmiş kablounun/kablo takımının dış çapıdır.

Potalama (Potting): Bir nesneyi, daha sonra katı hale dönecek sıvı dielektrik malzeme içine tamamen yerleştirme işlemidir. Elektriksel fonksiyonları iyileştirmek ve korumak için yapılır. Dielektrik görevi görerek çevreden gelecek istenmeyen gerilimlerin azaltılması ve engellenmesi sağlanır.

Kalkan / Ekran (Shield): Bir izolasyonlu teli, kabloyu veya tel/kablo gruplarını çevreleyen metal şeritlerden oluşan iletken. Ekran, kablo uzunluğu boyunca aşırı gerilim empedansını dengeler, harici sinyallerin karışmasını engeller ve taşıdığı sinyali bir elektrik yolu ile sınırlandırır. Koaksiyel kablolarda dönüş kablosu olarak görev yapar. Ekstra fiziksel koruma sağlayabilir. Yakınındaki elektrik hatlarından kaynaklanan düşük frekanslı parazitleri filtreler.



Şekil 1.13. Kablo Ekranı (NAVAIR, 2009)

Makaron / Koruyucu (Sleeve / Tubing): Örgülü kalkanlara (Shield braided sleeve), örgülü tüplere (Braided sleeve), lehimli makaronlara (Solder sleeve), koruyucu makaronlara/izolasyon tüplerine (Protective sleeve) verilen genel isimdir.

Birleştirme (Splice): İki veya daha fazla iletkenin veya kablonun güçlü mekanik bağlantısıdır.

Soyma Aracı (Stripping Tool/Equipment): Kabloların soyulması için kullanılan cihaz ve el aletlerinin tamamıdır.

Parça Tel (Pigtail/Pigtail Wire): Ekran iletkenini sonlandırma veya elektrik-elektronik cihazın toprak bağlantısını yapma amaçlı kullanılan kısa bir parça izolasyonlu teldir.

Bant / Şerit (Tape): Çoğunlukla dar, dokuma, kesik şerit kumaş, kağıt, metal vb. sarılabilir ürünlerdir.

Terminal: Bir veya daha fazla iletken telin bara, bloklarına, kartlara mekaniksel ve elektriksel bağlantılarının yapılabilmesi için tasarlanan mekanik bağlantı elemanlarıdır. Yüzük (ring), dil (tongue), tırnak (spade), bayrak (flag), baston (hook), bıçak (blade), hızlı bağlantı (quick connect), dirsekli (off-set), flanşlı (flanged), faston, yüksük (cord end), çatal (fork) vb. çeşitlerinin izolasyonlu-izolasyonsuz opsiyonları bulunur.

Burgulu Çift (Twisted Pair): İki izolasyonlu telin birbirleri üzerine sarılmasıdır (Solak, V., Efendioğlu H., Çolak, B. ve Garip M., 2017; NAVAIR, 2019).

1.3. Havacılık Ürün, Cihaz Sertifikasyonu ve Kablolama İlişği

Havacılık sektörüne tasarlanan birçok donanım tasarımının sertifikaya edilmesi gerekmektedir. Ürünü veya sistemi sertifikaya edebilmek ve havacılık tasarım güvencesinin sağlandığını kanıtlamak adına, asgari isterlerin karşılandığının kanıtları ve yaşam döngüsü boyunca oluşan dokümanlar otoritelere sunulmalıdır. Ürün veya sistemler tasarım ve üretim organizasyonu onayı (DOA/ADOA ve POA) almış firmanın sorumluluğunda iki şekilde sertifikaya edilebilir: Birincisi, tasarlanacak ürünü veya sistemi takılacağı hava aracına kalifiye etmesiyle gerçekleşir (TC/STC). Bu sürecin dezavantajı ürün/sistemin farklı her hava aracı için yeniden sertifikaya edilmesi

gerekliliğidir. İkincisi ise tasarımın asgari ister ve gereksinimler bütününe; FAA TSO (Technical Standard Order), EASA ETSO (European Technical Standard Order) ve SHGM TTSU (Türk Teknik Standart Usulleri) uygun olduğunu kanıtlamaktır. Tasarlanması planlanan ürünün/sistemin otorite tarafından yayınlanmış asgari teknik gereksinim dokümanı yoksa Fonksiyonel Geliştirme Teminat Seviyesi (FDAL) uçak üreticisi ve dizayn organizasyonu tarafından belirlenerek ilgili FDAL'ın minimum gereksinimleri sağlanmalıdır. Bu bağlamda, tasarlanan her kablo takımının da teknik şartnamelere uygun olduğu gösterilmelidir. FDAL tasarımları uçuş için en kritik A seviyesinden uçuş için kritik olmayan E seviyesine kadar sıralar. Kablo takımları için FDAL'ın uygulanamaz olduğu bilinse de FDAL A'ya eşdeğer bir güven düzeyi sağladığı kabul edilir. Havacılık elektronik donanımların sertifikasyon, tasarım ve test sürecini kolay, anlaşılabilir ve sistematik şekilde yapılmasını sağlamak amacıyla Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA Inc.) tarafından DO-254 ve DO-160, emniyet gereksinimleri için ise Amerikan Otomotiv Mühendisleri (SAE) Birliği tarafından SAE ARP 4761 ve SAE ARP 4754A hazırlanmıştır. Sistemin veya ürünün FDAL'ına göre bu standartlar referans alınarak işletilen donanım tasarım süreçleri ve hazırlanan dokümantasyonları otoritelerin asgari standartlarını karşılamış olur (Radio Technical Commission for Aeronautics [RTCA], 2011; EASA, 2022; SHGM, 2022a; Yardım, 2022).

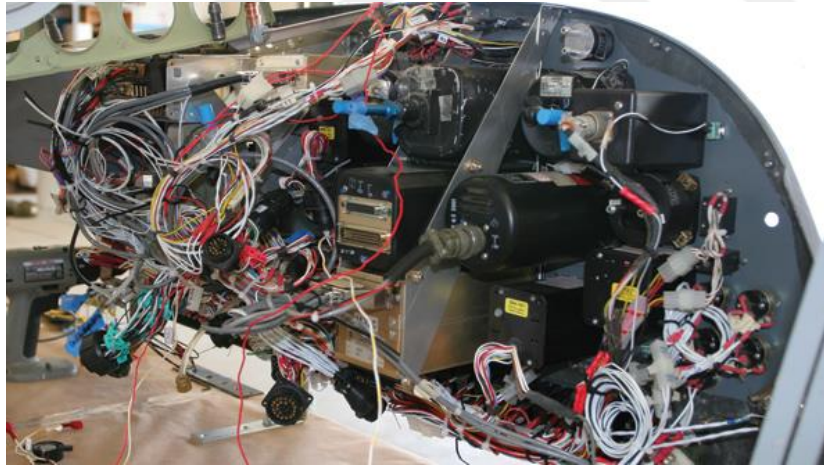
1.4. Elektriksel Kablolama Ara Bağlantı Sistemi (Electrical Wiring Interconneciton System (EWIS))

EWIS veri ve sinyaller dahil olmak üzere elektrik enerjisinin iletilmesi amacıyla uçağın herhangi bir alanına yerleştirilmiş, iki veya daha fazla bağlantı noktası bulunan, bağlantı elemanları dahil olmak üzere herhangi bir kablo, kablolama ekipmanı veya bunların kombinasyonu anlamına gelir. Ek olarak EWIS raflar, rackler, dağıtım kutuları, devre kartı panelleri, kablo entegrasyon birimleri ve ekipmanlar arası kablolalamalarını da kapsar (EASA, 2021; CFR, 2022).

14 CFR Part 25 ve CS-25 Subpart H'ye göre EWIS aşağıdakileri içerir:

- a. İzolasyonlu teller ve kablolar
- b. Baralar

- c. Röleler, kesiciler, anahtarlar, kontaktörler, terminal bloklar, devre kesiciler ve devre koruma cihazları dahil olmak üzere elektrikli cihazlardaki bağlantı noktası.
- d. Konnektörler ve Kesintisiz geçiş (feedthrough) konnektörleri.
- e. Konnektör aksesuarları
- f. Elektriksel topraklama, bonding cihazları ve ilgili bağlantıları
- g. Elektriksel ekler (Splice),
- h. Kablolara ek koruma sağlayan koruyucular (koruyucu kılıflar, bağlama (bonding) amacıyla elektriksel sonlandırması olan borular(conduit)), izolasyon malzemeleri
- i. Ekranlar, kalkanlar
- j. Kelepçeler ve kablo demeti yolunu vermek veya desteklemek için kullanılan bileşenler
- k. Kablo bağları
- l. Etiketler veya diğer tanımlama için kullanılan bileşenler
- m. Basınç contaları



Şekil 1.14. Hava Aracı Kablolaması (Kitplanes, 2022, <https://www.kitplanes.com/hiring-help-with-avionics>, Erişim Tarihi: 15.10.2022)

1.5. Kablo Tercihi

Kablo takımlarında kullanılacak en kritik alt malzemelerden biri olan kablolar, farklı parametreler dikkate alınarak tercih edilir. Özellikle hava araçlarında kullanılacak kabloların belirli test ve standartları karşılaması gerekmektedir. Buna ek olarak

sistem/ekipman gereksinimlerine göre mekaniksel ve elektriksel beklentileri sağlamalıdır.

Örneğin RF haberleşme için koaksiyel, enerji taşımak için standart kablolar, data taşımak için ethernet kabloları olarak sıralanabilir. Havacılıkta kabloların havacılık sertifikası/kalifiye ve ilgili sistem gereksinimlerine göre uygun mekanik mukavemette, voltaj düşüş seviyesini aşmayan, akım taşıma kapasitesini sağlayabilir, sistemle uyumlu (sinyal, güç, yansıma kaybı olmayan) vb. gereksinimleri karşılayabilir olmalıdır (FAA, 1998; SAE, 2019).

1.5.1. Kalifiye Kabloların Kullanılması

Otoriteler kabloların minimum asgari teknik gereksinimlerini yayınlamışlardır. Kablo üreticileri ise minimum teknik özellikleri sağlayacak kabloları tasarlamış ve kalifikasyon testlerinden geçirerek belirli standartlarda kablolar üretmişlerdir. Uçak üreticisinin de Kalifiye Parça Listesi'nde (QPL) yer alan kabloların tekrar kalifikasyon testlerine girmesi gerekmez.

Kablo takımı tasarımcıları QPL'de yer almayan kabloları kullanabilir ancak otorite ve uçak üreticisinin beklediği kalifikasyon testlerine sokarak tasarımında kullandığı kabloların kalifiye olduğunu kanıtlamalıdır. Bu kalifikasyon testleri: yangınlık, ısı salınımı, duman salınımı, zehirli gaz salınımları olarak sıralanır. Bu test gereksinimleri, FAR Part 25, Chapter 25.853 ve Appendix F, Part I, Part IV, Part V'te detaylı olarak anlatılmıştır (FAA, 1998; EASA, 2021; CFR, 2022).

Havacılık sertifikası olarak nitelendirebileceğimiz kablolardan bazıları ve hangi Kalifiye Parça Listesi'nde geçtiği Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kalifiye Kablo Örnekleri (Airbus, 2005; Boeing, 2008; NAVAIR, 2009; SAE, 2019)

Parça Numarası	Kaynak/Kullanılabilir Uçak Üreticisi
EN-2266-003	Airbus ESPM / AIRBUS
EN2267-007	Airbus ESPM / AIRBUS
MIL-W-7078	Boeing WSPM / BOEING
MIL-C-17	Boeing WSPM / BOEING
MIL-W-22759/1	SAE-AS-50881 / Army, NAVAIR
MIL-W-81044/6	SAE-AS-50881 /Army, NAVAIR

1.5.2. Kabloların Mekanik Mukavemeti

Teller, uçahta maruz kalabilecekleri tüm hareket, bükölme, titreşim, aşınma ve diğler mekanik tehlikelere dayanacak kadar sağlam olmalıdır. Genel olarak, iletken tel, yorulma kırılmasını en aza indirmek için uygun şekilde bükölmelidir. Ayrıca teller, uçağa kurulum sırasında maruz kalabilecekleri mekanik tehlikelere dayanacak kadar sağlam olmalıdır ve hava araçlarında çok ince kabloların kullanılması genellikle uygun değildir. 20 AWG'den küçük kabloların kullanılması durumunda, kabloların mekanik mukavemetine ve entegrasyonuna; titreşim, esneklik, sonlandırma gibi parametrelerde ekstra dikkat edilmelidir. 22 AWG ve daha büyük boyuttaki kablo iletkenlerinin bakır; 24 AWG ve daha küçük iletkenlerde yüksek mukavemetli bakır alaşım olması gerekir. Çeşitli durumlarda alüminyum iletkenler de tercih edilebilir. İletken tellerin üzeri ise uygun malzeme ile kaplanmalıdır (Genellikle nikel, kalay veya gümüş). Tel sayısı 19'dan az olan kablolar kullanılmamalıdır. Özellikle kabloların sürekli esnemesi gereken noktalarda minimum 37 tel sayısına sahip olması idealdir. Ek detaylar için Avrupa Havacılık ve Uzay Endüstrileri Birliği (AECMA) EN3197 ve SAE AS 50881 referans alınabilir (FAA, 1998; FAA, 2007; Aeronautical Radio Incorporated [ARINC], 2011; SAE, 2019; Prysman Group, 2022).

1.5.3. Güç Kabloları ve Enerji Transferi

Güç kabloları tercih edilirken gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesine dikkat edilmelidir. Hat sonu voltaj seviyesinin besleyeceği ekipmanın çalışma voltaj seviyesinde ve ilgili standartlara uygun olduğu doğrulanmalıdır.

1.5.3.1. Voltaj Düşümü ve Hat Direnci

Güç hatlarındaki gevşek bağlantılar, yükte kabul edilemez voltaj düşüşlerine ve zayıf bağlantıların artan direnci yoluyla yük akımı tarafından üretilen ısı güç hattında kablo yalıtımlarına/izolasyonlarına zarar verebilir. Ayrıca küçük boyutlu kabloların kullanılması direnci artıracığı dolayısıyla voltaj düşümüne sebep olur ve gerilim düşümü kabul edilebilir seviyenin üstünde kalabilir. Kabul edilebilir gerilim düşümü seviyeleri her sisteme, referans dokümana ve uçak üreticisine göre değişebilir. IPC D 620'ye göre kabul edilebilir voltaj düşümü <3.5% olmalıdır. Ancak uçağın farklı bölgelerinde ve sistemlerinde farklı voltaj gereksinimleri olabilir. Örneğin AC 43.13-1B'ye göre uçak yapısından geçen mevcut dönüş yolları için direnç ihmal edilebilir ve kullanılan ekipmanın toprağı ile besleyen bara arasında izin verilebilir voltaj

düşümü aşağıda verilen Çizelge 1.2, SAE AS 50881 ve MIL STD 704 F'e göre Çizelge 1.3.'teki gibi olmalıdır (FAA, 1998; DOD, 2004; IPC, 2015; SAE, 2019).

Çizelge 1.2. AC 43.13-1B'ye göre Kabul Edilebilir Voltaj Düşümü Seviyeleri

Nominal Sistem Gerilimi	Max. Kabul edilebilir Voltaj Düşümü (Sürekli Durumda)	Max. Kabul edilebilir Voltaj Düşümü (Aralıklı Durumda)
14	0.5	1
28	1	2
115	4	8
200	7	14

Çizelge 1.3. SAE AS 50881 ve MIL STD 704 F'e göre Kabul Edilebilir Voltaj Düşümü Seviyeleri

Nominal Sistem Gerilimi	Max. Kabul edilebilir Voltaj Düşümü
113-118 arası VAC	5
24-29 arası VDC	2
260-280 arası VDC	10

Gerilim düşümü olmasının sebebi hattın iç direncinden kaynaklanır. Basit Ohm kanununa göre voltaj düşümü Denklem 1.1'deki gibi hesaplanır.

$$V = I \times R \quad (1.1)$$

Denklem 1.1'de "I" kablodan geçen amper değeri, "R" ise kablonun iç hat direncidir. Genellikle kabloların gerilim düşümü için kablo boyu referans verilir. Ek olarak kablolar gidiş dönüş olarak hesaplanmalıdır. Buna göre tek faz veya DC devrelerde gerilim düşümü Denklem 1.2'deki, 3 fazlı devrelerde 1.3'deki gibi hesaplanır.

$$V_{drop \text{ single phase}} = 2 \times I \times R_{length} \times L \quad (1.2)$$

$$V_{drop \text{ three phase}} = \sqrt{3} \times I \times R_{length} \times L \quad (1.3)$$

Denklem 1.2 ve 1.3'de verilen R_{length} ohm/metre cinsinden spesifik bir uzunlukta kablonun hat direnci, L ise metre cinsinden tek yön kablo uzunluğudur (Moore, 1997; Calculator.net, 2022, <https://www.calculator.net/voltage-drop-calculator.html>, Erişim Tarihi: 15.10.2022).

R_{length} değeri genelde kablo üreticileri tarafından teknik veri sayfalarında paylaşılır. Örneğin, 1 km uzunluğundaki bazı M22759 standart kabloların R_{length} değeri Çizelge 1.4'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Bazı M22759 Standart Kabloların Uzunluğa Bağlı Hat Direnci (SAE, 2018)

M22759 P/N	AWG	İletken Materyal	R_{length} (ohm/km)
M22759/7-8	8	Gümüş kaplı bakır	2,16
M22759/7-24	24	Gümüş kaplı bakır	79,7
M22759/16-8	8	Kalay kaplı bakır	2,3
M22759/16-24	24	Kalay kaplı bakır	85,9

Voltaj düşümü ve hat direncini dolaylı etkileyen bir diğer parametre ise sıcaklıktır. Tabloda verilen voltaj düşümü ve hat direnci hesaplamaları iletken sıcaklığının yaklaşık 20 °C civarı olduğu varsayılarak yapılmıştır. İletken sıcaklığının düşmesi ile hat direnci azalır, artması ile hat direnci de artar (Munzur üniversitesi iletim hattı deneyi). Havacılık elektrik-elektronikinde konuyla ilgili AC 43.13-1B durumu aşağıdaki şekilde açıklamıştır.

Ortam sıcaklığının artması, güç kablolarının yüklenmesi vs. sebeplerle bakır iletkenli kabloların beklenen/hesaplanan iletken sıcaklığı (T_2) 20 °C'ı geçerse maksimum kabul edilebilir kablo uzunluğu (L_1) Denklem 1.4, alüminyum iletkenli kablolar için Denklem 1.5 kullanılarak L_2 uzunluğuna kısaltılmalıdır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışması öngörülen kabloların uygun laboratuvar koşullarında test yapılması önerilir. Deneylerde en kötü ortam koşulları, maksimum akım yükleme kombinasyonları uygulanmalıdır (FAA, 1998).

$$L_{2Cu} = \frac{(254,5 C)(L_1)}{((234,5 C)+(T_2))} \quad (1.4)$$

$$L_{2Al} = \frac{(258,1 C)(L_1)}{((238,1 C)+(T_2))} \quad (1.5)$$

1.5.3.2. Akım Taşıma Kapasitesi

Kablo çapları ve kablo yapısı akım taşıma kapasitesini doğrudan etkiler. Ancak akım taşıma kapasitesi sadece akımın geçtiği kabloya bağlı değildir. Havacılık standartları konuyla ilgili; demetteki kablo sayısı, ortam sıcaklığı, demetteki kabloların yüklenme oranı ve irtifa değişkenlerinin kablo akım taşıma kapasitesini değiştirdiğini aktarmıştır. SAE AS 50881 ve AC 43.13-1B'ye göre bir kablonun akım taşıma kapasitesi yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

- a. Seçilen/seçilecek kablonun max. çalışma sıcaklığından (T_{op}) max. ortam sıcaklığı (T_{amb}) çıkarılarak sıcaklık farkı (T_{dif}) bulunur (Bkz. Denklem 1.6).

$$T_{dif} = T_{op} - T_{amb} \quad (1.6)$$

- b. Bakır iletkenli kablolarla Şekil 1.15. veya Şekil 1.16. referans alınarak AWG ve sıcaklık farkına göre kablonun referans/serbest hava (Free air) akım taşıma kapasitesi (I_{capCu1}) bulunur. Alüminyum iletkenli kablolarla ise bu değerin 0,8 katı alınabilir ve işlem adımlarına bakır kabloda olduğu gibi devam edilir (Bkz. Denklem 1.7).

$$I_{capAl1} = I_{capCu1} \times 0,8 \quad (1.7)$$

- c. Kablonun bulunduğu demetteki kablo sayısı ve demet yüklenme yüzdesine göre, ulaşılan akım taşıma kapasitesi Şekil 1.17. Referans alınarak ulaşılan kablo demeti akım değer kaybı katsayısı ile çarpılır. Demet yüklenme yüzdesi; ilgili demetten geçen akımın (I_a), demetin max. akım taşıma (I_{capmax}) oranına yüzdesel ifadesidir (Bkz. Denklem 1.8 ve 1.9).

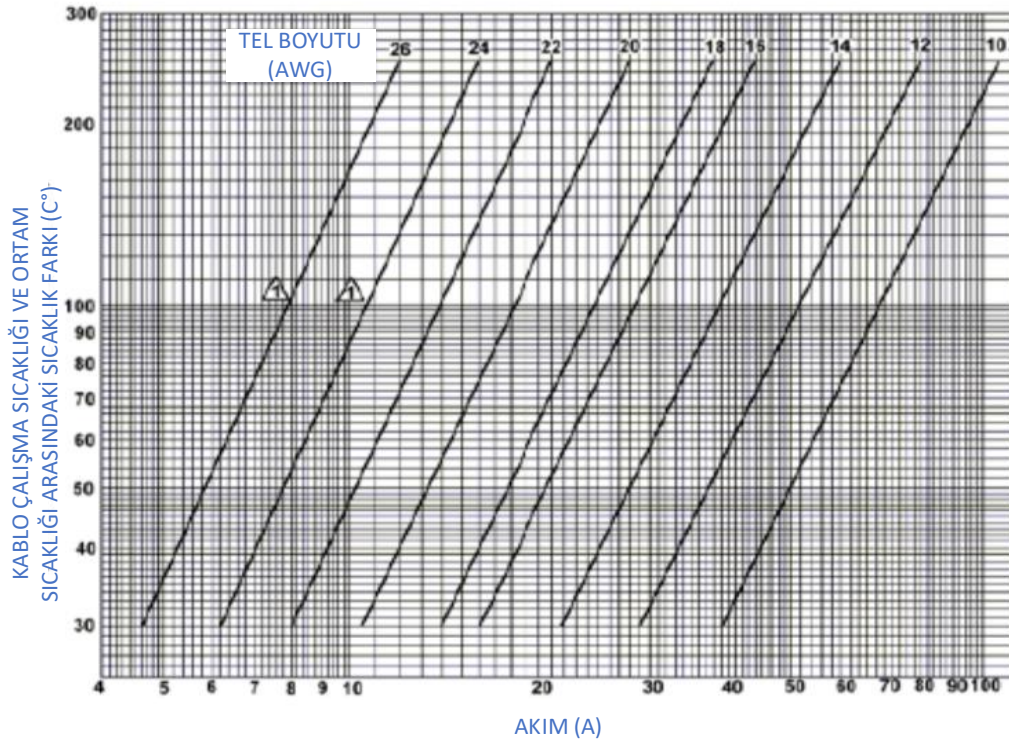
$$\text{Demet Yüklenme Yüzdesi: } 100 \times \frac{I_a}{I_{capmax}} \quad (1.8)$$

$$I_{capCu2} = I_{capCu1} \times \text{Kablo Demeti Akım Değer Kaybı Katsayısı} \quad (1.9)$$

- d. Ulaşılan yeni akım taşıma kapasitesi değeri (I_{capCu2}) kablonun kullanılacağı hava aracının max. ulaşabileceği irtifa ve Şekil 1.18. referans alınarak irtifa akım değer kaybı katsayısı ile çarpılır ve kablonun akım taşıma kapasitesine

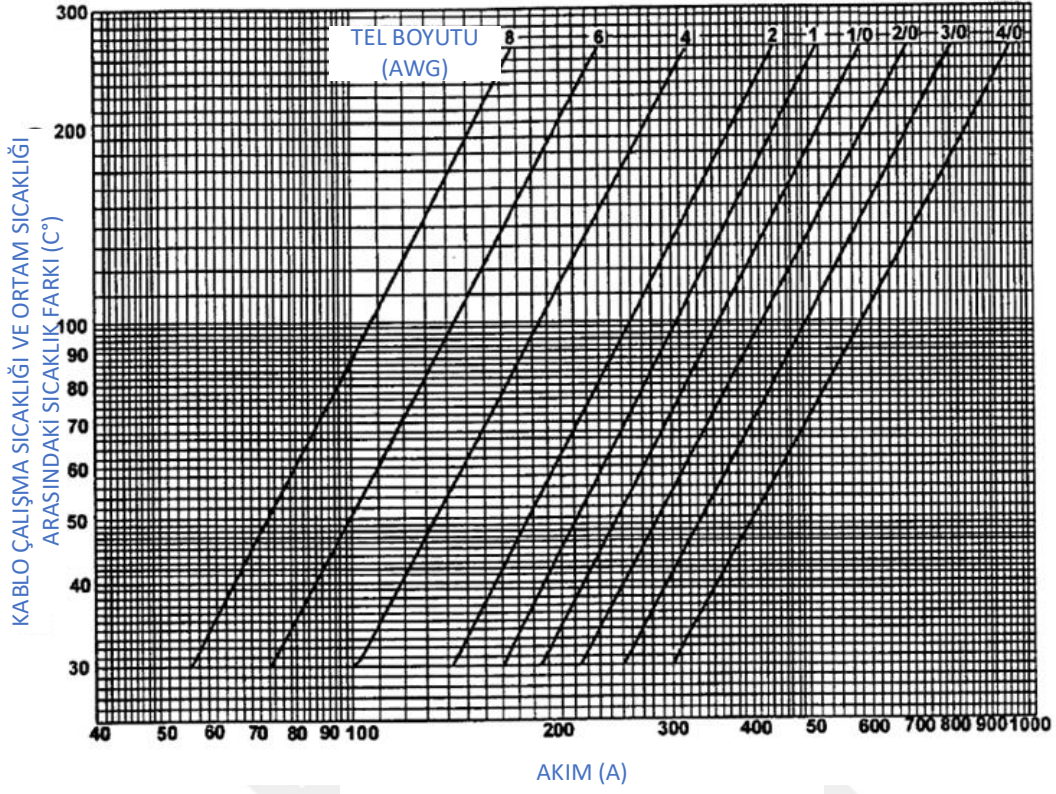
(I_{capCu}) ulaşılır (Bkz. Denklem 1.10) (FAA, 1998; Küçükaydın ve Arıkan, 2014; SAE, 2019).

$$I_{capCu} = I_{capCu2} \times \text{İrtifa Akım Değer Kaybı Katsayısı} \quad (1.10)$$

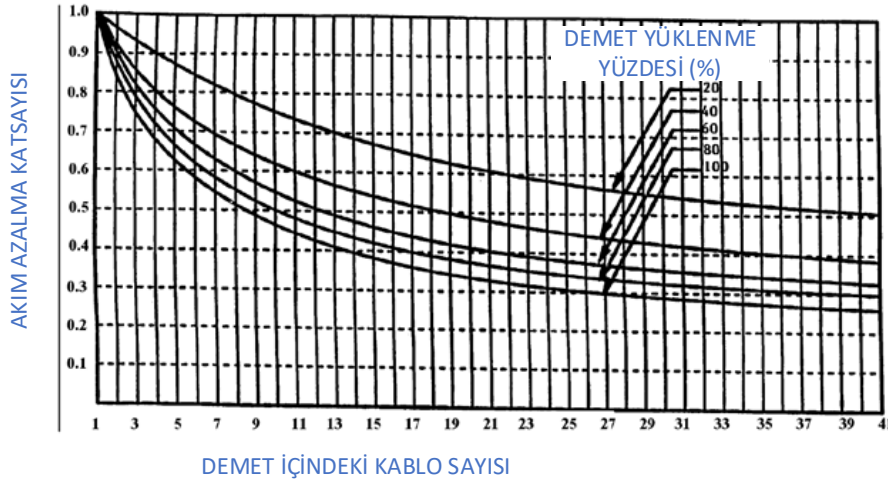


TEK DAMAR EKRANSIZ KABLOLAR İÇİN REFERANS ALINMAMALIDIR.

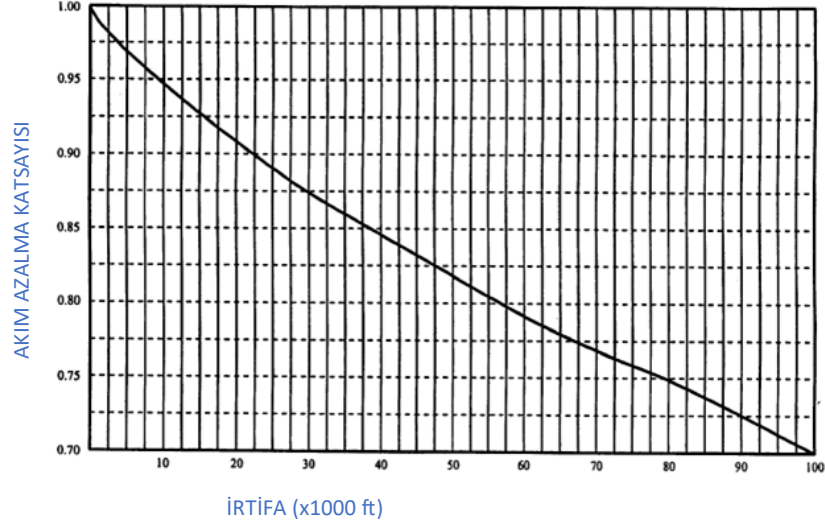
Şekil 1.15. 10-26 AWG Tek Bakır Kablo için Sıcaklık Akım Grafiği (FAA, 1998; SAE, 2019)



Şekil 1.16. 8-4/0 AWG Tek Bakır Kablo için Sıcaklık Akım (FAA, 1998; SAE, 2019)



Şekil 1.17. Demet Yüklenmesi ve Kablo Sayısına Göre Akım Değer Kaybı Katsayısı Grafiği (FAA, 1998; SAE, 2019)



Şekil 1.18. İrtifaya Göre Akım Değer Kaybı Katsayısı Grafiği (FAA, 1998; SAE, 2019)

1.5.4. Veri Taşıma-Haberleşme Kabloları

Elektronik haberleşme protokolleri ve veri iletimi için özel kablolar tercih edilmelidir. Bunlar: koaksiyel kablolar, fiber optik kablolar, ethernet kabloları ve burgulu çift kablolar olabilir (Bartnikas, 2000).

1.5.5. Bükülme Yarıçapı Hesabı

Telin veya kabloların hasar almadan bükülebildiği yarıçap değeridir. Bu değer farklı etkenlere göre değişmekte ve tasarım kılavuzları farklı hesaplama yöntemleri tariflemektedirler. Tasarımcılar minimum dönüş yarıçap değerini genellikle paylaşmalıdırlar. Bu sayede tasarım ve entegrasyon aşamasında oluşabilecek riskleri minimize edeceklerdir. Bazı kılavuzlar minimum bükülme yarıçapı gereksinim hesabını aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

SAE-AS-50881 tasarım kılavuzu aşağıdaki gibi açıklamıştır.

Koruyucu kılıf kullanılmayan, izolasyonlu tel grupları, kablo demetleri veya tekli kablo/tekli izolasyonlu tellerin minimum bükülme yarıçap değeri bulunduğu gruptaki en kalın kablonun dış çapının 10 katı kadar olması gerekmektedir. Eğer kablolarda/izolasyonlu tellerde ekran sonlandırma veya atlama kabloları/izolasyonlu telleri var ise bu kablo/izolasyonlu tellerin minimum bükülme yarıçapı ilgili kablonun/izolasyonlu telin 3 katı kadar olabilir. Koruyucu kılıf kullanılan kablo demetlerinde ise kablo demetinin dış çapının 6 katı kadar olması gerekmektedir.

Ancak, her ne koşulda olursa olsun minimum dönüş yarıçapı kablo demetinde bulunan en kalın kablonun dış çapının 10 katından küçük olamaz. Koaksiyel kablolar da ise minimum bükülme yarıçapı kablo karakteristiğini etkilemeden esnek koaksiyellerde kablo çapının 6 katından; yarı esnek koaksiyellerde 10 katından küçük olamaz. Bu gereksinimler kabloların nakliye, taşıma ve depolanması esnasında da geçerlidir.

ARINC 628 P5-2A'ya göre aşağıdaki şekilde açıklamıştır.

Standart izolasyonlu teller için minimum bükülme yarıçapı çapı, izolasyonlu telin çapının 6 katı kadar olması önerilir ancak asla 3 katından küçük olamaz. Koaksiyel, databus veya quadrax kablolar için minimum bükülme yarıçapı asla kablo çapının 10 katından küçük olamaz. Kompozit kablo takımlarında ise minimum bükülme yarıçapı, entegrasyonu en zor ve hassas olan kabloya göre belirlenmelidir. Topraklama örgüleri bu gereksinimleri karşılamak zorunda değildir.

IPC-D-620 ise metal iletkenli kablolar da Çizelge 1.5'in fiber optik kablolar da Çizelge 1.6'nın kullanılmasını önermiştir.

Çizelge 1.5. Metal İletkenliler için Dönüş Yarıçapları (IPC, 2015)

İletken/Kablo Tipi	Optimum Dönüş Yarıçapı (xDış Çap) <1>	Minimum Dönüş Yarıçapı (xDış Çap) <1>	Sabitlenme Noktası ile Dönüş Başlangıç Noktası Arasındaki Boşluk (xDış Çap) <1><2>
Çıplak veya Emaye Tel	3	2	2
Kategori 5 Ethernet	10	4	2
Koaksiyel, Esnek veya Sabitlenmiş	10	6	6
Koaksiyel, Katı veya Yarı Katı	3.5	2	6
Bileşen Bağlama Teli (Düz)	2	1	0.5 mm
Bileşen Bağlama Teli (Yuvarlak)	2	1	2
Düz Kablo, Ekranlı veya Ekransız	10	3	3
Kablo Takımı (8 AWG veya daha büyük ayrı iletkenler, koaksiyel veya fiber optik kablolar)	10	6	6
Kablo Takımı (10 AWG veya daha küçük ayrı iletkenler, koaksiyel veya fiber optik kablolar hariç)	10	3	3
Kablo Takımı (Poliimid (Kapton) izolasyonlu teller)	15	10	10
Ayrı izolasyonlu iletkenler	3	2	2
Ayrı izolasyonlu iletkenler, Kompozit (TK/TKT) İzolasyon (AS22759/80-/92)	10	6	6
Çok Damarlı Kablo (Ekransız)	10	3	3
Çok Damarlı Kablo (Ekranlı)	10	6	6
Poliimid (Kapton) izoleli- FN veya HN seviye MIL-W-81381/07-/22	15	10	10
Poliimid (Kapton) T seviye	15	10	10
Şerit Kablo (Ekranlı veya Ekransız)	10	3	3
Ekran veya Direnaj Teli	3	3	2
<1> Dış çap, telin/kablonun/kablo takımının izolasyon, ceket ve ekran dahil çapıdır. <2> Konnektör girişi veya çıkışındaki veya konnektör aksesuarları, gerginlik azaltıcıları, kablo bağları, kablo klipsleri, ayırım noktaları vb. ile dönüşün başladığı/bittiği nokta arasındaki mesafedir. (Dönüş yarıçapının dışından ölçülür.)			

Çizelge 1.6. Fiber Optik Kablolar için Dönüş Yarıçapları (IPC, 2015)

İletken/Kablo Tipi	Optimum Uzun Süreli Dönüş Yarıçapı (xDış Çap) <1>	Üretim Esnasında Kısa Süreli Minimum Dönüş Yarıçapı (xDış Çap) <1>	Sabitlenme Noktası ile Dönüş Başlangıç Noktası Arasındaki Boşluk (xDış Çap) <1><2>
Kablo, Tight-buffer	20	10	15
Kablo, Düz	15	10	15
Kablo, Hibrit	10	6	15
Kablo, Geniş Tüp	15	10	15
Kablo, Şerit veya Oluklu	15	10	15
Aynı Fiberler	15	10	<3>
Montaj (Yük altında)	30	20	Uygulanabilir Değil
<1> Dış çap, fiberin/kablonun/kablo takımının izolasyon, ceket ve ekran dahil çapıdır. <2> Konnektör girişi veya çıkışındaki veya konnektör aksesuarları, gerginlik azaltıcıları, kablo bağları, kablo klipsleri, ayırım noktaları vb. ile dönüşün başladığı/bittiği nokta arasındaki mesafedir. (Dönüş yarıçapının dışından ölçülür.) <3> 10 cm veya daha büyük yarıçaplı kıvrımların zayıflama üzerinde ihmal edilebilir etkileri vardır. 10 cm'den küçük yarıçaplı kıvrımlar, makro bükülmeye, optik sinyalin zayıflamasına ve saçılmasına neden olabilir.			

EWIS JOB AID 2.0 sunumunda ise termokupl kabloları hakkında: kablonun dış çapının 20 katı kadar olmasını önermiştir. Ek olarak bazı kablo üreticileri de teknik veri dokümanlarında minimum bükülme yarıçaplarını paylaşmaktadırlar (Prysmian Group, 2015; FAA, 2022, [https:// www.faa.gov/ training_testing/ training/ air_training_program/job_aids/media/ewis_job-aid_2.0_printable.pdf](https://www.faa.gov/training_testing/training/air_training_program/job_aids/media/ewis_job-aid_2.0_printable.pdf), Erişim Tarihi: 20.10.2022).

1.5.6. Genel Dış Çap (Overall Diameter) Hesabı

Kablo takımlarının dış çaplarını hesaplamak çeşitli entegrasyon noktalarında ve üzerlerine eklenebilecek alt malzemelerin tercihinde önemli hale gelmektedir. Özellikle uçak üreticileri dar bölgelerde kablo takımının dış çap ölçülerini sınırlandırılmasını isteyebilmektedirler.

Kablo üreticileri, kabloların dış çaplarını paylaşmaktadır. Ancak kabloların gruplanmasıyla oluşan ve farklı kablolar içeren kablo demetlerinin kablo dış çapının ön görülmesi için kesin bir hesaplama metodu bulunmamaktadır. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar neticesinde literatürde standart bir hesaplama metodu bulunmadığı anlaşılmıştır.

Sonuç olarak; net bir sonuç vermese de bazı kablo ve kablaj üreticilerinin paylaştığı hesaplama metodları ve kablaj tasarım yazılımları ile gerçeğe yakın dış çap hesapları yapılabilmektedir.

Dünyanın en büyük konnektör ve sensör üreticilerinden olan TE Connectivity bir konnektör arkılığı katalogunda kablo demeti dış çapı hesabı için Denklem 1.11 ve 1.12'yi kullanmıştır.

$$K.D.D.Ç = \text{Kablo Sayısı Katsayısı} \times \sqrt{n_1} \times d_1^2 + n_2 \times d_2^2 + n_3 \times d_3^2 + \dots n_n \times d_n^2 \quad (1.11)$$

$$\text{Genel Dış Çap} = K.D.D.Ç. + 2 \times \text{Ekran Kalınlığı} + 2 \times \text{Ceket Kalınlığı} \quad (1.12)$$

Çizelge 1.7. Kablo Sayısı Katsayısı

Demeteki Toplam Kablo Sayısı	1	2	3	4	5	6	7 ve Fazlası
Kablo Sayısı Katsayısı	1	1.415	1.242	1.205	1.208	1.225	1.15

Verilen formüllerde, K.D.D.Ç kablo demeti dış çapı, n kablo sayısı, d ilgili kablonun çapıdır (TE Connectivity, 2021, https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=2395756-1_how-to-select-backshell&DocType=DS&DocLang=EN, Erişim Tarihi: 15.10.2022; One Pull Wire, 2022, <https://onepullwire.com/news/5-steps-to-calculate-the-diameter-of-bundled-cable/#-lightbox-image>, Erişim Tarihi: 20.10.2022).

1.6. Konnektör Tercih

Yüzbinlerce çeşit konnektör vardır. Bu hususta kablo takımları tasarımcıları için dikkate alınması gereken gereksinimlere uygun konnektör tercih edilmesi önemlidir. Nihai tercihlerden önce üreticiler ile görüşülmesi de önerilmiştir. Yine kablolarda olduğu gibi orjinal ekipman üreticiler (OEM) standart konnektör P/N'leri paylaşabilmektedir. Sonradan modifiye (Retrofit) havacılık projelerinde uçakla bağlantısı olan bölgelerde uçak üreticisinin paylaştığı konnektör parça numaraları kullanılır. SAE AS 50881'e göre tercih edilen konnektörler MIL-STD-1353 standardına uygun olmalıdır.

Örnek olarak Boeing Standard Wiring Practice Manuelde paylaştığı bazı konnektör standartları aşağıda verilmiştir (Boeing, 2008; IPC, 2015).

Çizelge 1.8. Boeing Bazı Kalifiye Konnektörler (Boeing, 2008)

Parça Numarası	Konnektör Serisi	Tedarikçi	Konnektör Verisi	
			Tip	Referans
CN0966	MIL-C-26500	Cinch	Parça Numarası Yapısı	İlgili dokümanda bu sütunda konnektör verilerinin konumları paylaşılmıştır.
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	
CN0967	MIL-C-26500	Cinch	Parça Numarası Yapısı	
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	
D38999	MIL-C-38999 Seri 3	Kalifiye Parça Listesi	Parça Numarası Yapısı	
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	
ESC10	MIL-C-83723 Seri 3	Kalifiye Parça Listesi	Parça Numarası Yapısı	
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	
FPK	MIL-C-26500	Pyle-National	Parça Numarası Yapısı	
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	
M83723	MIL-C-83723 Seri 3	Kalifiye Parça Listesi	Parça Numarası Yapısı	
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	
MS3459	MIL-C-5015	Kalifiye Parça Listesi	Parça Numarası Yapısı	
			Bağlantı Konfigürasyonu	
			Polarizasyon	

Tasarımcılar konnektör tercihi yaparken aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmelidir. Bunlar;

- Enerjinin olduğu tarafta olan konnektörleri personel tehlikesini ve canlı hattın kısa devre olma riskini en aza indirmek amacıyla dişi seçilmelidir.

- Konnektörün sürekli taşıyabileceği max. akım ve gerilim seviyesi(Service Rating) bağlı olduğu sisteme uyumlu olmalıdır.
- Konnektör kontaklarının sayısı, tipi, kontak düzeni (Insert Arrangements), pin kuyrukları (PWB) vb. nitelikleri ihtiyaca cevap vermelidir. Örneğin 3 faz yıldız bağlantının taşınabilmesi için min. 5 kontaklı bir konnektör ihtiyacı vardır.
- Havacılık tasarımlarında aksi belirtilmedikçe lehimli kontaklı konnektörler yerine krimp tipi kontaklar tercih edilmelidir. Sökülebilir kontakların tercih edilmesi bakım yapılabilirlik açısından önem teşkil etmektedir.
- Konnektör kontaklarının barrel boyutları ile seçilen tellerin çapları uyumlu olmalıdır.
- Konnektörler çok fazla takıp çıkarılması planlanıyorsa eşleşme döngüsü (mating cycle) buna uygun tercih edilmelidir.
- Bazı uygulamalarda tasarımcıların olası ihtiyaçlar sebebi ile belirli oranda yedek kontak bırakması gerekebilir. Konnektör üzerindeki bu delikler için sızdırmazlık ihtiyacı var ise sealing pluglar veya kısa kapalı uç (close-end) teller ile boş kontaklar sıkılıp takılabilir. Genellikle konnektör üreticileri kullanılmayan tüm deliklerin kontakları ile doldurulması gerekliliğini belirtir. Ancak şok ve titreşimle ilgili isterler olduğunda doldurma gerekliliği ortadan kalkabilir.
- Konnektörler de diğer tüm alt parçalar gibi maksimum stress düşünülerek tercih edilmelidir. Özellikle ıslanma veya nem ihtimalinin olduğu koşullarda konnektörün su ve su buharına karşı yalıtımı sağlanmalıdır. Tam yalıtımın sağlanmadığı durumlarda back potting uygulaması yapılabilir.



Şekil 1.19. Konnektör Arkası Potalama Uygulaması

- Havacılık konnektör tercihi yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer çevresel koşullar ise: zehirli gaz salınımı, gaz yoğunluğu, yanıcılık, Toz, nem, irtifa, su, derinlik, sıcaklık, sıvı dayanımı, EMI/EMC, korozyon direnci, ağırlık, fiziksel boyut, şok ve titreşim (Örneğin, titreşim stresinin fazla olacağı noktalarda kilitli konnektörlerin kullanılması veya sonradan entegre edilebilir kilitleme mekanizmalarının uygulanması uygun olacaktır.)
- Ekipmanlar üzerinde yakın konumlandırılan konnektörler farklı olmalıdır. Aynı konnektör tercihi yapılıyorsa polarizasyonu farklı tercih edilerek olası karışıklıkların önüne geçilmelidir.

Konnektörün üretildiği malzeme ve kaplamaları yukarıda bahsedilen gerekliliklere göre seçilmelidir. Aşağıda bazı konnektör materyalleri ve özellikleri verilmiştir.

Alüminyum: Hafif olması sebebiyle genellikle havacılık sektöründe tercih edilir. İşlenmesi kolaydır.

Pirinç: Çok iyi darbe direnci ve mukavemeti vardır. Genellikle RF uygulamaları için kullanılan mükemmel iletkenliğe sahiptir. Diğer malzemelere oranla ağır olabilir.

Kompozit: Genellikle özel korozyon gereksinimlerinin geçerli olduğu yerlerde kullanılır ve genellikle hafif tasarımlar yapılabilir. Havacılık ve motor sporlarında yaygın olarak kullanılır. Farklı kompozitler farklı gereklilikleri yerine getirecek şekilde tasarlanabilir.

Titanyum: Yüksek dayanıma sahiptir ve aşınması zordur. Alüminyum ile karşılaştırıldığında işlenmesi zordur. Mukavemet-ağırlık oranı çok iyidir.

Paslanmaz Çelik: Yüksek dayanıma sahip, aşınması zor ve gelişmiş korozyon direnci vardır. Alüminyumdan çok daha ağırdır.

Kadmiyum: 75 °C'yi [167 °F] aşan sıcaklıklara ve azaltılmış atmosfer basıncına veya vakuma maruz kaldığında süblimleşme (buharlaşıma) yeteneğine sahiptir. Ortaya çıkan zehirli, ağır metal buharı ortamdaki canlıları olumsuz etkileyebilir veya ince, elektriksel olarak iletken bir katman olarak yüzeyler üzerinde yoğunlaşarak elektrik devrelerinin ve optik sistemlerin performansını etkileyebilir.

Nikel Alüminyum Bronz: Genellikle denizcilik uygulamalarında kullanılan iyi tuz

püskürtme ve korozyon direncine sahiptir. İkincil kaplamaya gerek yoktur ve serttir. Paslanmaz çelikten daha düşük sıcaklık kabiliyeti vardır (DOD, 2014; DOD, 2015; IPC, 2015; Amphenol, 2017).

Siyah Çinko Nikel: Mükemmel korozyon direncine sahiptir. Bu, konnektörün uzun süre dayanmasını ve paslanmayı önlemesini sağlar. Özellikle dış mekan veya nemli ortamlarda kullanılan konnektörler için ideal bir seçenektir. Siyah çinko nikel kaplama, çevresel standartlara uygun olabilir. Bazı kaplama işlemleri, tehlikeli kimyasallar içerebilirken, siyah çinko nikel kaplama çoğunlukla daha çevre dostu bir seçenektir.

Nikel: Konnektörlerin üretiminde kullanılan birçok materyal arasında popüler bir seçenektir. Korozyon direnci yüksek, iyi bir iletken, yüksek sıcaklık dayanımı, mukavemet ve sertliğe sahiptir.

1.7. Bazı Diğer Kablo Takımları Alt Malzemelerin Tercihi

Kablo takımları kablo ve konnektör haricinde birçok alt malzeme içermektedir. Bunlardan bazıları:

- Arkalık
- Koruyucu Kılıf
- Ekran (Shield)
- Etiket
- Lehimli Makaron (Solder Sleeve)
- Birleştirici (Butt Splice)
- Kablo bağı
- Boru (Conduit)

Havacılık sektöründe yine bu malzemelerin tercihi yapılırken kalifiye standart parçaların tercih edilmesi gerekmekte veya kalifiye edilmesi gerekmektedir.

1.7.1. Arkalık Tercihi

Arkalık bir konnektör aksesuarıdır ve konnektör aksesuarları EWIS tanımına dahildir. Arkalık tercihinde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Arkalık boyutu ve standardı konnektörle uyumlu olmalıdır.
- Ekran sonlandırma yöntemine uygun olmalıdır.
- Materyal ve kaplaması çevresel koşullara uyumlu olmalıdır.
- Arkalığa girecek kablo çapı aralık giriş boyutu (backshell entry size) ile uyumlu olmalıdır.
- Arkalık kablo çıkış açısı ve fiziksel boyutu bulunduğu ortama uygun tercih edilmelidir.
- Kablo takımı tasarımları yapılırken aralık kelepçeleri (backshell clamp) veya kelepçeler altında kablo eki uygulaması vs. yapılmamalıdır.
- Konnektör yapısı kablo gerginliğini önleyecek fiziksel yapıda değilse konnektör arkasındaki kablo gerginliği alacak aralık tercih edilmesi gerekmektedir. MIL-HDBK-522B'ye göre sık kullanılan yuvarlak konnektörler için M85049 standardı veya muadili aralıklar kullanılabileceğini belirtmiştir. (FAA, 2007; DOD, 2018; EASA, 2021; TE Connectivity, 2021, https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=2395756-1_how-to-select-backshell&DocType=DS&DocLang=EN, Erişim Tarihi: 15.10.2022; CFR, 2022)

1.7.2. Ekran ve Ekran Sonlandırma Tercihi

Kablo takımları üreticiden ekranlı veya sonradan ekranlanabilir şekilde tasarlanabilmektedir. Bazı standart kablolar kendinden ekranlıdır ve EMI/EMC gerekliliklerini de sağlıyorsa ekstra ekrana ihtiyaç duymayacaklardır. Kullanılan ekranların veya kablo ekranlarının farklı parametrelere göre değişen ekranlama etkinliği değerleri vardır. Elektriksel olarak bir kabloda ekranlama ihtiyacı olup olmadığı IPC-D-620'ye göre aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Çizelge 1.9. Devre Kategorilerine Göre Ekranlama Gereksinimleri (IPC, 2015)

Devre Karakteri	Sinyal Seviyesi Volt (V) veya Amper (A)	Kategori (1)	Ekran
Doğru Akım (DC)	< 10 V ve < 5 A	IIIa	Diğer kategoridekilerden ayrılarak ekranlanmalıdır.
	< 10 V ve > 5 A	Ib	Yok
	≥ 10 V	Ia	Yok
Alternatif Akım (AC) < 0.1 MHz	< 5 V rms	IIIc	Diğer kategoridekilerden ayrılarak ekranlanmalıdır.
	5 V 25 V rms arası	Iic	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	> 25 V rms	Ic	Yok
Alternatif Akım (AC) 0.1 MHz ve 1 MHz Aralığı	< 1 V rms	IIIb	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	1 V 10 V rms arası	Iid	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	< 10 V rms	Vc	Koaksiyel veya dengelenmiş ekranlı kablolar kullanılmalıdır.
Alternatif Akım (AC) > 1 MHz	Hepsi	Va	Dalga klavuzu, koaksiyel veya dengelenmiş ekranlı kablolar kullanılmalıdır.
Dalga yükselme veya düşme süresi > 1 µs	< 5 V tepe	IIIe	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	5 V 25 V tepe arası	Iia	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	> 25 V tepe	Id	Yok
Dalga yükselme veya düşme süresi < 1 µs	< 1 V tepe	IIId	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	1 V 10 V tepe arası	Iib	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
	> 10 V tepe	Vb	Koaksiyel veya dengelenmiş ekranlı kablolar kullanılmalıdır.
Elektro patlayıcı (EED) Aktif Cihaz Köprüleme Teli (BWAD)	Hepsi	IV	Her ikili burğu çift ekranlanmalıdır.
(1) Kategori detayları için ilgili standarda bakınız.			

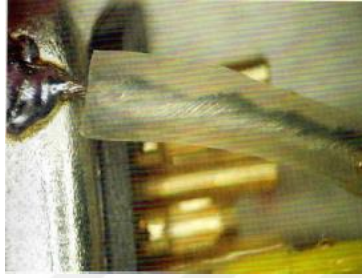
Ekranlar aksi bir durum olmadıkça iki uçta da topraklanmalıdırlar. Ancak isteğe göre 50 KHz'in altında çalışacak devrelerin ekranları tek taraflı da sonlandırılabilir. Ekran sonlandırmaya uygun tasarlanan konnektör aksesuarlarına kablo ekranları sonlandırılabilir. Fakat harici bir şey bağlanmamalıdır. Ayrıca ekran sonlandırmaları ve bağlantıları olağanca konnektöre yakın bölgelerde yapılmalıdır. Ekran sonlandırması için kullanılacak bağlantı elemanları MIL-S-83519'da belirtilmiştir (SAE, 2019).

Farklı ekran sonlandırma metotları bulunmaktadır. Tercih edilecek ekran sonlandırma metodu arkalık/konnektör tercihi yapılırken belirlenmelidir ve sonlandırmaya uygun arkalık/konnektör tercih edilmelidir. Ekran sonlandırma

metodu direkt olarak ekranlama etkinliğine etki etmektedir (Bradley, A. ve Hare, R., 2009; IPC, 2020).

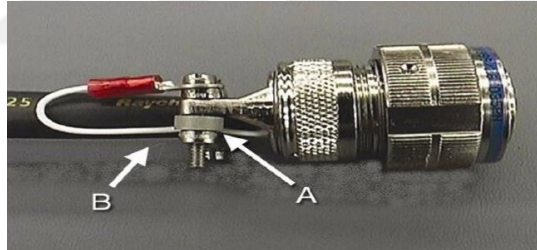
Çok farklı ekran sonlandırma konfigürasyonu vardır. Bunlardan sık kullanılan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Ekranın konnektöre lehimlenmesi



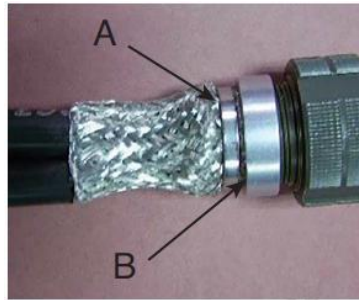
Şekil 1.20. Ekranın Konnektöre Lehimlenmesi (IPC, 2020)

- Ekran atlama kablosu-konnektör/arkalık şasi bağlantısı



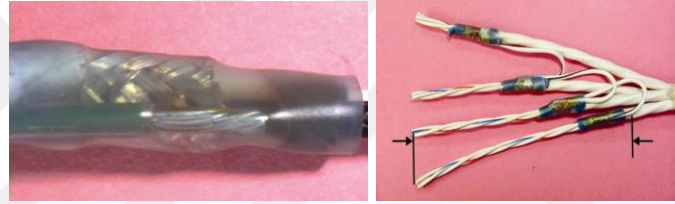
Şekil 1.21. Ekranın Konnektöre Pabuç ile Bağlantısı (IPC, 2020)

- Ekranın direkt şasiye krimplenmesi

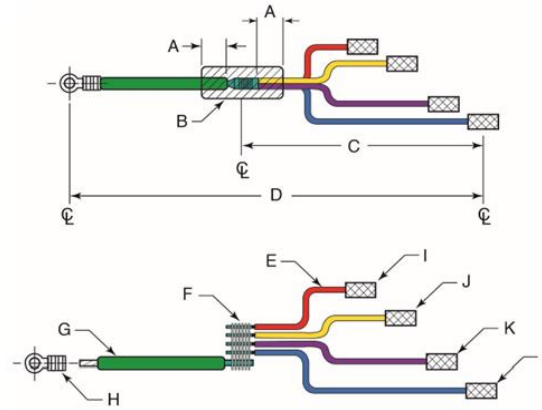


Şekil 1.22. Ekranın Şasiye Krimplenmesi (IPC, 2020)

Ekran sonlandırmak için ekranlara atlama kablosu bağlanması gerekebilmektedir. Bu noktada hazır kablolu/ekranlı lehimli makaronlar (Solder sleeve), ekran birleştiriciler (shield splice) veya atlama telleri kullanılabilir. Birkaç kablonun bulunduğu kablo demetlerinde papatya zinciri (daisy chain) yapısı da sık kullanılan bir metottur. Ancak papatya zinciri tavsiye edilmez. Herhangi bir noktada yaşanabilecek hatada tüm kabloların ekran sonlandırmaları kopabilir. Papatya zinciri yerine Şekil 1.24'te gösterildiği gibi her kablo ekranını uzatmak daha güvenilir bir uygulama olacaktır. Papatya zinciri veya birkaç kablonun ekran atlama kablosu yapılacaksa kullanılan lehimli makaronlar (Solder sleeve) veya ekran birleştiriciler (Shield splice) belirli aralıklarla atılmalıdır (Bkz. Şekil 1.24). Uzatılan kablonun ucuna yüzük (Ring) terminal, şasi kontağı, şasi lehimli vs. gibi metotlar uygulanarak ekran sonlandırma işlemi tamamlanabilir veya uzatılan ekran konnektöre/arkalığa krimplenebilir (IPC, 2015; IPC, 2020).



Şekil 1.23. Ekranın Papatya Zinciriyle Sonlandırılması (IPC, 2020)



- A. 1 Kablo Dış Çapı (min.)
- B. Lehimli veya Daralan Makaron
- C. 100 mm max.
- D. 190 mm max.
- E. Ekran İletkeni
- F. Ekran Birleştirici
- G. Bağlama Teli (Bonding)
- H. Ekran 1
- I. Ekran 2
- J. Ekran 3
- K. Ekran 4
- L. Ekran 4

Şekil 1.24. Grup Kabloların Ekranlanması (IPC, 2015)

1.7.3. Yalıtkan Koruyucu Tercihi

Kablo takımları iki şekilde sınıflandırılabilir: Açık(open) ve korunmuş(protected). Korunmuş olarak nitelendirilen kablo takımları üzerinde ekstra bir koruyucu bulundurulur. Havacılıkta kolay bakım yapılabilirlik önceliği sebebiyle olağanca açık kablolar tercih edilmesi uygun olacaktır. Ancak çevresel koşulların gerektirdiği noktalarda ekstra korumaya ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, iniş takımlarında bulunan veya çevresinde/tekerlek yuvasında konumlanmış kablolarda boru (conduit) veya muadil başka bir korunma sağlanması şarttır. Yapısala veya herhangi yüzeye temas eden noktalarda iletken üzerinde en az iki izolasyon malzemesinin olması gerekmektedir. Kablo kelepçeleri (Cable clamp) ile kablo arasında izolasyon bantları (Insulation Tape), kendinden izolasyonlu terminaller hariç birleştirici (Splice) ve terminaller izolasyonlu koruyucular (Insulation Sleeving) ile korunmalıdır (IPC, 2015, SAE, 2019).

Koruyucu tercih edilirken hava aracında kullanılacağı alan kritiktir. Maruz kalacağı şartlara ve uygulanacağı kablo demetine en uygun koruyucu tercih edilmelidir. Tercih edilecek koruyucunun dış çapı kablo demetinin dış çapıyla uygun olmalıdır. Hava araçlarında sıkça kullanılan yalıtkan koruyucular aşağıdaki gibidir.

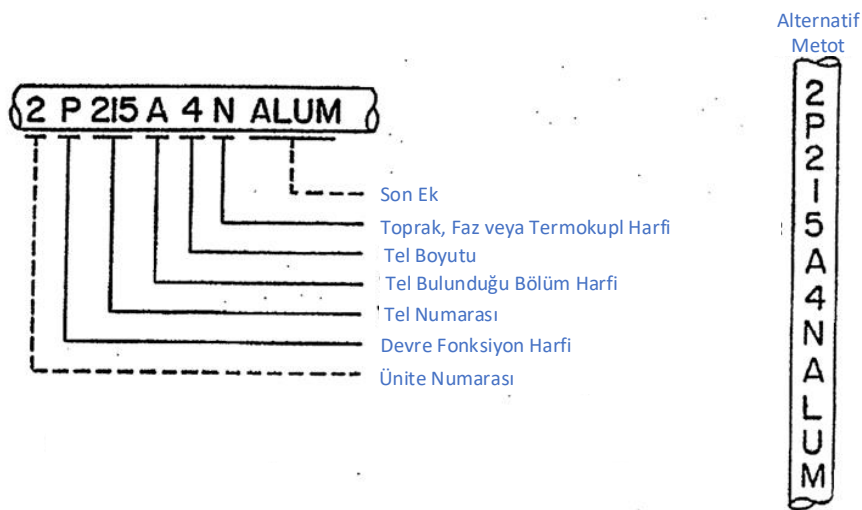
- Isıyla Daralan Makaron (Heat Shrinkable Tubing)
- Sprial Ciltleme (Spiral Binding)
- Örgülü Makaron (Braided Sleeving)
- Kendinden Kapanabilir Örgülü Makaron (Self Closing Braided Sleeving)
- Boru (Conduit) (HellermannTyton, 2022, Product Catalogue,

https://www.hellermanntyton.com/binaries/content/assets/downloads/com/product_catalogue_2022-2023/ht_product_catalogue_2022-2023_com.pdf Erişim Tarihi: 22.10.2022)

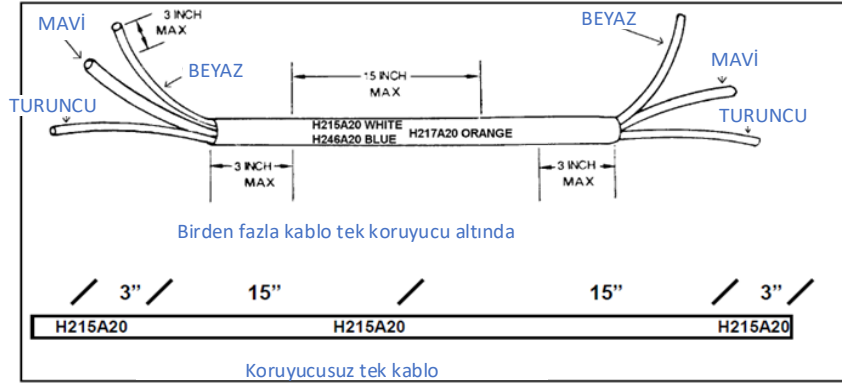
1.7.4. Etiket ve Markalama Tercihi

Hava araçlarında kullanılan her konnektör, kablo ve izolasyonlu tel markalanmalıdır. Ayrıca her kablo ve izolasyonlu telin bir tanımlama kodu (identification code) olmalı ve bu kodun markalanması gerekmektedir. Tanımlama kodları sayesinde herhangi kablonun üzerindeki kodu okuyarak kablonun uçlarının nereden nereye bağlandığı kolaylıkla anlaşılabilir. Ancak burada kullanılacak yöntem ısıyla lazer markalama olmamalıdır. Hava araçlarında en uygun kablo/izolasyonlu tel tanımlama

markalama yöntemi UV lazer markalamadır. Dolayısıyla tercih edilen kabloların da izolasyon malzemesinin UV lazer markalamaya uyumlu olması beklenmektedir. UV lazer markalamaya uyumlu olmayan kablolarda ısıyla daralan etiketler tercih edilebilir. Tanımlama kodları soldan sağa yatay veya yukarıdan aşağı dikey olarak okunacak şekilde yazdırılacaktır. Tanımlama kodları kabloya boydan boya yazılır ve iki tanımlama kodu arasındaki mesafenin UV lazer markalama için 7,62 cm (3 inch)'den ısıyla daralan etikette 91,44 cm (3 ft)'den küçük olmaması beklenir. Konuyla ilgili regülasyon otoriteleri, markalamanın max. 46 cm olması gerektiğini belirtmiştir. Kablo tanımlamalarının haricinde kısa kablo takımlarının ortasına, uzun kablo takımlarında her konnektör arkasına veya tercihe göre farklı noktalara kablonun stok numarası, kablo takımı ismi ve takip edilebilirlik açısından parti/üretim ve üretici numarası gibi bilgiler yazılır. Ayrıca aynı renk kabloların sonlandırıldığı konnektörlerde ise renkli makaronlar veya muadili bir uygulama ile markalama yapılması bakım yapılabilirlik açısından kolaylık sağlayacaktır. Konnektörler de kolay bir şekilde takılabilmesi açısından tanımlanmalıdırlar. Konnektöre max. 15,24 cm (6 inch) uzaklıkta, kablo izolasyonuna zarar vermeyecek, metalik olmayan bir etiket ile markalanmalıdırlar. Ek olarak konnektör takılı olmayan ekipman veya yapısal üzerinde bulunan receptacle konnektörlerin fonksiyonu anlaşılır şekilde yapısal yazılmalıdır. Az hareketli olan konnektörler “J” ve hareketli konnektörler “P” ile isimlendirilir (The Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 1975; DOD, 1979; SAE, 2019; EASA, 2021).



Şekil 1.25. Kablo Lazer Markalaması (SAE, 2019)



Şekil 1.26. Kablo Lazer Markalama Mesafeleri (FAA, 1998)

1.8. Havacılık Sistem ve Kablolama Teknik Dokümantasyonu

Herhangi sektörde herhangi sistemden beklendiği gibi havacılık sistemlerinde de çok çeşitli sebeplerden dolayı birçok farklı teknik dokümantasyonun yapılması beklenmektedir. Teknik dokümantasyon beklentisi sistemden sisteme göre farklılık gösterebilir. Örnek olması açısından IFE (Uçak içi eğlence) sistemlerinde klavuz olarak kullanılan ARINC 628P4A-3 “Cabin Management and Entertainment System Cabin Disturbation System Daisy Chain” dokümanında aşağıdaki teknik dokümantasyonun beklendiğini belirtmiştir.

- Elektriksel Ekipmanlar (Installed Electrical Equipment)
- Elektriksel Diyagramlar ve Şematiği (Electrical Diagrams and Schematics)
- İlgili Ekipmanlar ve Kablo Listeleri (Associated Equipment and Wire List Data)
- Kablo Demeti Montaj ve Entegrasyon Çizimleri (Wire Bundle Assembly and Installation Drawings) (ARINC, 2005)

1.8.1. Elektriksel Ekipmanlar (Installed Electrical Equipment)

Elektrikli tüm ekipmanlar için aşağıdaki bilgilerin tanımlandığı doküman sistem mühendisliği tarafından yayınlanmalıdır.

- Ekipman alanları ve referans tanımlama markalamaları
- Ekipman parça numaraları
- Üretici isimleri ve Ticari-Devlet (CAGE) kodu
- Nominal giriş voltajı ve frekansı

- Nominal giriş geriliminde maksimum kararlı durum akımı
- Maksimum çekme veya başlatma ani akımı ve süresi
- Değişken akım talebi olan yükler için ortalama RMS akım ihtiyacı
- Açık-kapalı görev döngüsü ve oranı
- AC yükler için güç faktörü
- Özel elektriksel gereksinimler
- ESD'ye duyarlı cihazlar (ARINC, 2005)

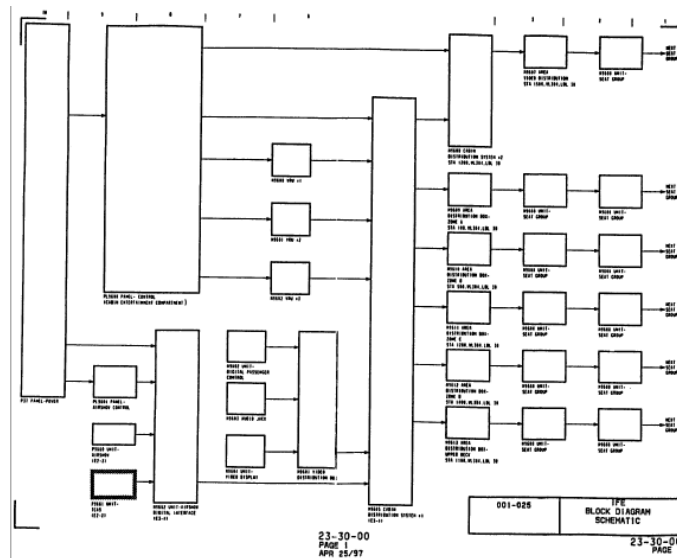
1.8.2. Elektriksel Diyagramlar ve Şematiği

Elektriksel diagramlar ve şemalar ATA Spesifikasyonları 100 formatı ve içerik gereksinimlerine uygun olarak hazırlanmalıdır. Örneğin uçak içi eğlence sistemleri ATA 23 spesifikasyonlarına uygun olarak hazırlanmalıdır. (ARINC, 2005) (Web Kaynak, 2022, https://itlims-zsis.meil.pw.edu.pl/pomoce/ESL/2016/ATA_Chapters.pdf, Erişim Tarihi: 27.10.2022)

1.8.2.1. Sistem Diyagramları ve Şematikleri

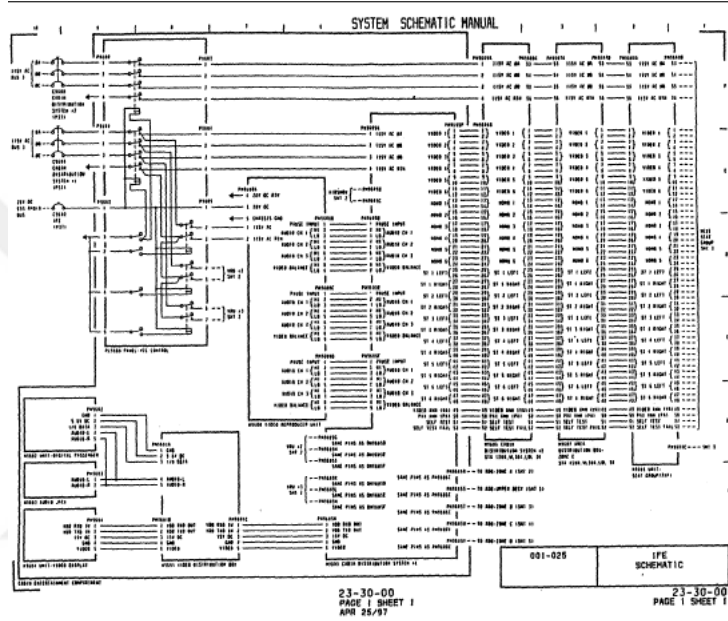
Tüm sistem veya alt sistemler için sistem şematik diyagramları sağlanmalıdır. Şemalar tüm giriş ve çıkışları (mekanik, hava, akışkan, elektrik vb.) göstermelidir. Karmaşık sistemler ve alt sistemler ve bunların ara bağlantıları, aşağıda belirtildiği gibi birden fazla şematik seviye gerektirebilir.

- Sistem Blok Diyagramı: Kapsamlı ancak derinliği azdır.



Şekil 1.27. Örnek Sistem Blok Diyagramı (ARINC, 2005)

- Sistem Şematığı: Tüm bileşenleri, tüm geçerli kabloları, sistemler veya alt sistemler arasındaki tüm işlevsel arayüzleri gösterir. Hava taşıtı bakımı için yeterli ayrıntıyı verir. Sistem Şeması, minimum tüm elektrik devreleri (hat içi/geçiş konnektörler hariç), tüm ekipman tanımlayıcı numaraları ve ilgili terminolojiyi, pin numaraları ve ilgili sinyalleri ve basitleştirilmiş ekipman içlerini vermelidir (ARINC, 2005).



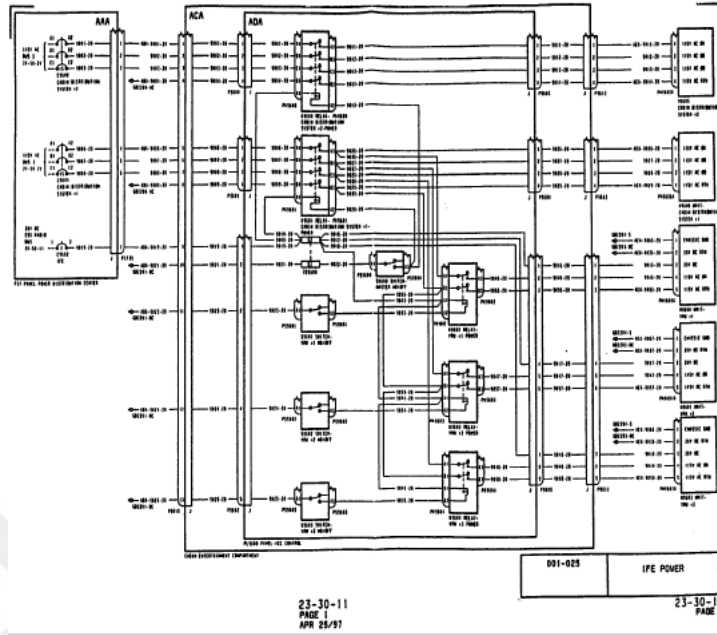
Şekil 1.28. Örnek Sistem Şematığı (ARINC, 2005)

1.8.2.2. Bağlantı Diyagramları (Wiring Diagrams)

Tüm tedarikçi sistemlerinin veya alt sistemler dahil tüm sistemin kablolama şemaları sağlanmalıdır. Bağlantı şeması formatı, ATA Spesifikasyonu 100'ün gereksinimleriyle tutarlı olmalı ve aşağıdaki bilgileri içermelidir.

- Ekipman içi konnektörler arası ve bunlara karşılık gelen pin numaraları arasındakiler dahil tüm kablo segmentleri
- Tüm kablo demeti ve kablo tanımlama numaraları veya renk kodları
- Tel ölçüleri (AWG)
- Tüm ekipman ve tanımlayıcı isimlendirmeleri
- Ayır ayrı tüm tel ve kablolar

- ATA numarası ve sayfa numarasına göre diğer kablolama şemalarına bağlanan tüm çapraz referanslar (ARINC, 2005)



Şekil 1.29. Örnek Sistem Şematiği 2 (ARINC, 2005)

1.8.3. Ekipman ve Kablo Listeleri (Equipments and Wire List Data)

Kabloların değiştirilmesi ve/veya onarımı, normalde sistem şemalarında ve kablo şemalarında gösterilmeyen ilgili bilgileri içermesi gereken tablolar, listeler ve çizelgeler kullanılarak desteklenmelidir. Bunlar:

- Elektrik-elektronik ekipman listesi
- Kablo Listesi (Wire List)
- Kablolama Listesi (Wire Hookup List) (ARINC, 2005)

Equip.	Part	STK.NBR.	Part Description	Equip Location	Diagram	EFF
C9600	2TC6-15MOD		CB-Cabin Distribution System #2	Panel P37	23-30-11	001-025
C9601	2TC6-15MOD		CB-Cabin Distribution System #1	Panel P37	23-30-11	001-025
C9602	2TC6-3MOD		CB-IFE	Panel P37	23-30-11	001-025
Customer: Equipment List				Rev Date: Page: 1		

Şekil 1.30. Örnek Ekipman Listesi (ARINC, 2005)

Wire Ident	GA	TYP	Length	Diagram	To Equip.	Pin	From Equip.	Pin	EFF
AAA-9001	20	VC	002.00	23-30-11	C9600.	A2	P3735	1	001-025
AAA-9002	20	VC	002.00	23-30-11	C9600.	B2	P3735	2	001-025
Customer: Wire List					Rev Date: Page: 1				

Şekil 1.31. Örnek Kablo Listesi (Wire List) (ARINC, 2005)

From Item	Pin	Wire Ident	Diagram	To Item	Pin	EFF
C9600	A2	AAA-9001-20	23-30-11	P3735	1	001-025
	B2	AAA-9002-20	23-30-11	P3735	2	001-025
Customer: Hook-Up List			Rev Date: Page: 1			

Şekil 1.32. Örnek Kablolama Listesi (Wire Hookup List) (ARINC, 2005)

1.8.4. Kablo Demeti Montaj ve Entegrasyon Çizimleri (Wire Bundle Assembly and Installation Drawings)

Kablo demeti montaj ve enstalasyon çizimleri ile kablo takımlarının hava aracına kurulumunu kolaylaştırmak için yeterli ayrıntı sağlanarak hazırlanan dokümanlardır (ARINC, 2005).

1.8.4.1. Kablo Takımı İmalat Çizimleri

Her bir kablo takımının imalat çizimleri hazırlanmalıdır. İmalat çizimleri her kablo takımının yeniden üretilebilir olabilmesi veya onarım yapılabilir olmasını desteklemek için yeterli ayrıntıyı sağlamalıdır. İmalat çizimleri hazırlanırken içeriğiyle ilgili IPC-D-620 bölüm 19 ve ARINC 628P4A-3 bölüm 8.4.1. dokümanları referans alınabilir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Tel ve kablonun fiziksel özellikleri
- Parça listesi
- Uygulama notları
- Tool listesi
- Özel taşıma depolama gereksinimleri
- Yanabilirlik veya yangınlık testleri gereksinimleri
- Kritik sınırlı yaşam gereksinimleri

- Ekran ve ekran sonlandırma yöntemi
- Kablo boyları
- Konnektör-Ekipman isimlendirmeleri
- Bakım süresi
- Ölçeklendirme (1/1 oranında yapılan çizimler ile kablay tahtaları vs. kullanılarak seri üretimde çeşitli kolaylıklar sağlanmaktadır.)
- Toleranslar (ARINC, 2005; IPC, 2015).

1.8.4.2. Kablo Takımı Montaj Dokümanı

Üretilmiş kablo takımlarının ilgili entegrasyon alanında kolaylıkla montajlanabilmesi amacıyla hazırlanır. Bu doküman ile ilgili ekipmanların, konnektörlerin, topraklama-bonding pointlerin, kablo takımı parça numaralarının, kelepçe ve kablo hattı istasyon numaralarının paylaşılması gerekir (ARINC, 2005).

1.9. Kablo Takımları Üretimi

Hava araçları kablo takımlarının üretimi ve entegrasyonu aşağıdakileri sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

- Maksimum güvenilirlik,
- Sistemler arasında minimum parazit ve bağlantı,
- Muayene ve bakım için erişilebilirlik,
- Oluşabilecek hasardan uzak olması (SAE, 2019).

Dünyaca, kablo takım üretimleri üzerine en fazla referans alınan kaynak IPC/WHMA-A-620'dir. IPC ve WHMA kablo takım tasarım ve üretimlerini kritiklik seviyelerine göre 3 sınıfa ayırmışlardır: Sınıf 1 genel elektronik ürünler, sınıf 2 özel hizmet elektronik ürünler, sınıf 3 yüksek performanslı-zorlu çevre koşulları dayanımına sahip elektronik ürünlerdir.

Sivil havacılık uygulamalarında, sistemin uçuş güvenirliliğine göre önem düzeyi ve kablo takımının maruz kalacağı çevresel koşullara bağlı olarak uçak üreticisi veya alt sistem tasarımcıları Sınıf 2 veya Sınıf 3, askeri ve askeri havacılık uygulamalarında ise sadece Sınıf 3 üretimlerin yapılmasını tercih etmektedir (IPC, 2015).

Şekil 1.33. IPC ve WHMA Logoları

Bazı kablo takımı üretim aşamaları aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

- Kablo ve tellerin uçlarının açılması: Kablo ve teller kontağına veya bağlantı yapısına uygun mesafeden canlı uçlara zarar vermeden izolasyonun soyulmasıdır.
- Tel hasarı kontrolü ve uç kesimi için Çizelge 1.10 referans alınabilir.

Çizelge 1.10. Kabul Edilebilir Tel Hasarı (IPC, 2020)

Tel Sayısı	Sınıf 1, 2 ürünlerde en fazla çizik çentik kopuk tel sayısı	Sınıf 3 krimpili bağlantılarda görülebilecek en fazla çizik, çentik, kopuk tel sayısı	Sınıf 3 lehimli bağlantılarda görülebilecek en fazla çizik, çentik, kopuk tel sayısı
1 (Koaksiyel veya sert kablo)	İletken çapının %10'unu geçen hasar olmaması		
2-6	0	0	0
7-15	1	0	1
16-25	3	0	2
26-40	4	3	3
41-60	5	4	4
61-120	6	5	5
121+	6%	5%	5%

- Kabloların kıvrılması (Twist): Bu kriter kabloların kıvrılmasının gerekli olduğu yerde aynı veya farklı tip ve ölçülerdeki kabloları kıvrılmasıyla oluşmuş bütün kablo demetlerine uygulanır. Bir tam burgunun uzunluğu, kablo demetinin dış çapının 8 ile 16 katı arasında olmalıdır.
- İzolasyon hasar kontrolü
- Kablo ve tellerin uzunlukları: İmalat dokümanında belirtilmediği takdirde ölçüm toleransı için Çizelge 1.11 referans alınır.

bağlantısının sağlaması gereken bütün gereklilikleri ayrı ayrı sağlamalıdır ve kablo telleri birbirleri üzerine burkulmamalıdır.

- Terminal veya kontak üreticisinin belirlediği aletler imalat dokümanında belirtilmeli ve kullanılmalıdır.

g. Lehimli sonlandırmalar: Lehimli sonlandırmalar için IPC J-STD standartları referans alınmalıdır.

h. Ekran sonlandırmaları

i. Koruyucu yalıtkan malzemelerin uygulamaları

j. Etiket ve markalama uygulamaları

Hava aracına entegre edilecek her parça ve cihaz da olduğu gibi üretilen her kablo takımının da belirli prosedürlere uygun şekilde üretilmesi gerekmektedir. Tasarım organizasyonu tarafından tasarlanmış kablolar otoritelerce yetkilendirilmiş üretim organizasyon onayına sahip firmalar ve personeller tarafından üretilmelidir. Üretimi tamamlanan her kablo takımı için ise Form 1 yayınlamalıdır. Form 1, üretilen parçanın tasarım verilerine uygun olarak üretildiğini beyan eden dokümandır (EASA, 2021; SHGM, 2022a).

1. Approving Competent Authority / Country.  CIVIL AVIATION AUTHORITY SULTANATE OF OMAN سلطنة عمان الطيران المدني		2. AUTHORISED RELEASE CERTIFICATE CAA FORM 1			3. Form Tracking Number
4. Organisation Name and Address :					5. Work Order/ Contract/ Invoice
6. Item	7. Description	8. Part No.	9. Qty	10. Serial No.	11. Status / Work
12. Remarks					
13a. Certifies that the items identified above were manufactured in conformity to : ☐ approved design data and are in a condition for safe operation ☐ non-approved design data specified in block 12			14a. ☐ CAR 145.A.50 Release to Service ☐ Other regulation specified in block 12 Certifies that unless otherwise specified in block 12, the work identified in block 11 and described in block 12, was accomplished in accordance with CAR 145 and in respect to that work the items are considered ready for release to service.		
13b. Authorised Signature		13c. Approval/ Authorisation Number		14b. Authorised Signature	
13d. Name		13e. Date (dd mmm yyyy)		14c. Certificate/Approval Ref. No	
				14d. Date (dd mmm yyyy)	
USER/INSTALLER RESPONSIBILITIES This certificate does not automatically constitute authority to install the item(s). Where the user/installer performs work in accordance with regulations of an airworthiness authority different than the airworthiness authority specified in block 1, it is essential that the user/installer ensures that his/her airworthiness authority accepts items from the airworthiness authority specified in block 1. Statements in blocks 13a and 14a do not constitute installation certification. In all cases aircraft maintenance records must contain an installation certification issued in accordance with the national regulations by the user/installer before the aircraft may be flown.					

Şekil 1.35. Form 1 Örneği (Civil Aviation Authority [CAA], 2022)

1.10. Kablo Takımları Testleri

Tasarlanan ve üretilen her kablo takımının çeşitli testlere tabi tutulması gerekmektedir. Hava aracına tasarlanan tüm kablo takımları fonksiyonel testlere ve ilk kez üretilen kablo takımları ise ekstra çeşitli kalifikasyon testlerine tabi tutulmalıdır (RTCA, 2010; IPC, 2015; CFR, 2022).

1.10.1. Kablo Takımları Mekanik ve Elektriksel Fonksiyon Testleri

Kablo takımları fonksiyonel testleri üretim aşamalarının çeşitli aşamalarında veya sonunda yapılır. IPC sınıf 3 standartlarında kablo takımları üretimlerinin doğrulanması için tüm kablo takımlarına aşağıdaki mekanik ve elektriksel fonksiyon testler, olumsuz bir durum oluşturmadığı sürece uygulanmalıdır.

1.10.1.1. Çekme Testi

Krimp bağlantısının mekanik bütünlüğünü değerlendirmek için bir eksenel (boylamasına) güç uygulanarak yapılır. Eğer bir izolasyon desteği var ise bu destek mekanik olarak etkisiz hale getirilmelidir. Krimpli çoklu kablo uygulamalarında çekme testi en küçük ölçüdeki kabloya uygulanmalıdır. Çekme testi her krimp aracı, kablo ve kontak konfigürasyonunda ve belirli periyotlarla tekrar edilmelidir.

Çekme testi yapılacak örnekler teslim edilecek ürünler olmamalıdır. Tahribatlı çekme testi metodlarından bazıları aşağıdaki gibidir.

- Çekme ve kopartma: Bağlantıya uygulanan kuvvet terminal ve kablo birbirinden ayrılana veya kablo kopana kadar arttırılır.
- Çekme ve bırakma: Terminale belirlenen bir değere kadar kuvvet uygulanır. Bu kuvvete ulaşıldığında bırakılır.
- Çekme ve tutma: Terminale belirlenen değere kadar kuvvet uygulanır, bu kuvvete ulaşıldığında belirlenen bir süre kadar beklenir ve kuvvet sıfıra kadar düşürülür.
- Çekme, tutma ve kopartma: Terminale belirlenen bir değere kadar kuvvet uygulanır. Bu kuvvete ulaşıldığında belirlenen bir süre kadar beklenir. Daha sonra terminal ve kablo birbirinden ayrılana veya kablo kopana kadar kuvvet uygulanmaya devam edilir.

- El krimp aletleri kullanılıyor ise ve bunlar için test aralığı sözleşmede belirtilmemiş ise testler her bir krimp aleti, kablo ve kontakt kombinasyonu için günde bir kez yapılmalıdır.
- Eğer makine ile krimpleme yapılıyor ise ve test aralığı sözleşmede belirtilmemiş ise testler her yeni ayar değişikliğinde ve aylık olarak yapılmalıdır. Makine kullanılmıyor ise aylık test gerekli değildir ancak yeniden kullanıma başlandığında yapılmalıdır (IPC 2020).

1.10.1.2. Geri Kaçma Testi

Eğer test gereklilikleri aksini belirtmiyor ise, “it – kilitle – çek” metoduyla önce temas alanı krimp içersine kilitlenene kadar itilir, sonra gergin olana kadar çekilir. “Gerginlik” subjektif bir kavram olduğundan, bu testte çekme kuvvetinin itme kuvvetinden daha büyük olması beklenir.

1.10.1.3. Süreklilik

Süreklilik testi, noktadan noktaya bağlantıların bağlantı şemasına uygun olduğunu doğrular, tel ve iletken dirençlerini ölçer. Bu testin uygulanması sırasında kablo setindeki her bir terminal için aşağıdaki testler yapılır. Test programı, kablo takımının bağlantı şemasının son revizyonuna göre yapılmalıdır.

- Kısa devre direnci, test edilen terminal ile tüm bağlı terminaller arasında ölçülür. İletken direnç ölçümleri rapor edilir. İletken empedansları limit değerlerinin altında ve tüm bağlantılar eksiksiz yapılmışsa bu adım başarılıdır.
- Test edilen terminaller ile izole edilmiş terminaller arasında bir açık devre ölçülür. Bağlantısız terminaller arasında kısa devre olmadığı doğrulanır.

Bağlantı testleri sadece kablo bağlantıları için uygulanır. Kablo setinde bulunabilecek diğer tüm elemanlar özelliklerine göre Aktif/Pasif Devre ölçümü kapsamında değerlendirilmelidir.

DC direnç değeri sıcaklık ve test gerilimi ile değişebilir. Bu nedenle testler 20/25°C sıcaklıkta ve test cihazının doğru ölçüm yapabileceği optimum düşük voltaj ve akım kullanılarak yapılmalıdır (IPC 2020).

1.10.1.4. Dielektrik Dayanım Voltajı (DWV)

Dielektrik voltaj dayanım testi AC veya DC ile yapılan bir yüksek voltaj testidir. Bu test, elemanların gerekli voltaja ve anahtarlama, dalgalanma veya diğer benzeri olaylardan kaynaklanan voltajdaki ani yükselmelere karşı güvenli çalışmasını doğrulamak için yapılır. Test edilecek noktalar üzerinde, devamlılık testinde tanımlanan tüm yalıtılmış devamlılık yolları için kablo demetleri DWV testine tabi tutulmalıdır. Kısa devre riskinin olduğu yerlerde iletken konnektör şaseleri ve kullanılmayan kontak pozisyonları da dahil edilmelidir. Eğer konnektör şaselerinde kısa devre riski olmadığı düşünülüyorsa teste dahil edilmemesi önerilir. Bu test, konnektör pin aralıklarının fazla lehim, hatalı krimpeme, çapak vb. nedenlerle azalması durumlarını ortaya çıkarabilir. Dielektrik dayanım testi aşağıdaki gibi yapılır.

- İzole hatlar arasına veya izole hatlar ile toprak arasına yüksek gerilim uygulanır.
- Uygulanan gerilim kararlı duruma (steady-state) ulaştıktan sonra, belirlenen bekleme süresi (dwell time) boyunca ilgili hatlar arasında kaçak akım (leakage current) ölçümü yapılır.
- Bekleme süresi (dwell time) boyunca herhangi bir zamanda kaçak akım (leakage current) sınırı aşılsa test başarısız olur. Değilse, test başarılıdır.

Kablo takımı üzerinde aktif veya pasif devre elemanlarının (sensör, kapasitör, bobin vb.) bulunması durumunda, ilgili hatlara dielektrik dayanım testi uygulanmamalıdır (IPC 2020).

1.10.1.5. İzolasyon Direnci (IR)

Yalıtkan direnci testi, kullanılan yalıtkanın gösterdiği direnci doğrulamak için yapılan bir yüksek voltaj testidir. Dielektrik voltaj dayanımı testi DC voltaj kullanılarak yapılıyor ise, yalıtkan direnci de aynı anda ölçülebilir. Dielektrik voltaj dayanımı testi ve yalıtkan direnci testi ayrı ayrı yapılıyor ise yalıtkan direnci testi sonra yapılmalıdır. Test edilecek noktalar üzerinde, devamlılık testinde tanımlanan tüm yalıtılmış devamlılık yolları için kablo demetleri IR testine tabi tutulmalıdır. Kısa devre riskinin olduğu yerlerde iletken konnektör şaseleri ve kullanılmayan kontak pozisyonları dahil edilmelidir. IR testi aşağıdaki gibi yapılır.

- İzole hatlar arasında veya izole hatlar ile toprak arasında belirli bir sabit voltaj uygulanır.
- Sistemin kararlılığa ulaşması için belirli bir süre (Soak Time) beklenir. Soak Time içindeki kaçak akım (leakage current) değişiklikleri dikkate alınmaz.
- Soak Time'dan sonra test süresi boyunca kaçak akım ölçümü yapılır. İzolasyon direnci, uygulanan voltajın kaçak akıma oranı ile hesaplanır.
- Ölçülen izolasyon direnci sınır direncinden büyük ise test başarılı, az ise test başarısız olur.

Kablo takımı üzerinde aktif veya pasif devre elemanlarının (sensör, kapasitör, bobin vb.) bulunması durumunda, ilgili hatlara dielektrik dayanım testi uygulanmamalıdır (IPC 2020).

1.10.2. Kablo Takımları Kalifikasyon Testleri

Havacılık kablo takımları uçak içerisinde kullanılacağı alana göre farklı çevresel koşullara maruz kalabilmektedir. Buna istinaden yapılan ve ilk üretimi tamamlanan her farklı parça numaralı kablo takımının çeşitli kalifikasyon testlerine girmesi gerekmektedir. Regülasyon otoritelerine göre tüm EWIS bileşenleri ısı salınımı, yanıcılık (kendinden sönebilme), zehirli gaz salınımı ve duman yoğunluğu gereksinimlerini karşılamalıdır. Ayrıca bazı kuralların geçerli olacağı sistemlerle ilişkili EWIS bileşenleri, o sistem veya sistemlerin ayrılmaz bir parçası olarak düşünülmesini ve bu sistem için geçerli gereksinimlere uygunluğun gösterilmesi gerektiğini ve ek test ihtiyaçları olduğunu belirtmiştir. RTCA bahsi geçen kurallarda / sistemlerde kullanılan kablolar ve ekipmanların gereksinimleri karşıladığını göstermek adına testlerin daha anlaşılabilir olması için “DO-160 Havadaki Ekipmanlar için Çevresel Koşullar ve Test Prosedürleri” kılavuzunu yayınlamıştır. Kullanıldığı bölge ve sisteme göre DO-160 rehber dokümanı referans alınarak yapılacak kalifikasyon testleri, havacılık regülasyon otoritelerinin gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olup olmadığını doğrular. Uçuş güvenliğini doğrudan veya dolaylı riske etmeyecek durumlar için kalifikasyon testlerine ihtiyaç duyulmayabilir. Örneğin; bir uçak içi eğlence sisteminin (IFE) tatmin edici bir görüntü veya ses kalitesi sunamaması, bir güvenlik sorunu değildir. Dolayısıyla bu teknik problem ilgili kablonun veya ekipmanların sertifikaya edilmesine engel teşkil etmemektedir. Ancak uçak üreticileri ve havayolları bu gibi teknik problemlerin marka kalitesini

düşüreceği endişesiyle yaşanmasını istemez. Bu gibi istenmeyen problemlerin önüne geçmek amacıyla kendi standart ve teknik şartnamelerini yayınlayarak tedarikçisinin/alt yüklenicisinin uymasını bekleyebilir. Bazı kablo kalifikasyon testleri aşağıda sıralanmıştır.

- Yanıcılık, Duman Yoğunluğu ve Zehirli Gaz (Flammability, Smoke Density and Toxicity)
- Voltaj Dayanım Testi (Voltage Proof Test)
- İzolasyon Direnci (Insulation Resistance)
- Dinamik Kesinti (Dynamic Cut Through)
- Çentik Yayılımı (Notch Propagation)
- Aşınma Dayanımı (Scrape Abrasion)
- Kablolar Arası Aşınma Dayanımı (Cable to Cable Abrasion)
- Kuru Ark İzlenmesi (Dry Arc Tracking)
- Islak Kısa Devre (Wet Short Circuit)
- Titreşim (Vibration)
- Operasyonel Şok (Operational Shock)
- Su Geçirmezlik (Waterproofness)
- Tuz Sisi (Salt Spray) (FAA, 2007; RTCA, 2010; RTCA, 2011; EASA 2021; CFR, 2022).

1.10.2.1. Yanıcılık (Flammability), Duman Yoğunluğu ve Zehirli Gaz Salınımı

Tüm EWIS bileşenlerinin yanıcılık ve duman salınımı gereksinimleri regülasyon otoritelerinin belirlediği çerçevede kalmalıdır. Özellikle yangın bölgelerinde ve acil durum prosedürleri sırasında gerekli olan EWIS bileşenlerinin (kablo, konnektör, yalıtkan koruyucu, etiket vb.) yangına ekstra dayanıklı olması gerekmektedir. Ayrıca uçağın herhangi bölgesinde kullanılan EWIS bileşenleri kendi sönebilen yapıda olmalıdır. Regülasyon otoriteleri ulaşım kategori uçaklar için kabloların duman yoğunluğu isterini şu şekilde açıklamıştır.

“Mürettebat ve yolcu kabini havası, zararlı veya tehlikeli gaz veya buhar konsantrasyonlarından arındırılmış olmalıdır ve havanın 20000’de 1’ini aşan karbon monoksit konsantrasyonu tehlikeli kabul edilmiştir. Ayrıca uçuş sırasında karbondioksit konsantrasyonunun, normalde yolcular veya mürettebat tarafından

kullanılan kompartımanlarda hacimce %5'i geçmediği gösterilmelidir.” (Deniz seviyesi eşdeğeri, 25°C sıcaklık ve 1013,2 hPa basınca karşılık gelmektedir.) (EASA 2021; CFR, 2022).

Regülasyon otoriteleri ulaşım kategori uçaklar için kabloların kendinden sönebilen yapıda olmasını şu şekilde açıklamıştır.

“Minimum şartlarda kablolar bir tüpte, dikey olarak 3/8 inch iç çapa sahip bir Bunsen veya Tirril Brülörüne, 11/2 inch yüksekliğinde minimum 1550 °F sıcaklıkta bir alevle maruz bırakılır. Numunenin alt kenarı, brülörün üst kenarından 3/4 inch yukarıda olmalıdır. Alev numunenin alt kenarından merkez çizgisine 12 saniye süreyle uygulanır ve uzaklaştırılır. Alev süresi, yanma uzunluğu ve varsa damlaların alevleme süreleri kaydedilir. Yanık uzunluğu max. 1/10 inch olarak ölçülmelidir ve test numunesinden damlayan damlalar düştükten sonra ortalama 3 saniyeden fazla alev almaya devam etmemelidir.” (EASA 2021; CFR, 2022).

Regülasyon otoritelerinin gereksinimlerinin yerine getirildiğini kanıtlayacak çeşitli testler uçak üreticileri, standartlar ve kılavuzlar aracılığıyla daha detaylı anlatılmıştır. Örneğin, bazı kablolar için yukarıda bahsedilen gereksinimlerin karşılandığını kanıtlayacak testler Çizelge 1.12’de paylaşılmıştır.

Çizelge 1.12. Bazı Yanmazlık Test Standartları (Govmark, 2022a; Govmark b, 2022b)

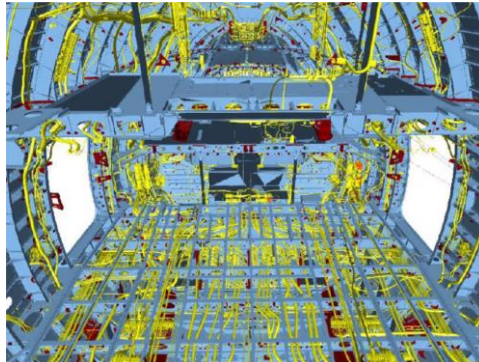
Kaynak	Flammability	Smoke Density	Toxicity
AIRBUS	AITM 2.0005	AITM 2.0008A	AITM 3.0005
BOEING	BSS 7324	BSS 7238	BSS 7239

Ek olarak regülasyon otoriteleri ve uçak üreticileri fiziksel olarak belirli boyutların altında olan ve sınırlı sayıda kullanılan bazı malzemeleri bu testlerden muaf tutmuştur (EASA 2021; CFR, 2022).

1.11. Kablo Takımlarının 3D Yönlendirilmesi ve Entegrasyonu

Kablo takımlarının tasarım aşamalarından olan 3D yönlendirme, EWIS tasarım süreçlerinin en zor adımlarından bir tanesidir. Bu yalnızca EWIS'in içsel karmaşıklığından değil, aynı zamanda artan sayıda uygulanan tasarım kısıtlamalarından ve diğer sistemlere bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bağlı olduğu sistemlerde olacak değişiklikler veya kısıtlamalardan ilgili kablo takımları da etkilenecektir. Zhu Z. ve arkadaşlarına göre: “Kablo yönlendirme süreci oldukça verimsizdir, hataya açıktır ve optimal çözümler sunamaz. Ayrıca kablaj tasarım mühendislerinin iş yükünü azaltacak otomasyon sistemi ve yazılımlar sınırlıdır, yetersizdir.” Tasarım aşamasında kabloların 3D yönlendirilmesi en çok zaman alan ve en fazla mühendislik personeli gerektiren aşamadır. Sebebi 3D kablo tasarımlarının bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemleri tarafından desteklenmesine rağmen çok sayıda tasarım gereksinimini ele almak için uzun ve tekrarlanan çalışmalar gerekmesidir.

Kablo takımlarının 3D yönlendirmesi ve entegrasyonu yapılırken aşağıdaki kurallara dikkat edilmesi gerekmektedir (Zhu Z. vd., 2017).



Şekil 1.36. A380 EWIS 3D Modellemesi

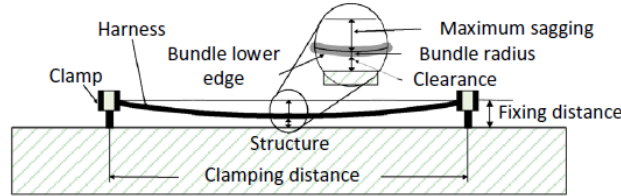
- Minimum bükülme yarıçapı: Kablo demetlerinin bükülme yarıçapları uçak üreticisi veya referans kılavuzların belirlediği sınırların içerisinde kalmalıdır.
- Kablo demeti sabitleme mesafeleri: Kablo demetleri belirli aralıklarla uçak yapısalına sabitlenmelidir. Bu amaçla standart metal kablo kelepçeleri kullanılmalıdır (MS 21919 vb.). Metal kablo kelepçelerinin sabitleme mesafesi formül X'teki eşitlik ile bulunabilir. Ayrıca metal kablo kelepçeleri

belirli aralıklarla konumlandırılmalıdır. Metal kablo kelepçelerinin sayısı ve boyutu, ağırlık ve maliyet sebebiyle olağanca minimum seviyede tutulmalıdır. Kablo demetleri çok gergin veya yapısala temas eder formda olmamalıdır. İzin verilen max. kenetleme mesafesi kablo demeti alt malzemelerine ve yönlendirme ortamına göre değişiklik gösterebilmektedir. Titreşim olmayan bir bölgede yönlendirilen normal bir kablo demeti için mesafe 24 inçtir. Daha sert yapıdaki kabo demetleri için bu değer 42 inçe kadar çıkabilir. İç kanatlarda, motor takozlarında vb. titreşimin yoğun olduğu bölgelerde kenetleme mesafesinin daha küçük olması gerekmektedir.

$$\text{Max. sabitleme mesafesi} = \frac{1}{2} \text{ inch} + \text{demet yarıçapı} \quad (1.13)$$

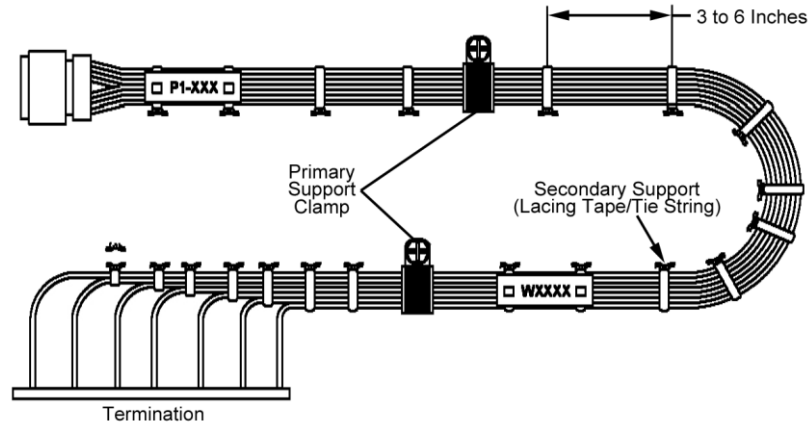


Şekil 1.37. MS21919 Standart Kablo Kelepçesi (Web Kaynak, 2022, <https://www.aircraftspruce.com/catalog/appages/ms21919clamps.php>, Erişim Tarihi: 27.11.2022)



Şekil 1.38. Kablo Kelepçeleme Tanımları (Zhu Z. vd., 2017)

Metal kelepçelerin haricinde kablo demetleri plastik kelepçeler ve kablo bağları ile sabitlenmelidir (3-6 inch aralıklarla) ancak kablo takımlarının birincil desteği metal kelepçeler olmalıdır.

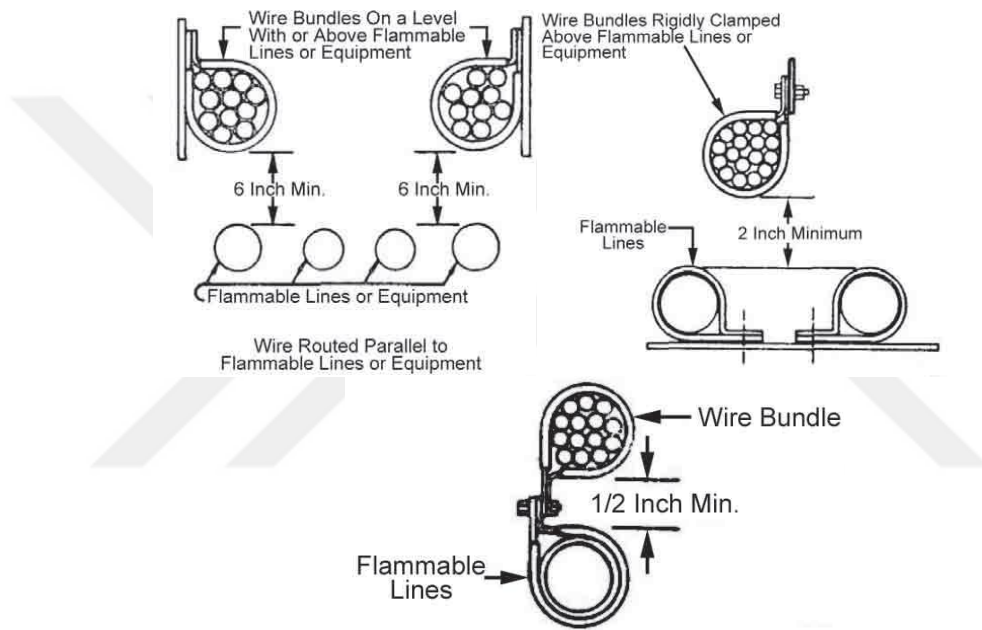


Şekil 1.39. Kablo Kelepçesi Mesafeleri

Kablo kelepçelerinin aşırı sıkılmasından ve hiç sıkılmamasından kaçınılmalıdır. Gevşek geldiği durumlarda kablo takımı üzerine kendinden yapışkanlı bantlar sarılabilir. Ayrıca koaksiyel ve fiber kablolar olağanca doğrudan ve ayrı yönlendirilmeli ve dielektrik bütünlüğünü korumak için gereksiz yönlendirmelerden kaçınılmalıdır.

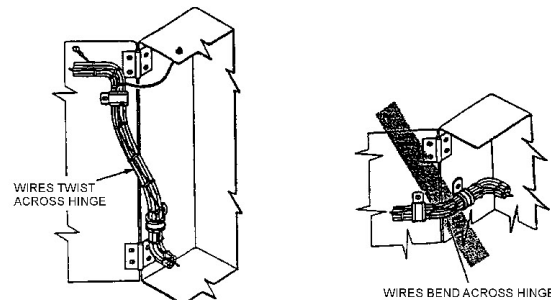
- Gri alan kuralları: Bir uçakta ıslak, sıcak ve titreşimli alanlar gibi birçok tehlikeli bölge vardır. Bu bölgeler, kablo demetlerinin yönlendirilmesi için ne yasak (siyah bölge) ne de serbest (beyaz bölge) değildir. Dolayısıyla bu bölgeler gri alanlar olarak adlandırılır. Kablo takımlarının bu bölgelerden geçmesi gerekiyorsa ekstra önlemler alınmalıdır. Bu tip özel bölgelerden geçecek kablo demetlerinin farklı bir yalıtım malzemesi ile yalıtılması gerekebilir. Özel yalıtım malzemesinin sebep olduğu ekstra maliyet mümkünse daha uzun bir kablo demetiyle bu bölgenin dışında beyaz bir bölgeden götürülerek önlenebilir. Burada tasarımcı ağırlık, maliyet, bakım yapılabilirlik gibi farklı parametreleri değerlendirerek tercihte bulunmalıdır.
- Birincil elektrik güç sisteminin elektriksel olarak korumasız kabloları, dağıtım devresi kablolarıyla demetlenmemeli veya gruplanmamalıdır. Tek bir hasarın birden fazla güç kaynağını etkilemesini önlemek amacıyla iki veya daha fazla kaynaktan gelen kablolar aynı demette veya grupta olmamalıdır.

- Kablo takımları ile yüzeyler ve ekipmanlar arasındaki mesafe en az 1/2 inch olmalıdır. 1/2 inch açıklığın sağlanamadığı durumlarda sürtünme önleyici malzemeler ile 3/8 inch'e kadar boşluk kabul edilebilmektedir.
- Kablolar kısa mesafelerde yanıcı hatlara paralel döşenmesi gerektiğinde mümkün olağanca mesafe (Min. 6 inch) bırakılmalıdır. 6 inch mesafe sağlanamıyorsa aralarında min. 1/2 inch veya 2 inch mesafe kalacak şekilde Şekil 1.40'ta gösterildiği gibi birbirlerine hareketlerini kısıtlayarak kenetlenmelidir.



Şekil 1.40. Kablo Kelepçeleri Aralarındaki Mesafe Sınırları

- Hareketli bölgelerde kablolar ekipmana paralel yönlendirilmeli ve gerginliği alınmalıdır (Bkz. Şekil 1.41)



Şekil 1.41. Paralel Kablo Yönlendirmesi

- Açık kablo demetlerinin bakım koşullarının da düşünülerek gruplanması gerekmektedir. Bakım koşullarını negatif etkileyebilecek gruplamaların yapılmasından kaçınılmalıdır.
- Kablo takımları bulunduğu sistemin fonksiyonuna göre de çok farklı yönlendirme ve entegrasyon gereksinimlerine sahip olabilmektedir. Örneğin: Normal veya acil durumlarda hava aracının uçuş kontrolünü sürdürmek için çalışması gereken kablolar diğer kablolardan ayrı olarak yönlendirilmelidir (NAVAIR, 2009; Zhu Z. vd., 2017; SAE, 2019).

1.12. Bakım ve Tamir Yapılabilir Kablo Takımlarının Tasarlanması

Hava araçlarında kablo takım tasarımları yapılırken en önemli unsur tasarımların hava aracı güvenliğini gözetmesidir. İkincisi ise kablo takımlarının bakım yapılabilir, sökülebilir, onarılabilir ve yenilenebilir şekilde tasarlanmış olmasıdır. Kablo takımlarına, uçak üreticisinin veya ilgili sistem-cihaz tedarikçisinin yayınladığı bakım kılavuzuna göre bakım yapılmalı ve tasarlanan kablolar erişilebilir olmalıdır. Bu konuda kablo takımları tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar aşağıdaki gibidir.

- Koruyucu yalıtkan vb. olmayan kablo takımlarının bakımı daha kolaydır. Dolayısıyla uçuş güvenliğini riske atmayacak düzeyde olağanca kabloların koruyucusuz tasarlanması uygun olacaktır.
- Kabloların boyutları küçüldükçe bakım yapmak zorlaşır. Tabi bu noktada kablo boyutları büyüdükçe ağırlığın da artacağını hesaba katmak gerekmektedir. Bu konuda SAE-AS-50881 standardı 24 AWG ve küçük izolasyonlu tellerin kullanımından mümkün olağanca kaçınılması gerektiğine değinmiştir.
- Kablo takımlarının doğru şekilde markalanması önemlidir. Bakım personeli kablo markalamasını kolayca görebilmelidir ve kabloların uygun aralıklarla markalanması gereklidir (SAE, 2019; EASA, 2021; CFR, 2022).

1.14. Literatür Özeti

Yardım (2022) ve SHGM a (2022), hava araçlarında parça-cihaz sertifikasyonunu sağlamanın iki farklı yöntemle olabileceğini anlatmıştır. Bunlar TTSU/ETSO/TSO ile cihazın-parçanın minimum şartlarda çalışabildiğini göstermek veya proje kapsamında parçalara-cihazlara uçak tip sertifikası (TC/STC) alınmasıdır. Ek olarak parça-cihazların bu sertifikaları alabilmesi için onaylı tasarım organizasyonu tarafından tasarımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir (SHGM, 2022a; Yardım, 2022).

CFR (2022) ve EASA (2021), veri ve sinyaller dahil olmak üzere elektrik enerjisinin iletilmesi amacıyla uçağın herhangi bir alanına yerleştirilmiş, iki veya daha fazla bağlantı noktası bulunan, bağlantı elemanları dahil olmak üzere herhangi bir kablo, kablolama ekipmanı veya bunların kombinasyonuna EWIS demidir. EWIS raflar, rackler, dağıtım kutuları, devre kartı panelleri, kablo entegrasyon birimleri ve ekipmanlar arası kablolamalarını da kapsar. EWIS alt malzemeleri ilgili regülasyon otoritelerinin belirlediği şartları sağlamak zorundadır. Ayrıca şartların sağlanması için FAA ve EASA gibi regülasyon otoriteleri çeşitli alt malzeme tercihlerinde AS50881 kılavuzunu tanımıştır (EASA, 2021; CFR, 2022).

FAA (1998) ve SAE (2019), hava araçları için akım taşıma kapasitesi ve voltaj düşümü değişkenlerine göre güç kablo tercihi yapılması gerektiğini açıklamıştır. Kabloların akım taşıma kapasitesinin ise irtifa, demet yüklenme oranı, çalışma sıcaklığına göre değişiklik göstereceğini belirtmiştir.

Boeing (2008), Airbus (2005) ve NAVAIR (2009) gibi uçak üreticileri (OAM), kablo takımları için ek gereksinimler belirlemiş ve kalifiye alt parça numaraları paylaşmışlardır. Tasarlanacak kablo takımlarının ilgili uçak üreticisinin beklediği gereksinimlerini de sağlaması gerekmektedir.

CFR (2022) ve EASA (2021) gibi havacılık otoriteleri her uygulama için kullanılacak konnektörlerin, elektriksel ve çevresel gereksinimlerinin dikkatli bir şekilde belirlenmesinden sonra seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. SAE (2019) ise konnektör tercihi ile ilgili hava araçlarında kullanılacak konnektörlerin MIL-STD-1353 standardına uygun olmasını beklemektedir.

IPC (2015) ve IPC (2020), kablo takım tasarım ve üretim detayları üzerine yazılmış standartlardır. Kablo takımları üretimini 3 sınıfta incelemişlerdir. Sınıf 1 genel elektronik ürünler, sınıf 2 özel hizmet elektronik ürünler, sınıf 3 yüksek performanslı-zorlu çevre koşulları dayanımına sahip elektronik ürünlerdir. Genellikle sivil havacılıkta uçuş güvenliğine etkisine göre sınıf 2 veya 3, askeri havacılıkta sınıf 3 üretim standartları kullanılmaktadır.

Scully (2020), elektromanyetik girişimlerin kontrolünün en önemli noktalarından birinin kablo demetlerinin tasarımının olduğunu ve kablo demetlerinin uygun tasarım, imalat ve test yöntemleriyle sertifikaya edilmesiyle kablolardan kaynaklı uçak arızası, aşırı akım, aşırı voltaj, kablo demetleri arasında parazit ve ark oluşma vb. olasılıklarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Scully, elektromanyetik girişim etkilerinin minimuma indirilmesi için kablo ekranlarının doğru şekilde sonlandırılması gerektiğini ve doğru konnektör arkılığı tercihinin bu konudaki önemine değinmiştir.

Zhu Z. ve arkadaşları (2017), kablo takımları yönlendirme süreci konusunda yapay zekanın çözüm olamayacağını ve kablo takımlarının yönlendirilmesi için mutlaka manuel girdilerin yapılması gerektiğini belirtmiştir. Ancak makaledeki şart ve koşulları sağlayacak kablo demetlerinin 3D yönlendirme sürecini bir optimizasyon problemi olarak ele almış ve bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntem makaledeki koşulları sağlamak için yeterli olsa da farklı parametreler ve gereksinimlerde yine manuel yönlendirmeler yapılması gerekmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Tasarlanacak Kablo Takımı

Bu tezde, Cornea Havacılık Sistemleri San. ve Tic. A.Ş. tarafından ulaşım kategori uçaklar için tasarlanan koltuk arkası eğlence sistemlerinde bulunan Kabin Kontrol Panel'i ethernet veri ve güç bağlantılarını sağlayan kablo takımının tasarımı yapılmıştır. Kabin Kontrol Panel'i, Video Kontrol Merkezi içerisinde uçağın ön kabin bölümünde bulunur. Bakım ve uçuş ekibi ile uçak içi eğlence sistemi arayüzünü sağlayan ekipman olarak nitelendirilir. Uçuş öncesi, sonrası veya sırasında operasyonları yürütmek için kullanılır. Kabin görevlileri Kabin Kontrol Paneli ile uçuş bilgilerini girme, uçak/sistem bilgilerine ulaşma, sistem kapama/açma, önceden kaydedilmiş içerikleri çalıştırma/durdurma vb. görevleri gerçekleştirebilir. Aynı zamanda bakım personeli ise bu ekipman ile eğlence sistemine içerik yükleme, yazılım güncelleme, sistem testini yapma vb. görevleri gerçekleştirebilir. Kabin kontrol paneli güç ve veri bağlantılarını yine video kontrol merkezinde bulunan elektronik kutudan sağlamaktadır.



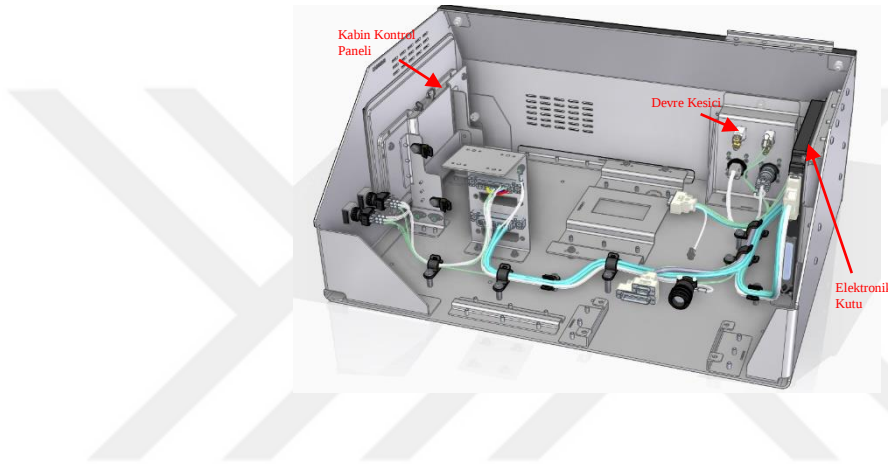
Şekil 2.1. Temsili Kabin Kontrol Paneli

(<https://turkishtechnic.com/EN/Affiliates/CorneaAeroSystems>)



Şekil 2.2. Temsili Elektronik Kutu

(<https://www.astronics.com/product?productgroup=Seat%20Actuation%20Systems&subproduct=seat%20motion>)



Şekil 2.3. Video Kontrol Merkezi Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Tasarımı

2.2. Tasarım Yöntemleri

Tasarlanan kablo takımı, eğlence sistemi tedarikçisi ve uçak üreticisinin belirlediği standartlara göre değişiklik göstermektedir. Ticari gizli belgeler olduğu noktalarda gerçeğe yakın varsayım yapılarak örnek bir kablo takımı oluşturulmuştur. Bu örnek tasarımın temel hedefi tüm ulaşım kategori uçaklarda kullanılabilecek bir veri ve güç kablo takımının oluşturulmasından ziyade ulaşım kategori bir hava aracı tasarım standartlarına uygun bir kablo takımının tasarım aşamalarını ve dikkat edilmesi gereken noktalarını göstermektir.

2.2.1. Tasarım Gereksinimleri

Tasarımı yapılan kablo takımı aşağıdaki gereksinimleri sağlamalıdır.

- Kablo takımı ulaşım kategori uçağa entegre edileceği dolayısıyla EASA CS.25 sertifikasyon gereksinimlerine, AS50881, IPC-D-620 ve IPC/WHMA-A-620 sınıf 3 standartlarına uygun tasarlanmalıdır.
- Kabin kontrol paneli, elektriksel bağlantıları J1 konnektöründen sağlanmalıdır. Kabin kontrol paneli üzerindeki konnektör üretici parça numarası “181-M26-113R141” olarak belirtilmiş ve bağlantı arayüzleri Çizelge 2.1.’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kabin Kontrol Paneli J1 Konnektör Bağlantıları

Kontak Numarası	Sinyal
1	28 VDC
2	28 VDC RTN
4	TX0+
5	TX0-
6	RX0+
7	RX0-
8	TX1+
9	TX1-
10	RX1+
11	RX1-

- Kabin kontrol paneli, video kontrol merkezinde bulunan devre kesici ile korunmalıdır ve devre kesici bağlantıları m4 pabuç terminal ile sağlanmalıdır.
- Kabin kontrol paneli, J1 konnektörü güç ve veri bağlantıları elektronik kutunun J4 konnektöründen sağlanmalıdır. Elektronik kutunun J4 konnektörü standart parça numarası “M24308/23-64K” olarak belirtilmiş ve bağlantı arayüzleri Çizelge 2.2.’de verildiği gibidir.

Çizelge 2.2. Elektronik Kutu J4 Konnektör Bağlantıları

Kontak Numarası	Sinyal
1	28 VDC Out
2	28 VDC Out RTN
20	TX0+
21	TX0-
22	RX0+
23	RX0-
24	TX1+
25	TX1-
26	RX1+
27	RX1-

- Kabin kontrol paneli, 28VDC ile beslenmektedir ve max. 110W güç tüketimi bulunmaktadır. Alt malzeme tercihleri bu parametrelere göre yapılmalıdır.
- Kabin kontrol paneli ve elektronik kutunun üzerindeki bağlantı arayüz konnektörlerinde “D110277-2” üretici parça numaralı yaylı kilit bulunmaktadır. Karşılık konnektörünün de mekanik olarak yaylı kilitlere kilitlenmesi gerekmektedir.
- Entegre edilecek uçak max. 12.200 metre yüksekliğe çıkabilecek şekilde tasarlanmıştır.
- Tasarlanacak kablo takımı 23 farklı kablo veya izolasyonlu telin bulunduğu gruptan geçecektir. Bu kablo grubunun yüklenme oranı %60’tır.
- Veri hattı 1000 Base-T ethernet protokolünü desteklemelidir.
- İki ekipman arasında herhangi yüzey geçişi olmadığı dolayısıyla geçiş konnektörü kullanılmamıştır.
- Video Kontrol Merkezi 65°C sıcaklıkta çalışabilmelidir.

Not: Kabin kontrol paneli ve elektronik kutu, video kontrol merkezinde yer almaktadır. Video kontrol merkezi uçağın basınçlandırılmış ve iklimlendirilmiş bölgesinde bulunur. Dolayısıyla ortam sıcaklığı 25°C’dir. Ekstra basınç veya çeşitli çevresel streslere maruz kalmayacaktır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Hava araçlarında regülasyon otoritelerinin belirlediği koşullar çerçevesinde yayınlanan ilgili standartlar ve kılavuzlar da referans alınarak yazılan bu tezde örnek bir kablo takımı tasarımı oluşturulmuştur. Belirlenen gereksinimlere uygun tasarım aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Konnektör tercihleri
- Kablo tercihleri ve bağlantı şemasının oluşturulması
- Diğer alt malzeme tercihleri
- Üretim dokümanının oluşturulması ve kalite koşullarının belirlenmesi
- Kablo takımı 3D yönlendirmesi, montaj dokümanı çıktılarının oluşturulması ve nihai uzunluğun belirlenmesi
- Test koşullarının belirlenmesi

3.1. Konnektör Tercihlerinin Yapılması

Ekipman üzerindeki konnektörler belirli olduğu dolayısıyla uygun karşılık konnektörlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Kabin kontrol panelinde bulunan “181-M26-113R141” parça numaralı konnektör 26 kontak pin(erkek), yüksek yoğunluk (high density) D-Sub tipi bir konnektördür. Karşılık olarak 26 kontak soket(dişi), yüksek yoğunluk D-Sub kablo tipi olmalıdır. “M24308/2-12K” standart parça numaralı konnektör tercih edilebilir. Konnektör veri sayfaları incelendiğinde kontak boyutların ve dış kasaları birbirlerine uygundur. Ayrıca farklı malzemelerin ve kaplamaların teması dolayısıyla galvanik korozyon etkisinin de değerlendirildiğinde “181-M26-113R141” parça numaralı konnektör kasası nikel kaplı çeliktir ve kontakları altın kaplı pirinçtir. “M24308/2-12K” parça numaralı konnektörün kasası siyah çinko nikel kaplı çeliktir ve kontakları altın kaplı bakırdır. Dolayısıyla herhangi galvanik korozyon olmayacak ve elektriksel performansı etkilemeyecektir (NorComp, 2007; DOD, 2009).

Elektronik kutu üzerinde bulunan “M24308/23-64K” parça numaralı konnektör 62 kontak soket(dişı), yüksek yoğunluk D-Sub tipi bir konnektördür. “M24308/4-13K” standart parça numaralı konnektör tercih edilebilir. Konnektör veri sayfaları incelendiğinde kontak boyutlarının ve dış kasaların birbirlerine uygun olduğu gözükmeaktadır. İki konnektörde de kullanılan malzeme ve kaplama malzemeleri aynı olduğu dolayısıyla yine herhangi galvanik korozyon olmayacak ve elektriksel performansı etkilemeyecektir (DOD, 2009).

Teknik veri sayfaları incelendiğinde konnektör kontakları soket için “M39029/57-354” ve pin için “M39029/58-360” olarak belirlenmiştir (DMC, 2016).

Devre kesici bağlantılarının sağlanması için AS25036 standart m4 pabuç tercih edilmiştir. Krimlenecek kablo boyutuna fiziksel ve galvanik olarak uygun olan “MS25036-149” parça numarası belirlenmiştir (SAE, 2020).

Konnektör, terminal ve kontakları için askeri standart parça numaraları tercih edilerek tek bir üreticiye bağımlı kalınmasını engelleyerek farklı üreticilerden tedarik gerçekleştirilebilir. Bu sayede fiyat ve teslim sürelerinde optimum seçenek değerlendirilebilir.

Konnektör kontakları karşılık konnektör kontaklarına takıldığında herhangi yüksek direnç ve elektriksel kesinti olmayacak şekilde uygun boyutlarda tercih edilmiştir.

Konnektörün sürekli taşıyabileceği max. akım ve gerilim seviyesi (Service Rating) bağılı olduğu sisteme uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Lehimli kontaklı konnektörler yerine krimp tipi kontaklar tercih edilmiştir. Bu sayede sökülebilir kontakların tercih edilmesiyle bakım yapılabilirlik üretilebilirlik ve ısı dayanımı, titreşim gibi çevresel etkilere daha dayanıklı olacağı değerlendirilmiştir.

3.2. Kablo Tercihleri ve Bağlantı Şemasının Oluşturulması

Ekipmanlar üzerindeki konnektörün bağlantı arayüzleri referans alınarak bağlantı şeması oluşturulmuştur. Tasarlanan kablo takımı, sistem şematiklerine ve blok diyagramlarına eklenmiştir (Bkz Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).

Tercih edilecek tel kesitinin sonlanacağı krimp kontaklara uyumlu olması gerekmektedir. Soket için M39029/57-354 ve pin için M39029/58-360 olarak belirlenen kontakların uygun olduğu tel kesitleri 22-28 AWG'dir.

1000 Base-T ethernet veri bağlantısı için 8 damarlı regülasyon yanmazlık test gereksinimlerini sağlayan, 22-28 AWG tel kesit aralığında kalan, lazer markalama yapılabilir ve IPC-D-620'ye göre ekran gereksinimlerini sağlayan çeşitli üreticilerin farklı kabloları bulunmaktadır. Bu aşamada çok çeşitli parametreler ile optimum kablonun tercih edilmesi için farklı çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu tasarımda FAR Part 23 ve 25 Ek F'ye uygun, hafif, çift ekranlı ve 8 damarlı olması sebebiyle Picwire üreticisinin "PIC E6A6826" parça numaralı ethernet kablosu tercih edilmiştir. Kablonun bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1'de paylaşılmıştır.

Çizelge 3.1. PIC E6A6826 Kablo Teknik Özellikleri (PIC Wire, 2022)

Teknik Özellik	Değer
Dış Çap Ölçüsü (mm)	5,59
Ağırlık (kg/100m)	4,8
AWG	26
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-55 / 200 arası
Minimum Bükülme Yarıçapı (mm)	16,76
Sertifikasyon	RoHS, FAR Part 23 ve 25, Ek F.

Güç kablosunun bir hat "+" ve bir hat "-" olacak şekilde 2 adet tek damarlı regülasyon yanmazlık test gereksinimlerini sağlayan, lazer markalama yapılabilir, 22-28 AWG tel kesit aralığında kalan EN2267-010A standardı bir kablo tercih edilmiştir. İki damarlı kablo tercih edilememesinin sebebi hattın devre kesiciyle bağlantısının olmasıdır. Uygun kablo kesiti aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Öncelikle akım taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Kabin kontrol paneli güç tüketimi 110W ve besleme gerilimi 28V olduğu biliniyor. Buna göre kabin kontrol panelinin

ekeceği akım yaklaşık 3,93A olacaktır. Tek kablodan çekileceği varsayılırsa bir kablodan geçecek akım 3,93A olacaktır.

EN2267-010A standardı kabloların çalışma sıcaklık aralığı -65 / 260  C'dir. Video kontrol merkezinin maksimum çalışma sıcaklığı 65  C olduğuna göre 1.5.3.2. bölümü referans alınarak ilgili standarttaki kablonun akım değer kaybına uğramadan taşıyabileceği yaklaşık akım değerleri izelge 3.2'de paylaşılmıştır. 23 kablo, %60 yüklenme oranı ve yaklaşık 40.026 ft (12.200m) parametrelerine göre akım değer kaybı katsayısı 0,34 olarak bulunmuş ve izelge 3.2'de standart kablonun nihai akım taşıma kapasiteleri sütununda ilgili değerler verilmiştir.

Çizelge 3.2. Akım Taşıma Kapasitesi

AWG	Akım Değer Kaybıyla arpılmadan	Akım Değer Kaybıyla
	Akım Taşıma Kapasitesi (A)	
22	18	6,12
24	14	4,76
26	11	3,74

Akım taşıma hesabı yapılırken demette çok sayıda kablo olduğu dolayısıyla tasarımı yapılan kablonun yükleme oranı ihmal edilmiştir.

Kontaklara uygun olabilecek AWG değerlerinin akım taşıma kapasiteleri hesaplandıktan sonra voltaj düşümü hesabı yapılmıştır.

3D CAD model üzerinden  n çizim yapılmış ve kablo boyu en uzun 2m olarak ölçülmüştür. EN2267-010A  retici teknik veri sayfası ve 1.5.3.1. bölümü referans alınarak gerilim düşümleri izelge 3.3'teki gibi hesaplanmıştır.

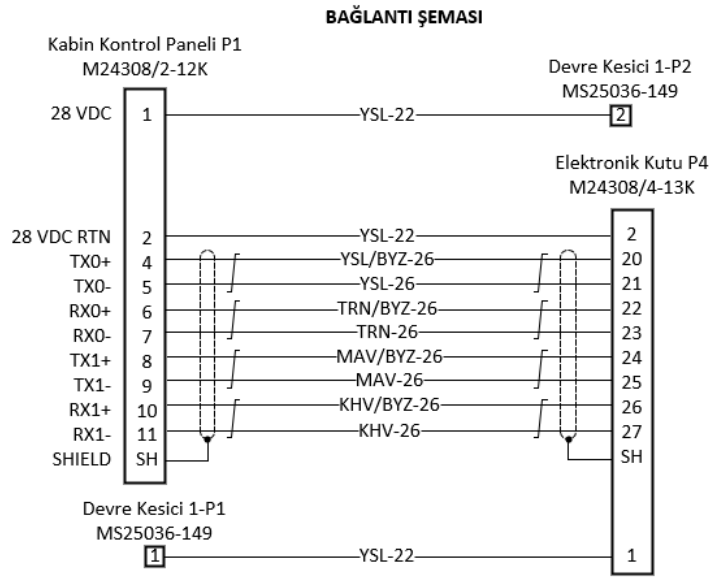
Çizelge 3.3. Gerilim Düşümü (RS Pro, 2022)

AWG	Kablo Direnci (Ohms/Km)	Gerilim Düşümü (V)	Gerilim Düşümü (%)
22	60	0,94	3,37
24	114	1,79	6,4
26	160	2,52	8,98

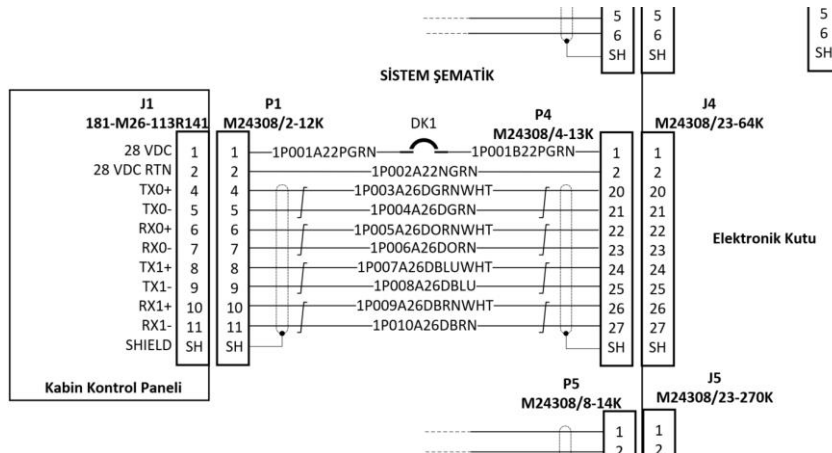
Çizelge 3.2'ye göre sadece akım taşıma kapasitesi değerlendirildiğinde 22 ve 24 AWG kablo kesiti uygun gözükmektedir. Ancak gerilim düşümü incelendiğinde,

28VDC için kabul edilebilir max. gerilim düşümü SAE AS 50881 ve MIL STD 704 F'e göre 2V, AC 43.13-1B'ye göre sürekli durumda 1V olarak belirlenmiştir. Buna göre 22 AWG kablo kesitinin tercih edilmesi uygun olacaktır. Sonuç olarak tek damarlı 22 AWG güç kablosu standart parça numarası “EN2267-010A004S” olarak oluşturulmuştur. 22 AWG boyutlarına uygun pabuç da “MS25036-149” olarak belirlenmiştir (SAE, 2020; Prysman Group, 2022).

Tercih edilen kablo ve konnektörlere göre oluşturulan sistem şematik çıktısı Şekil 3.2, ekipman blok diyagramı çıktısı Şekil 3.3'teki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. Kablo Takımı Bağlantı Şeması



Şekil 3.2. Kablo Takımı Sistem Şematğine Konumlandırılması

Tercih edilen kablolar standart parça numaraları olduğu için farklı üreticilerden tedarik edilebilir. Bu sayede fiyat ve teslim sürelerinde optimum seçenek değerlendirilebilir olacaktır.

3.3. Diğer Alt Malzeme Tercihlerinin Yapılması

69

dolayısıyla “RT-BC00010-092CU” kullanılmıştır. Boyut 3, 180° ve genel kablo çapı 12 mm’den küçük olduğu dolayısıyla “RT-BC0008-123CU” kullanılmıştır (Russtech, 2022a; Russtech, 2022b).

Bazı konnektör siparişlerinde kontaklar beraberinde gelmektedir. Bu tasarımda tercih edilen konnektör kontakları da beraberinde gelmektedir. Dolayısıyla ekstra kontak seçimine gerek yoktur. Ancak tasarımın ağırlığını ve fiyatı düşürmek adına elektronik kutuya bağlanacak konnektörde kullanılmayan hatlara sızdırmazlık kontakları (sealing plug) tercih edilmiştir. M24308/4-13K konnektöründe kullanılmayan 34 kontağa MS27488-22-2 tercih edilmiştir. Dış konnektörlerde standard sızdırmazlık kontağı olmadığı dolayısıyla boş kontaklar kullanılmıştır.

Üç kabloyu beraber gideceği bölgede birbirine bağlamak için kablaj ipi kullanılmalıdır. Gereksinimlere uygun mumlu “A-A-52080 Tip 1” standart kablaj ipi tercih edilmiştir.

Kabloları tanımlamak adına belirli aralıklarla ayrı ayrı lazer markalama yapılmalıdır. Ancak konnektör isimlendirmeleri, kablo takımı parça numarası ve üretim bilgilerini yazmak adına beş adet ısıyla daralan etiket kullanılmalıdır. Bir adet kabin kontrol paneli konnektörü arkasına, bir adet elektronik kutu konnektörü arkasına, bir adet kablo demeti ortasına ve iki adet devre kesici bağlantılarının olduğu bölgeye kullanılmıştır. Bu uygulama için TE Connectivity TMS-SCE serisi etiketleri tercih edilmiştir. Konnektör arkasındaki kablo demetinin ve kablajın ortasının dış çapı 6.69 mm olduğu dolayısıyla “TMS-SCE-1/2-2.0-4” tercih edilmiştir. Devre kesici hatlarına gelen EN2267-010A004S dış çapı ise 1,10 mm’dir. Bu hatlara “TMS-SCE-3/32-2.0-4” seçilmiştir (Tyco Electronics, 2022).

Ekipman üzerindeki kilit mekanizmalarına kablo üzerindeki konnektörlerin oturması için kilitleme mandalı “D110278-4” kullanılmıştır.

3.4. İmalat Dokümanının Oluşturulması

IPC-D-620’ye göre bir kablo takımı üretim dokümanında olması gereken verileri içeren (içeriğinde malzeme listesi, üretim standartları, üretim gereçleri, markalama bilgileri vb.) imalat dokümanı Şekil 3.4’teki gibi hazırlanmıştır.

3.6. Test Koşullarının Belirlenmesi

Oluşturulan kablo takımının fonksiyon testleri Bölüm 1.10. referans alınarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Çekme Testi: Kablo takımı üretim aşamasında yapılmalıdır. Kontak, kablo ve üretim aracı kombinasyonuna göre aşağıdaki verilen çekme kuvvetlerine dayanması beklenmektedir.

İletken çapı 26 AWG olan veri ethernet kablosunun damarları gümüş kaplıdır. Üretim dokümanında belirtilen sıkma aleti, pozisyonlayıcı ve kablo konfigürasyonu için çekme test uygulanır. Beklenen minimum çekme dayanımı 22.3 N olarak belirlenmiştir.

İletken çapı 22 AWG olan güç kabloları nikel kaplıdır. Üretim dokümanında belirtilen sıkma aleti, pozisyonlayıcı ve kablo konfigürasyonu için çekme test uygulanır. Beklenen minimum çekme dayanımı 35.6 N olarak belirlenmiştir (IPC, 2020).

- Geri Kaçma Testi

“İt – kilitle – çek” metoduyla önce temas alanı krimp içersine kilitlenene kadar itilir, sonra gergin olana kadar çekilir. Çekme kuvvetinin itme kuvvetinden daha büyük olması beklenmektedir (IPC, 2020).

- Süreklilik

Bağlantı şemasına göre bağlantılı olan hatlar arasında direnç ölçülecek ve bağlantısı olmayan konfigürasyonlar için kısa devre olmadığı doğrulanır. IPC sınıf 3’e göre hat dirençlerinin 2 ohm veya 1 ohm + hat direncinden hangisi büyük ise daha küçük olması beklenmektedir. Buna göre, kablo teknik veri sayfaları referans alınarak 2 metre hat boyu olan ethernet hatları için direnç 0.6 ohm ve beklenen maksimum direnç 1.6 ohm, 2 metre hat boyu olan güç hatları için direnç 0.12 ohm ve beklenen maksimum direnç 1.12 ohm olur (PIC Wire, 2022) (RS Pro, 2022) (IPC, 2020).

- Dielektrik Dayanım Voltajı ve İzolasyon Direnci

Seçilen konnektör ve kablolar arasında minimum voltaj dayanımı olan standart M24308 konnektörlerin gerilim dayanımı 750 Volt olarak belirlenmiştir. Buna göre 750 VDC veya 750 VAC 60 Hz pik değeri 1 saniye uygulanır. Bağlı olmayan hatlar arasındaki kaçak akım değerinin 1mA'den düşük olduğu doğrulanır. Ayrıca 750V 10 saniye uyguladığında bağlı olmayan hatlar arasındaki yalıtkan direncinin 100M ohm görülmesi beklenir (DOD, 2009; IPC, 2020).

Oluşturulan kablo takımının kalifikasyon testleri Bölüm 1.10. referans alınarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Yanmazlık

Bitmiş kablo takımı 60° açı vererek Bunsen Ocağı (Bunsen Burner) ile 30 saniye yakılır ve ortalama yanma uzunluğunun 76 mm'yi geçmediği, yakma süresinden sonra sönme süresinin 30 saniyeden fazla olmadığı ve kablo takımında damlayan damlaların yere düştükten sonra ortalama 3 saniyeden fazla alev almaya devam etmediği doğrulanır. Bu test oluşturulan parça numarası için bir kez yapılır ve regülasyona kalifiye olduğu kanıtlanır (EASA, 2021; CFR, 2022).

- Duman Yoğunluğu

Tüm kablo takımı alt malzemelerinden 3'er adet numune alınarak Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) standart test yöntemi ASTM F814-83'e göre şartlandırılmalı ve yakılmalıdır. Üç numunenin de 4 dakika sonra duman yoğunluklarına bakılmalı ve elde edilen verilerin ortalaması alınmalıdır. Ortalama duman yoğunluğunun 200'ü geçmediği doğrulanmalıdır. Bu test her alt parça numarası için bir kez yapılmalı ve uçak üreticisi ile paylaşılmalıdır. Alt parçalara malzeme üreticisi tarafından bu test uygulanmışsa test raporları uçak üreticisine sunularak onay alınabilir.

Yukarıda belirtilen testlerin haricinde kablo takımının takılacağı uçağın üreticisinin belirlediği testleri de gerçekleştirmek gerekir.

3.7. Tasarım Çıktıları

Tasarlanan kablo takımı ağırlığı 120,1662 gram, kablo takımının en kalın olduğu noktalarda dış çap 6,69 mm ve minimum dönüş yarıçapı en kalın kablo olan PIC E6A6826 referans alınarak 55,9 mm olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.4) (PIC Wire, 2022).

Çizelge 3.4. Tasarlanan Kablo Takımı Ağırlık Analizi

MALZEME LİSTESİ						
ÜRÜN NO.	İHTİYAÇ MİKTAR	BİRİM	PARÇA NUMARASI	AÇIKLAMA	Birim Ağırlık (g)	Toplam Ağırlık(g)
1	1	Adet	M24308/2-12K	DSUB KONNEKTÖR, 26 SOKET, YÜKSEK YOĞUNLUK, BOYUT 2	9,08	9,08
2	1	Adet	M24308/4-13K	DSUB KONNEKTÖR, 44 PIN, YÜKSEK YOĞUNLUK, BOYUT 3	13,2	13,2
3	2	Adet	MS25036-149	PABUÇ TERMİNAL, M4, 16-22AWG, İZOLASYONLU	1	2
4	1	Adet	RT-BC00010-092CU	ARKALIK, DSUB, BOYUT 2, KOMPOZİT	12,7	12,7
5	1	Adet	RT-BC0008-123CU	ARKALIK, DSUB, BOYUT 3, KOMPOZİT	14,51	14,51
6	34	Adet	MS27488-22-2	SIZDIRMAZLIK KONTAĞI	0,0293	0,9962
7	3	Adet	TMS-SCE-1/2-2.0-4	ETİKET, İSİYLE DARALAN, 0.5, SARI	1,45	4,35
8	2	Adet	TMS-SCE-3/32-2.0-4	ETİKET, İSİYLE DARALAN, 0.094, SARI	0,15	0,3
9	3000	mm	EN2267-010A004S	İZOLASYONLU TEL, 22AWG, YSL	0,00414	12,42
10	1000	mm	PIC E6A6826	KABLO, ETHERNET, 8 DAMAR, EKRANLI	0,048	48
11	1	Adet	D110278-4	KİLİT MANDALI	4,59	4,59
Kablo Takımı Ağırlığı (36 adet konnektör kontağı eklenmiştir)(72.5 mg kontaklar)						124,7562

Tasarlanan kablo takımının ağırlık açısından karşılaştırılabilmesi adına aynı fonksiyonları ihtiva eden bir kablo takımı referans olarak alınmıştır. Bu kablo takımında güç hatları 20 AWG, veri hatları 4 damarlı 2 adet 24 AWG kablolar, metal arkalıklar ve boş yuvalarda standart kontaklar kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). Bu kablo takımının toplam ağırlığı 251,199 gram, en kalın noktada dış çapı 9 mm, minimum dönüş yarı çapı 54 mm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Referans Kablo Takımı 1 ve Ağırlığı

MALZEME LİSTESİ						
ÜRÜN NO.	İHTİYAÇ MİKTAR	BİRİM	PARÇA NUMARASI	AÇIKLAMA	Birim Ağırlık (g)	Toplam Ağırlık(g)
1	1	Adet	M24308/2-12K	DSUB KONNEKTÖR, 26 SOKET, YÜKSEK YOĞUNLUK, BOYUT 2	9,08	9,08
2	1	Adet	M24308/4-13K	DSUB KONNEKTÖR, 44 PIN, YÜKSEK YOĞUNLUK, BOYUT 3	13,2	13,2
3	2	Adet	MS25036-149	PABUÇ TERMİNAL, M4, 16-22AWG, İZOLASYONLU	1	2
4	1	Adet	5-1478762-2	ARKALIK, DSUB, BOYUT 2, METAL	45	45
5	1	Adet	2-1478762-5	ARKALIK, DSUB, BOYUT 3, METAL	68,719	68,719
6	3	Adet	TMS-SCE-1/2-2.0-4	ETİKET, ISIYLA DARALAN, 0.5, SARI	1,45	4,35
7	2	Adet	TMS-SCE-3/32-2.0-4	ETİKET, ISIYLA DARALAN, 0.094, SARI	0,15	0,3
8	3000	mm	EN2267-010A006S	İZOLASYONLU TEL, 22AWG, YSL	0,00685	20,55
9	2000	mm	ABS 1503 KD24	KABLO, ETHERNET, 4 DAMAR, EKSPANLI	0,041	82
10	1	Adet	D110278-4	KİLİT MANDALI	4,59	4,59
Kablo Takımı Ağırlığı (70 adet konnektör kontağı eklenmiştir) (140,97 mg kontaklar)						251,199

Tasarımı tamamlanan kablo takımı, referans kablo takımı 1'den yaklaşık 124,6 gram hafif olduğu hesaplanmıştır. Sadece video kontrol merkezi değil, uçak içi eğlence sistemlerinde elektronik kutudan koltuk arkası tabletlere giden güç ve ethernet veri hattı olarak bu kablo takımının kullanılmasıyla ortalama 330 koltuklu bir geniş gövde uçakta 41,118 kg hafifletilmiş bir sistem tasarımı gerçekleştirilebilir.

41,118 kg hafifleyerek ortalama 1000 km menzilli bir uçuşta 0,9 kg ile 1,35 kg yakıt tasarrufu sağlanabileceği ve 1,35 kg yakıt tasarrufu ile çevreye zararlı CO₂, SO_x ve NO_x gazlarının salınımını azaltacağı öngörülmektedir (FAA Office of Environment and Energy, 2005; Steinegger, R., 2017).

Tasarlanan kablo takımı fiziksel olarak hafif olmasının haricinde alt malzeme tercihleri dolayısıyla ulaşım kategori uçaklarda regülasyon otoritelerinin belirlediği sınırlar içerisinde, AS 50881, IPC 620 gibi standartların gerekliliklerini de sağlamaktadır. Bu sayede bakım yapılabilirlik, işçilik, üretilebilirlik, tedarik vb. parametrelerde de kabin içi ekipmanlar, basınçlandırılmış çeşitli alanlarda da kullanılabilmesi sağlanacaktır.

Tasarlanan kablo takımını üretim, bakım yapılabilirlik, dış çap ve dönüş yarı çapı açısından değerlendirilirse aynı fonksiyonları ihtiva eden bir kablo takımı referans alınabilir (Bkz. Çizelge 3.6). Bu kablo takımının Referans Kablo Takımı 1’den farkı ekstra beraber giden hatların üzerine daralan siyah makaron uygulaması yapılmasıdır. Bu kablo takımının en kalın noktada dış çapı 11,44 mm, minimum dönüş yarı çapı 68,64 mm olarak belirlenmiştir. Burada kullanılan makaron ile üretim ve bakım süreleri bir miktar uzamıştır.

Çizelge 3.6. Referans Kablo Takımı 2

MALZEME LİSTESİ				
ÜRÜN NO.	İHTİYAÇ MİKTAR	BİRİM	PARÇA NUMARASI	AÇIKLAMA
1	1	Adet	M24308/2-12K	DSUB KONNEKTÖR, 26 SOKET, YÜKSEK YOĞUNLUK, BOYUT 2
2	1	Adet	M24308/4-13K	DSUB KONNEKTÖR, 44 PIN, YÜKSEK YOĞUNLUK, BOYUT 3
3	2	Adet	MS25036-149	PABUÇ TERMİNAL, M4, 16-22AWG, İZOLASYONLU
4	1	Adet	5-1478762-2	ARKALIK, DSUB, BOYUT 2, METAL
5	1	Adet	2-1478762-5	ARKALIK, DSUB, BOYUT 3, METAL
6	3	Adet	TMS-SCE-1/2-2.0-4	ETİKET, ISIYLA DARALAN, 0.5, SARI
7	2	Adet	TMS-SCE-3/32-2.0-4	ETİKET, ISIYLA DARALAN, 0.094, SARI
8	3000	mm	EN2267-010A006S	İZOLASYONLU TEL, 22AWG, YSL
9	2000	mm	ABS 1503 KD24	KABLO, ETHERNET, 4 DAMAR, EKRANLI
10	1	Adet	D110278-4	KİLİT MANDALI
11	2000	mm	DR-25-1/2-0	ISIYLA DARALAN MAKARON, 0.5 SİYAH

Tasarımı tamamlanan kablo takımının dış çapı, referans kablo takımı 2’den yaklaşık 4,75 mm daha ince ve minimum dönüş yarı çapı 12,74 mm daha kısadır. Bu sayede tasarlanan kablo takımının fiziksel olarak dar alanlarda kullanımının referans kablo takımı 2’ye göre daha uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Örnek tasarımın olası dezavantajları arasında herhangi koruyucu olmadığı dolayısıyla titreşim kaynaklı platformla kablolar veya kablolarla kablolar arasında kablo izolasyonlarında aşınma meydana gelebileceği öngörülebilir. Bu konuyla ilgili entegrasyon aşamasında koruyucu bantlar tercih edilerek önlem alınabilir. Yine titreşim esnasında arkalık ve kilit vidaları bir süre sonra yuvalarını terkedebilir. Bu

durumu önlemek için vidaya kimyasal yapıştırıcı uygulaması gerçekleştirilebilir. Muadil kablo tasarımı 1'e göre minimum dönüş yarıçapı yaklaşık 1,9 mm daha fazladır. Dolayısıyla referans kablo takımı 1'e göre daha esnek olmayan bir kablo takım tasarımı olduğu yorumu yapılabilir. Tasarlanan kablo takımı muadil kabloya göre yaklaşık 1,9 mm sonra dönüşünü tamamlayacaktır. Bunu önlemek için kontrol paneline bağlanacak konnektör arkılığı 90 derece açılı tercih edilerek keskin dönüşün olduğu bölge için önlem alınmıştır. Özellikle Ethernet veri kablosu ekranı ile D-Sub konnektör arkalıkları arasında oluşabilecek boşluklar dolayısıyla elektromanyetik geçirgenlik ve sinyal hatlarında EMI/EMC dolayısıyla bozulmalar yaşanabilir. Bu durum kablolar ve arkalık arasındaki boşluklar örgü ekran ile doldurularak önlenabilir. Isıyla daralan etiket üzerinde yer alan markalamalar çevresel etkilere maruz kalarak silinebilir. Bunu engellemek için de etiket üzerine ısıyla daralan şeffaf makaronlar tercih edilebilir veya kendinden korumalı bir etiket tercihi yapılabilir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışması ile ilgili havacılık kuralları, havacılık ve kablaj standartları, el kitapları, teknik dokümanlar ve akademik kaynaklar referans alınarak hava araçları ve ulaşım kategori uçaklar özelinde kablolama terminolojisi, sık kullanılan terimler, ürün ve cihaz sertifikasyonu, uçaklardaki elektrik kabloları ara bağlantı sistemlerinin kapsadığı alt malzemeler, kablo, konnektör ve diğer alt malzeme tercihleri, kablaj markalaması, teknik dokümantasyon, kablaj üretimi, 3D yönlendirilmesi, bakım ve tamiri, testleri anlatılmıştır. Disiplin olarak çok akademik çalışma yapılmamış olan kablaj mühendisliğine ışık tutacak ve bundan sonra yapılacak çalışmaları destekleyecek niteliktedir.

Bir kablo takımının hava aracında kullanılabilmesi için öncelikle uçuş güvenliğini gözetmesi gerektiği gösterilmiştir. Uçuş güvenliğinin sınırlarını somut olarak regülasyon otoriteleri çizmiştir. Yayınlanan diğer el kitapları ve standartlar bu kurallara uymak için yapılması gerekenleri daha anlaşılabilir şekilde anlatmak için oluşmuştur. Dolayısıyla bir kablo takımının da öncelikle entegre edileceği hava aracının uçacağı hava sahasının benimsediği otorite kurallarına uyması gerekmektedir. Doğru tasarımın sağlanabilmesi için bu kuralları uçak üreticisi gereksinimleri, standartlar ve el kitapları vb. takip etmelidir. Ayrıca hava aracı kablo takımlarının kolay bakım yapılabilir, sökülebilir ve yenilenebilir olması gerekmektedir. Bu amaçla tasarlanacak kablo takımlarında tedarik kolaylığı ve yenilenebilirlik açısından standart alt parçalar, bakım kolaylığı açısından geçiş noktalarında konnektör tercihleri ve konnektör arkalarında, kablo üzerinde uygun markalamalar yapılabilir.

Ulaşım kategori uçak içi eğlence sistemleri için örnek bir kablo takım tasarımı yapılmıştır. Konnektörler karşılık konnektörle eşleşecek galvanik korozyon olmayacak ve elektriksel performansı etkilemeyecek malzeme ve kaplamada, güç kablosu akım taşıma kapasitesi ve voltaj düşümü hesaplanarak ilgili kontaklara sonlanacak şekilde lazer markalama yapılabilir ve optimum boyutta, veri kablosu

1000 Mbps veri iletimini destekleyecek IPC 620D ekranlama isterlerini karşılayacak şekilde tercih edildi. Ayrıca kompozit arkalıklar, ethernet kablosunun tek ve 8 damarlı tercih edilmesiyle örnek kablajın muadillerinden 124,6 gram daha hafif olabileceği 330 koltuklu bir uçakta 41,118 kg sistemi hafifletebileceği ve 1000 km menzilli bir uçuşta 0,9 kg ile 1,35 kg yakıt tasarrufu sağlanabileceği ortaya kondu. Uçuş güvenliği göz önüne alınarak tüm kablo takımı alt malzeme tercihlerinde yanmazlık test isterlerini sağlamasına ve metal kaplamalarının zehirli duman çıkarmayacağı değerlendirildi. Kablo takımının kolay bakım yapılabilir ve yenilenebilir olması için ise lazer markalama yapılabilir kablolar ve farklı üreticilerden tedarik edilebilecek standart parça numaraları tercih edildi.



KAYNAKLAR

Airbus, (2005). Electrical Standard Practices Manuel (ESPM). Rev 9.

Amphenol, (2017). Reference Guide to Cylindrical Connectors. <https://www.amphenol-industrial.com/images/catalogs/So%20You%20Want%20to%20Know%20Connectors.pdf> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

ARINC, (2005). 628P4-A3: Cabin Management and Entertainment System Cabin Disturbation System Daisy Chain

ARINC, (2011). 628P5-2A: Cabin Electrical Equipment and Wiring Installation Guidelines.

ARINC, (2015). 628P1: Cabin Equipment Interfaces Part 1 Cabin Management and Entertainment System – Peripherals.

Ashour, J., (2014). An Introductory Guide for Engineers Designing Aircraft Wiring Harnesses. InterConnect Wiring. <https://www.interconnect-wiring.com/wp-content/uploads-/2016/10/Engineers-Designing-Aircraft-Wiring-Harnesses.pdf> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

ASME, (1966). Y14.15: Electrical and Electronics Diagrams.

Bartnikas, R., Srivastava K., (2000). Power and Communication Cables Theory and Applications. IEEE Press.

Boeing, (2008). Standard Wiring Practices Manual (SWPM). Rev 40.

Bradley, A. ve Hare, R., (2009). Effectiveness of Shield Termination Techniques Tested with TEM Cell and Bulk Current Injection. 2009 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. TX, USA, 17-21 Ağustos 2009.

CAA Sultanate of Oman, (2022). CAA Form 1. <https://www.caa.gov.om/upload/-files/CAA%20Form%201.pdf> (Erişim Tarihi: 03.11.2022)

Calculator.net, (2022). Voltage Drop Calculator. <https://www.calculator.net/voltage-drop-calculator.html> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Code of Federal Regulations(CFR), (2022). 14 CFR Part 25 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-25> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Department of Defense (DOD), (2004). MIL-STD-704: Aircraft Electric Power Characteristics. Rev F.

Department of Defense (DOD), (2014). MIL-STD-1353: Electrical Connectors, Plug-in Sockets and Associated Hardware. Rev C.

Department of Defense (DOD), (2015). MIL-DTL-38999: Connectors, Electrical, Circular, Miniature, High Density, Quick Disconnect (Bayonet, Threaded or Breech Coupling), Environment Resistant with Crimp Removable Contacts or Hermetically Sealed with Fixed, Solderable Contacts, General Specification for. Rev M.

Department of Defense (DOD), (2018). MIL-HDBK-522: Guidelines for Inspection of Aircraft Electrical Wire Interconnect Systems. Rev B.

Department of Defense (DOD), (2020). MIL-HDBK-525: Electrical Wire Interconnect System (EWIS) Integrity Program. Change 1.

Department of Defense(DOD), (1979). 863B: Military Standard Wiring Data and System Schematic Diagrams Preparation of.

Department of Defense(DOD), (2009). MIL-DTL-24308G: Connectors,Electric, Rectangular, Nonenviromental, Miniature, Polarized Shell, Rack and Panel, General Specification for.

DMC, (2016). Power Contact Tooling Guide. https://api.dmctools.com/public/uploads-/catalogues/dmc_power_contact_wall_chart.pdf (Erişim Tarihi: 16.01.2023)

Essentra Components, (2022). Essentra Components Cable Clips & Clamp. <https://www.mouser.com.tr/new/essentra/essentra-cable-clips-clamps/> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

European Aviation Safety Agency (EASA), (2021). Certification Specifications for Large Aeroplanes - CS25 (Amd. 27).

European Aviation Safety Agency (EASA), (2022). Easy Access Rules for Airworthiness and Environmental Certification (Regulation (EU) No 748/2012). <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/20143/en> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Federal Aviation Administration (FAA), (1998). AC 43.13-1B: Acceptable Methods, Techniques, and Practices Aircraft Inspection and Repair.

Federal Aviation Administration (FAA), (2007). AC 25.1701-1: Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes.

Federal Aviation Administration (FAA), (2022). Aircraft Electrical Wiring Interconnect System (EWIS) Best Practices. https://www.faa.gov/training_testing/training-/air_training_program/job_aids/media/ewis_job-aid_2.0_printable.pdf (Erişim Tarihi: 20.10.2022)

Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy (FAA Office of Environment and Energy), (2005). Aviation & Emissions A Primer. https://www.faa.gov/-regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/aeprimer.pdf (Erişim Tarihi: 20.10.2022)

FlightSafety International, (2015). DASH 8 Q400 Maintenance Training Manual, Vol 2., Rev 0.4.

Govmark, (2022a). Fire and Flammability Testing, Specific Test List (AIRBUS). https://www.govmark.com/pdf/specific-test-lists/specific_test_list_aircraft_airbus.pdf (Erişim Tarihi: 15.11.2022)

Govmark, (2022b). Fire and Flammability Testing, Specific Test List (BOEING). https://www.govmark.com/pdf/specific-test-lists/specific_test_list_aircraft_boeing.pdf (Erişim Tarihi: 15.11.2022)

HellermannTyton, (2022). Product Catalogue. https://www.hellermannntyton.com/binaries-/content/assets/downloads/com/product_catalogue_2022-2023/ht_product_catalogue_2022-2023_com.pdf (Erişim Tarihi: 22.10.2022)

IAI, (2023). HarnesSYS Electrical CAD/CAM Software Tool. <https://www.iai.co.il/p/HarnesSYS> (Erişim Tarihi: 17.01.2023)

IEEE, (1975). 200-1975 - IEEE Standard Reference Designations for Electrical and Electronics Parts and Equipments

IPC, (2015). IPC-D-620: Design and Critical Process Requirements for Cable and Wiring Harnesses.

IPC, (2020). IPC/WHMA-A-620: Requirements and Acceptance for Cable and Wire Harness Assemblies. Rev D.

Kitplanes, (2022). Hiring Help With Avionics. <https://www.kitplanes.com/hiring-help-with-avionics> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Küçükaydın, B. ve Arıkan O., (2014). Ortam Koşullarının Yeraltı Kablolarının Sıcaklığı ve Akım Taşıma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi. Eleco 2014 Elektrik Elektronik Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu. Bursa, Türkiye, 27-29 Kasım.

Lane Electronics, (2022). Aerospace & Defence Connectors. <https://www.fclane.com/news-/Guaranteeing-Supply-Chain-Aerospace-Defence-Connectors> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Matec Electronics, (2022). Cable Ties and Fixings. <https://www.matecelectronics.com-/kategori/cable-ties-fixings> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Meng, F., Ritchie, J. ve Simmons, J., (2000). Designing Cable Harness Assemblies in Virtual Environments. Journal of Materials Processing Technology, 107(1-3), 37-43.

Millet, G., Bruillot, S., Dejardin D. ve Imbert N., (2014). Aircraft Electrical Wiring Monitoring System. Embedded Real Time Software and Systems. Toulouse, 5-7 Şubat.

Moore, G. F. (Edt.), (1997). Electric Cables Handbook, 3rd Ed. Blackwell Science. ISBN: 978-0-632-04075-9.

Munzur Üniversitesi, (2022). Elektrik Elektronik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Laboratuvarı Deneyleri, <https://www.munzur.edu.tr/birimler/akademik/fakulteler-/muhendislik/bolumler/elektrik/Pages/file/F%C3%B6y%20.pdf> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

NAVAIR, (2009). 01-1A-505-1 to 1-1A-14, TM 1-1500-323-24-1: Technical Manual, Installation and Repair Practices.

NorComp, (2007), High Density Machined Contacts Right Angle Datasheet. <https://content.norcomp.net/rohspdfs/Connectors/18Y/181-M/181-MYY-1YYRYYY.pdf> (Erişim Tarihi:16.12.2022)

One Pull Wire, (2022). 5 Steps to Calculate the Diameter of Bundled Cable. <https://onepullwire.com/news/5-steps-to-calculate-the-diameter-of-bundled-cable/#lightbox-image> (Erişim Tarihi: 20.10.2022)

Pemarathne, P., Fernando T., (2016). Wire and Cable Routings and Harness Designing Systems with AI. IEEE International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS). Galle, Sri Lanka, 16-19 Aralık.

PIC Wire, (2022). PIC E6A&826 Datasheet. https://www.picwire.com/wp-content/uploads/files/pdfs/datamates/PIC_E6A6826.pdf (Erişim Tarihi: 16.12.2022)

Prysmian Group, (2015). Technical Cable Guide. Ver 4., Prysmian Cables & Systems Australia Pty Ltd.

Prysmian Group, Draka Fileca, (2022). Wires & Cables for Aerospace Applications Catalog, <https://www.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/Catalogue%20AEROSPACE.pdf> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

RS Pro, (2022). EN2267-010A Datasheet. <https://docs.rs-online.com/7ab7-/0900766b8157fd8a.pdf> (Erişim Tarihi: 16.12.2022)

RTCA, (2010). DO-160: Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment.

RTCA, (2011). DO-254: Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware.

Russtech, (2022a). D-Sub Composite Backshell-90 Technical Datasheet. https://russtechengineering.com/wp-content/uploads/2020/12/D-Sub_90_Degree.pdf (Erişim Tarihi: 22.12.2022)

Russtech, (2022b). D-Sub Composite Backshell-Straight Technical Datasheet. https://russtechengineering.com/wp-content/uploads/2020/12/D-Sub_Straight.pdf (Erişim Tarihi: 22.12.2022)

SAE, (2010). ARP4754A: Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems.

SAE, (2018). AS22759: Wire, Electrical, Fluoropolymer-Insulated, Copper or Copper Alloy. Rev D.

SAE, (2019). AS50881: Wiring Aerospace Vehicle. Rev G.

SAE, (2020). AS25036: Terminal, Lug, Crimp Style, Copper, Insulated, Ring Tongue, Bell-Mouthed, Type II, Class 1.

Scully, R., (2020). Cable Harness Design for Aerospace Platforms. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC). Reno, NV, USA, 28 Temmuz-28 Ağustos.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), (2022a). Havacılıkta Parça ve Cihaz Sertifikasyonu Rehber Dokümanı. Rev 00. http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik-/files/pdf/hava_araci_islemleri/rehber_doc.pdf (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), (2022b). Ürün Tip Sertifikasyonu - Product Type Certification. <https://web.shgm.gov.tr/tr/s/4981-shy-21-sertifikasyon-koordinatordlugu-shy-21-certification-section> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Solak, V., Efendioğlu H., Çolak, B. ve Garip M., (2017). Analysis and Simulation of Cable Crosstalk. 2017 IV International Electromagnetic Compatibility Conference. Ankara, Türkiye, 24-27 Eylül.

Steinegger, R. (2017). Fuel economy for aircraft operation as a function of weight and distance. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. <https://doi.org/10.21256/zhaw-3466>

TE Connectivity, (2021). 2395756-1: How to Select a Backshell. https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=2395756-1_how-to-select-backshell&DocType=DS&DocLang=EN (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Thermax, (2022). The Wire and Cable Book. <https://www.cambridgetechnologies.com.au/documents/resourcecentrepdfs/ThermaxCatalog.pdf> (Erişim Tarihi: 15.10.2022)

Web Kaynak, (2022). ATA Chapters. https://itlims-zsis.meil.pw.edu.pl/pomoce/ESL-/2016/ATA_Chapters.pdf (Erişim Tarihi: 27.10.2022)

Web Kaynak, (2022). Cable Clamp. <https://www.aircraftspruce.com/catalog-/appages/ms21919clamps.php> (Erişim Tarihi: 27.11.2022)

Yardıı, O., (2022). Havacılıkta Parça ve Cihaz Sertifikasyonu Yol Haritası. Havacılık Araştırmaları Dergisi - Journal of Aviation Research, 4(2), 177-196.

Zhu, Z., La Rocca, G., van Tooren, M.J.L., (2017). A methodology to enable automatic 3D routing of aircraft Electrical Wiring Interconnection System. CEAS Aeronautical Journal, 8, 287-302.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Mert Yenilmez

Doğum Tarihi:

Yabancı Dil:

Eğitim Durumu

Yüksek Lisans: Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Ana Bilimdalı (2023)

Lisans: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği (2019)

Çalıştığı Kurum/kurumlar – Pozisyonlar (Yıl/Yıllar):

STM – Uzman Aviyonik Tasarım Mühendisi (2023-Halen)

Cornea Havacılık Sistemleri – Kablo Tasarım Mühendisi (2021-2023)

3EN Savunma ve Havacılık Sistemleri – Kablo Tasarım ve AR-GE Mühendisi (2020-2021)

MZD Savunma ve Mekatronik Sistemleri – Kablo Tasarım Mühendisi (2019-2020)

Yayınlar:

1. ARAZ, Ş.O. ve YENİLMEZ, M., (2023). Wire Harness Design for Transport Category Aircrafts and Power Cable Preference, 9th International Zeugma Conference on Scientific Research, S: 514-519, ISBN: 978-625-6404-76-2