

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇAKLARDA KULLANILAN KİMYASALLARIN KABLOLAR
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YAŞAR KOYUTÜRK

KOCAELİ 2020

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**UÇAKLARDA KULLANILAN KİMYASALLARIN KABLOLAR
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YAŞAR KOYUTÜRK

Prof. Dr. Faruk ARAS

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Belgin Genç ÖZTOPRAK

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv

.....

Doç. Dr. Nursel CAN

Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.09.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Havayolu ulaşımı son yıllarda hızla artan bir ulaşım çeşididir. Bu ulaşım çeşidine talebin artması teknolojik gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Teknolojik gelişmeler devam ederken havacılıkta kullanılan malzemelerin yaşlanma ömürlerini sorgulama ihtiyacı duyulmuştur. Bunun en büyük nedenleri meydana gelmiş olan kazalardır. Dayanımı yüksek malzemeler üretmek ve onların çalışmaları için uygun koşulları oluşturmak uçaklarda zor bir hal almaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada; 3 farklı uçak tipinin farklı bölgelerinden alınan güç kablolarının; kimyasal, termal ve mekaniksel dayanımları incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken de-icing sıvısı, hidrolik sıvısı, uçak temizleme sıvısı ve jet (A1) yakıtı kullanılmıştır. FTIR analizi, görsel kontrol ve hassas terazi ile ölçüm tekniklerinden faydalanılmıştır.

Bu tez çalışmasında; sahip olduğu bilgi birikimi ve alanındaki uzmanlığıyla desteğini esirgemeyen, değerli vaktini bana ayıran danışman hocam Prof. Dr. Faruk ARAS'a çok teşekkür ederim. Ayrıca tez sürecince her konuda destekleriyle yanımda olan; Doç. Dr. Belgin Genç Öztoprak ve Doç. Dr. Erhan Akman'a sonsuz teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca moral ve desteklerini benden esirgemeyen değerli babam Adem KOYUTÜRK, değerli annem Emine KOYUTÜRK 'e ve tüm kardeşlerime sonsuz teşekkür ediyorum.

Ağustos-2020

Yaşar KOYUTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Hava Araçlarının Kullanım Yoğunluğu	4
1.2. Hava Araçlarının Güvenilirliği.....	6
1.3. Uçaklarda Kabloların Maruz Kaldığı Koşullar	8
1.4. EWIS sistemi ve kablo yaşlanması üzerine çalışmalar	10
1.5. Uçak Kabloları	15
1.5.1. Uçaklarda kullanılan kablo tipleri.....	17
1.5.2. Uçaklarda yaşlanmadan kaynaklanan kablo arızaları	18
1.5.3. Uçak kablolarında yaşlanma mekanizmaları	20
1.5.3.1. Hızlandırıcı etkiler.....	21
1.5.4. EWIS’ de meydana gelen kablo yaşlanmasının değerlendirilmesi	24
2. MALZEME VE YÖNTEM	26
2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	26
2.1.1. Buz çözme (De-icing) sıvısı.....	26
2.1.2. Hidrolik sıvısı.....	27
2.1.3. Jet A1 yakıtı	27
2.1.4. Uçak temizleme sıvısı	28
2.1.5. Deneyde kullanılan kablolar	30
2.1.5.1. Boeing 737-800 uçağına ait BMS13-48T24C030 kodlu kablo	31
2.1.5.2 Airbus A 300 uçağına ait NSA935131 kodlu kablo.....	33
2.1.5.3. Airbus A 320 uçak serisinden alınan EN2267-008A140P kodlu kablo	35
2.2. Deneyde Kullanılan İnceleme Yöntemleri	38
2.2.1. FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi).....	38
2.2.2. Ağırlık testi	39
2.2.3. Görsel kontrol yöntemi	39
2.3. Deneysel Uygulama	40
2.3.1. Kablo numunelerinin hazırlanması	40
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
3.1. Yaşlanma Sürecinin Başlanması	44
3.2. 250 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları	47
3.3. 500 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları	49

3.4. 750 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları	51
3.5. 1000 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları	53
3.6. Kablo Ağırlıklarında Meydana Gelen Değişimler	56
3.7. FTIR Sonuçları	58
3.7.1. 4 sıvı grubunun maruz kaldığı PTFE kablosunun analizi	60
3.7.2. De-icing sıvısının PTFE kablo yalıtımına etkisi	64
3.7.3. Hidrolik sıvısının PTFE kimyasal yapısına etkisi	66
3.7.4. Jet yakıtının PTFE kimyasal yapısına etkisi	68
3.7.5. Temizleme sıvısının PTFE kimyasal yapısına etkisi	70
3.7.6. ETFE kablo yalıtım malzemenin sıvılardan etkilenmesi genel yorumu	72
3.7.7. Tüm kabloların FTIR sonuçlarının karşılaştırılması	78
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	84
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Yıllara göre doluluk oranlarındaki artış	5
Şekil 1.2.	Bölgelere göre yolcu doluluk oranları	5
Şekil 1.3.	Havayollarının 1972-2019 yılları arasında kaza ölüm sayıları	6
Şekil 1.4.	2019 yılında oluşan kazalar ve oluştukları yerler	7
Şekil 1.5.	Bir uçakta bir kablonun maruz kaldığı çeşitli koşullar	9
Şekil 1.6.	Kabloların bölümleri	16
Şekil 1.7.	Bir güç kablosu örneği (Ayrıca bu kablo testlerde kullanılan kablolardan birisidir.)	16
Şekil 1.8.	Airbus A320 uçağının ön kargo kompartmanının ön kısmından bir görüntü. (kabloların demetlenmesi).....	19
Şekil 1.9.	Kimyasal etkenlerine maruz kalmış bir kablo	22
Şekil 1.10.	Birçok yaşlanma etkeninin aynı anda bulunduğu kablo demeti	23
Şekil 1.11.	Fırında termal yaşlandırma	25
Şekil 2.1.	Geldiği meydana de-icing sıvısı uygulanmış bir uçak.....	26
Şekil 2.2.	Uçağa jet yakıtı ikmali	28
Şekil 2.3.	Dış yıkama işlemi yapılan bir uçak	29
Şekil 2.4.	737-800 uçağına ait yakıt pompası	30
Şekil 2.5.	Yakıt pompa kablosunun kısımları	31
Şekil 2.6.	737-800 uçağına ait BMS13-48T24C030 kodlu kablonun bulunduğu WDM şeması	32
Şekil 2.7.	737-800 uçağı yakıt pompasının yağmurlu bir günde çekilmiş fotoğrafı.....	33
Şekil 2.8.	NSA935131 kodlu kablonun kısımları	33
Şekil 2.9.	Airbus A 300 uçağına ait NSA935131 kodlu kablonun bulunduğu AWM şeması	34
Şekil 2.10.	Airbus A300 serisine ait uçağın motorunda IDG ve kablosunu	35
Şekil 2.11.	Deneyde kullanılan EN2267-008A140P kodlu kablonun kısımları	36
Şekil 2.12.	Airbus A 320 uçak serisinden alınan EN2267-008A140P kodlu kablonun uçakta bulunduğu yer	36
Şekil 2.13.	Airbus A320 uçağında EN2267-008A140P kodlu kablonun uçak üzerinde bulunduğu bölge	37
Şekil 2.14.	Airbus A320 serisine ait uçaktan alınan EN2267-008A140P kodlu kablonun AWM'si	37
Şekil 2.15.	FTIR analizi için kullanılan Perkin Elmer Spektrum 100 FTIR Spectrometer'i	38
Şekil 2.16.	Hassas ölçüm için kullanılan And Gr-200 cihazı	39
Şekil 2.17.	Deneyde kullanılan 3 adet farklı kablo numunesine ait örnekler	42
Şekil 2.18.	AJŞ, BKT, CLU ve DMÜ kablo grupları ve buldukları sıvılar	42
Şekil 2.19.	ENV, FOW, GPX ve HRY kablo grupları ve buldukları sıvılar	43
Şekil 2.20.	Deneyde kullanılan yaşlandırma fırınları.....	43
Şekil 3.1.	Fırınlara 2 saatlik süreç için kimyasallarla birlikte konulan kablolar.....	46
Şekil 3.2.	Özdeş iki fırına bağlanılan kablo numuneleri.....	47
Şekil 3.3.	CLU grubu kablolar (solda), AJŞ grubu kablolar(sağda)	47

Şekil 3.4. ENV grubu kablolar(solda), GPX grubu kablolar (sağda).....	48
Şekil 3.5. Temizleme sıvısına maruz kalan kablo grubu (FOW).....	48
Şekil 3.6. 250-500 saat arası için fırına konulan kablo numuneleri.....	49
Şekil 3.7. CLU kablo grubu (solda), AJŞ kablo grubu (sağda)	50
Şekil 3.8. ENV kablo grubu (solda), GPX kablo grubu (sağda).....	50
Şekil 3.9. De-icing sıvısına maruz kalan kablo grubu (FOW).....	51
Şekil 3.10. CLU kablo grubu (solda), AJŞ kablo grubu (sağda).	51
Şekil 3.11. ENV kablo grubu (solda), GPX kablo grubu (sağda).....	52
Şekil 3.12. Jet yakıtına maruz kalan kablo grubu (FOW).....	52
Şekil 3.13. 1000 saatlik süre sonunda kabloların fırından çıkmadan son durumları	53
Şekil 3.14. CLU kablo grubu (solda), AJŞ kablo grubu (sağda)	54
Şekil 3.15. ENV kablo grubu (solda), GPX kablo grubu (sağda).....	54
Şekil 3.16. 4 sıvı grubuna maruz kalan kablo grubu (FOW)	55
Şekil 3.17. Tüm yaşlandırma sürecinden geçen kablolar.....	55
Şekil 3.18. PTFE'nin molekül yapısı	59
Şekil 3.19. ETFE'nin molekül yapısı	59
Şekil 3.20. Saf NSA935131 PTFE kablo yalıtımının FTIR analizi.....	60
Şekil 3.21. 4 sıvı türüne maruz kalan NSA935131kodlu kablo (PTFE).....	61
Şekil 3.22. Saf EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE)	62
Şekil 3.23. 4 sıvı türüne maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE).....	63
Şekil 3.24. De-icing sıvısına maruz kalan NSA935131 kablo (PTFE).....	64
Şekil 3.25. De-icing sıvısına maruz kalan EN2267-008A140P kablo (PTFE).....	65
Şekil 3.26. Hidrolik sıvısına maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE)	66
Şekil 3.27. Hidrolik sıvısına maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE).....	67
Şekil 3.28. Jet yakıtına maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE)	68
Şekil 3.29. Jet yakıtına maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE).....	69
Şekil 3.30. Temizleme sıvısına maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE).....	70
Şekil 3.31. Temizleme sıvısına maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE).....	71
Şekil 3.32. Saf BMS13-48T24C030 kodlu kablunun (ETFE) FTIR analizi.....	72
Şekil 3.33. Jet yakıtına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablunun (ETFE) FTIR analizi	73
Şekil 3.34. Temizleme sıvısına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablunun (ETFE) FTIR analizi	74
Şekil 3.35. Hidrolik sıvısına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablunun (ETFE) FTIR analizi	75
Şekil 3.36. De-icing sıvısına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablunun (ETFE) FTIR analizi	76
Şekil 3.37. 4 sıvı türüne de maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablunun (ETFE) FTIR analizi	77
Şekil 3.38. NSA935131 kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri	78
Şekil 3.39. EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri	79
Şekil 3.40. EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri	80

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Tüm kablo gruplarının maruz kaldıkları sıvılar (D: De-icing sıvısı H: Hidrolik sıvısı T: Temizleme sıvısı J: Jet yakıtı)	45
Tablo 3.2. NSA 935131 kodlu IDG kablo yalıtımı	56
Tablo 3.3. EN2267-008A140P kodlu IDG arabus kablo yalıtımı.....	57
Tablo 3.4. BMS13-48T24C030 kodlu yakıt pompası kablo yalıtımı.....	58



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

τ	: Ömür
A	: Sabit sayı
Exp	: Exponansiyel
U	: Aktivasyon enerjisi
T	: Sıcaklık (Kelvin)

Kısaltmalar

EWIS	: Electrical Wiring Interconnect System (Elektrik kablo bağlantı sistemi)
FTIR	: Fourier Transform İnfrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi)
HSBC	: The Hong Kong and Shanghai Banking Corporation (Hong Kong ve Şangay Bankacılık Şirketi)
IATA	: International Air Transport Association (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği)
IDG	: Integrated Drive Generator (Entegre Tahrik Jeneratörü)
PTFE	: Polytetrafluoroethylene (Politetrafloroetilen)
ETFE	: Ethylene Tetraflouroethylene (Etilentetrafloroetilen)
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık Otoritesi)
EASA	: European Union Aviation Safety Agency (Avrupa Havacılık Güvenlik Ajansı)
TWA	: Trans World Airlines
ATRSRAC	: Aging Transport Systems Rulemaking Advisory Committee (Yaşlanma Ulaştırma Sistemleri Karar Verme Danışma Komitesi)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
PE	: Polyethylene (Polietilen)
KW	: Kilowatt
EPR	: Ethylene Propylene Rubber (Etilen propilen kauçuk)
XLPE	: Cross-Linked Polyethylene (Çapraz bağlı Polietilen Yalıtım)
PI	: Aromatic Polyimide Tape-Wrapped Isulated Wire (Aromatik Poliimid Bant Sarılı İzoleli Kablo)
CP	: Polytetrafluoroethylene/Polyimide Composites (Politetrafloroetilen / poliimid kompozitler)
ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
PV	: Polyvinyl Chloride/Nylon (Polivinil Klorür / Naylon)
APU	: Auxiliary Power Unit (Yardımcı Güç Ünitesi)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
HF	: High Frequency (Yüksek Frekans)

VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
V	: Voltage (Voltaj)
FEP	: Fluorinated Ethylene Propylene (Florlu Etilen Propilen)
PVFD	: Polyvinylidene Fluoride (Poliviniliden Florür)
IEC	: International Electrotechnical Commission(Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
JP	: Jet Propellant (Jet İtici Gaz)
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
WDM	: Wiring Diyagram Manuel (Kablolama Diyagram El Kitabı)
AWM	: Aircraft Wiring Manuel (Uçak Kablolama El Kitabı)
CF ₂	: Florokarbon
OH	: Hidroksil
C	: Carbon (Karbon)
O	: Oksijen



UÇAKLARDA KULLANILAN KİMYASALLARIN KABLOLAR ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Uçak elektrik kablo bağlantı sistemi (EWIS) farklı uçaklar üzerinde bulunan kabloların yaşlanma konularını incelemektedir. Bir uçak; fonksiyonlarını meydana getirebilmek için birçok sistem kullanmaktadır. Bu sistemler; yakıt sistemleri, hidrolik sistemleri, kumanda sistemleri, motor sistemleri, seyriüsefer sistemleri, elektrik üretim sistemleri vb. olarak sıralanabilmektedir. Bu sistemlerin bu işlevleri yerine getirebilmesi için gereken komponentlerin, rölelerin, bilgisayarların, sensörlerin vb. gibi ekipmanların yanında bu ekipmanlar arasında kusursuz iletişimi kurmakta oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu iletişimi sağlayan elemanlar uçak kablolarıdır. Uçak kabloları bu özelliğinden dolayı Dünya havacılık gündeminde önemli bir yer tutmuş ve tutmaya devam etmektedir. Uçakta kullanılan elektriksel kablolar birçok elektriksel fonksiyonu, çeşitli şartlarda yerine getirmek zorundadır. Bu çeşitli şartlara göre o bölgede kullanılan kablonun dizaynı değişebilmektedir. Örneğin; uçak iniş takımı yuvasında bulunan bir kablonun maruz kaldığı çevresel koşullar ile uçak elektrik- elektronik kompartmanında bulunan kablonun maruz kaldığı çevresel koşullar birbirinden oldukça farklıdır. Bütün bu farklılıklar düşünüldüğünde gereksinimi karşılayabilmek için kullanılacak kablonun dayanımı ona göre dizayn edilmesi gerekmektedir. Bir kablo çevresel açıdan yapısını etkileyecek herhangi bir olumsuz etkiye maruz kaldıktan sonra bu kablonun bu etkiye maruz kalma süresi de yaşlanma mekanizmasını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir.

Bu tezde; uçaklarda kullanılan kimyasalların kablolar üzerine etkileri incelenmektedir. Deney numunesi olarak alınan 3 farklı kablo grupları farklı tip kimyasallar ve ısı işlemlere maruz bırakılmıştır. Bu çalışmada; hassas terazi ölçümü, görsel kontrol, FTIR analizi gibi inceleme tekniklerini kapsamaktadır. Çalışmanın amacı farklı tipteki kabloları farklı tipteki kimyasalların ve ısı işlemlerin etkisini incelemektir. Bu kimyasal ve dış ortamın sıcaklık değişimleri kablonun dış kılıfına zarar vererek zarar verdiği bölgede kablo-kablo arası yada kablo-uçak yapı arası arklara sebep olmaktadır. Bu arkları engellemenin yolu kablo yapısındaki bozulmaları önlemekten geçmektedir. Aksi takdirde maddi ve manevi faturası ağır olabilir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Kablo Bağlantı Sistemi, FTIR Analizi, Kablo Bozulması, Kimyasallar, Yaşlanmış Kablo.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CHEMICALS USED IN AIRCRAFT ON THE CABLES

ABSTRACT

Aircraft Wiring Interconnection System (EWIS) examines the aging issues of cables on different aircraft an airplane; It uses many systems to create its functions. These systems are; fuel systems, hydraulic systems, control systems, engine systems, navigation systems, power generation systems etc. can be listed as. Components, relays, computers, sensors, etc. required for these systems to perform these functions. It has an important place in establishing a perfect communication between these equipment as well as such equipment. The elements that provide this communication are aircraft cables. Aircraft cables have an important place in the world aviation agenda due to this feature and continue to hold. Electrical cables used in aircraft have to perform many electrical functions under various conditions. According to these various conditions, the design of the cable used in that region may change. For example; the environmental conditions exposed by a cable in the aircraft landing gear housing are quite different from the environmental conditions exposed by the cable in the aircraft electrical-electronic compartment. When all these differences are considered, the strength of the cable to be used must be designed accordingly. After a cable is exposed to any negative effects that will affect its structure in terms of its environment, the duration of this cable's exposure to this effect is also one of the factors affecting the aging mechanism.

In this thesis; investigation of the chemicals and termal stress effects on aircraft cables are examined. Three different cables, which were tested as an experiment test, were exposed to different types of chemicals and heat treatments. This study; It covers inspection techniques such as precision scale measurement, visual control, and FTIR analysis. The purpose of the study is to investigate the effects of different types of chemicals and heat treatments on different types of cables. These chemical and external temperature changes cause damage to the outer sheath of the cable, causing arcs between cables and cables or between cables and aircraft structures. The way to prevent these arcs is to prevent deterioration in the cable structure. Otherwise, material and moral invoices may be heavy.

Keywords: Electrical Wiring Interconnect System, FTIR Analysis, Wire Degradation, Chemicals, Aged Wire.

GİRİŞ

Günümüz dünya nüfusu hızla artmaktadır. Dünya Bankasının 8 Nisan 2018’de ortaya koyduğu çalışmada dünya nüfusunun 7,594 milyardır [1]. Şüphesiz o günden bugüne dünya nüfusunda artış devam etmektedir [2]. Bu artış bazı talepleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu taleplerin başında ulaşım öncelikli sırayı alan ögelerden birisidir. Şüphesiz insanoğlu bir yere gitmeye karar verdiğinde bu ulaşımı gerçekleştirecek en kısa ve en güvenilir yolu arayış içerisine girmektedir. Bu arayış ise bizi hava araçlarına yönlendirmektedir. Hava araçlarının güvenilirliği arıza zamanlarının azlığıyla doğrudan orantılıdır. Bir sistemin arızası genellikle ekipmanlardan veya kablolardan meydana gelmektedir.

Bu tezde uçaktaki çevresel koşullar düşünülerek 3 adet farklı uçak tiplerinde ve farklı sistemlere ait kablo 3 farklı kablo çeşidinin uçakta kullanılan bazı kimyasallara maruz bırakılarak yaşlanma davranışları incelenmiştir. Kullanılan kablolar;

1. NSA935131 kodlu Airbus A300 serisinin uçak motorunda bulunan uçak sistemlerinin elektrik enerjisini karşılayan IDG’nin (Integrated Drive Generator) kablosudur.
2. BMS13-48T24C030 kodlu Boeing 737 serisinin yakıt sisteminde bulunan ve motorlara kullanacakları yakıtı sağlayan Booster pompaların kablosudur.
3. EN2267-008A140P kodlu Airbus A320 serisinin kanatlarında bulunan ve IDG’den gelen elektrik enerjisinin uçak sistemlerine dağılımının gerçekleştiren baranın kablosudur.

Bu kabloları seçme sebeplerini şöyle sıralamak gerekirse;

- Uçakta önem derecesi yüksek olan işlemlerde görev yapan kablolardır.
- Yaşlanma etkenlerinin yüksek olduğu bölgelerde çalışmak zorunda olan kablolardır.
- Her biri yüksek miktarlarda akımlar taşıyarak yaşlanma faktörlerinin önemli bir etkeni olan termal yaşlanmaya maruz kalabilmektedir.

- Yaşlanma faktörlerinden kimyasal ve nem kirliliğine maruz kalan kablolardır.
- Uçağın bakımları sırasında en fazla insan temasının olabileceği bölgelerde bulunan kablolardır.

Bu kabloların dış kılıflarında bulunan polimer yapılar ise;

- a) NSA935131 kodlu kabloda PTFE (Politetrafloroetilen)
- b) BMS13-48T24C030 kodlu kabloda ETFE (Etilentetrafloroetilen)
- c) EN2267-008A140P kodlu kabloda ise PTFE (Politetrafloroetilen)

malzemeleri kullanılmıştır.

Her bir kablo türünden kendi arasında eşit boylarda olacak şekilde dokuz'ar adet kablo örneği alınmıştır. Bu kabloların yaşlandırma öncesi hassas terazi ile tartımları yapılmış ve yaşlandırma bittikçe sonra tekrar tartımları yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. Her bir kablo türünden 1'er adet alınarak örnek yalıtım numunesi alınmıştır. Bu numunelerin FTIR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre) analizi yapılarak yaşlanma sonrasında alınan FTIR analizi ile kıyaslaması yapılmıştır. Çıkan sonuçlardan hangi bağların oluştuğunu hangi bağların yok olduğu gözlemlenmiştir. Bu kablo numunelerine isimler verilmiş ve bu isimler termal bandların üzerine yazılarak her bir kablonun üzerine yapıştırılmıştır. Deney öncesi kablolarda herhangi bir problem olup olmadığına dair görsel kontrol yapılmıştır. Bu işlem aynı zamanda FAA (Federal Aviation Authority), EASA (European Aviation Safety Agency) vb. otoriteler tarafından gösterilen standart bir kontrol işlemlerindedir. Her bir kablo uçaklarda kullanılan de-icing, jet yakıtı (A1), uçak temizleme sıvısı ve hidrolik sıvısı içerisinde 2'şer saat geçirecek şekilde bir ön yaşlandırma süreci başlatılmıştır. Bu 2'şer saati kablo numuneleri FAA (Federal Aviation Authority) dokümanında belirtilen koşullarda (Aircraft Wiring Degradation Study) de-icing ve hidrolik sıvıları için 50 °C 'de, uçak temizleme sıvısı için 65 °C'de, jet yakıtı (A1) için 25 °C'de fırınlar hazırlanarak bu süreyi bu sıvıların içerisinde fırınlarda geçirmiştir. Daha sonra her bir kablo 250-500-750-1000 saatlik periyotlarda fırınlarda tutularak yaşlandırma sürecine devam edilmiştir. Her geçen 250'şer saatin sonunda belirlenen kablolar aynı kimyasala diğer belirlenen kablolar ise bir öncekinden farklı türde kimyasala aynı 2'şer saat sürelerde ve önceden

belirlenen sıcaklıklar göz önünde bulundurularak maruz bırakılıp tekrar fırınlara atılmıştır.

Yaşlandırma süreçleri bittikten sonra kablolar yaşlandırma süreçlerinden olan görsel kontrol, FTIR analizi ve hassas terazi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tezin ana amacı; farklı tip uçaklarda bulunan farklı tip elektriksel kabloların kimyasallar ve ısı etkiler karşısında ne kadar etkilendiğini tespit etmektir. Bu amaçla tezde; farklı uçak tiplerinden alınan farklı tip kablolar çeşitli kimyasallara maruz bırakılarak termal yaşlandırma yapılmıştır. Bu yaşlandırma süreci sonunda bu kablo numuneleri çeşitli test süreçlerinden geçirilmiştir.



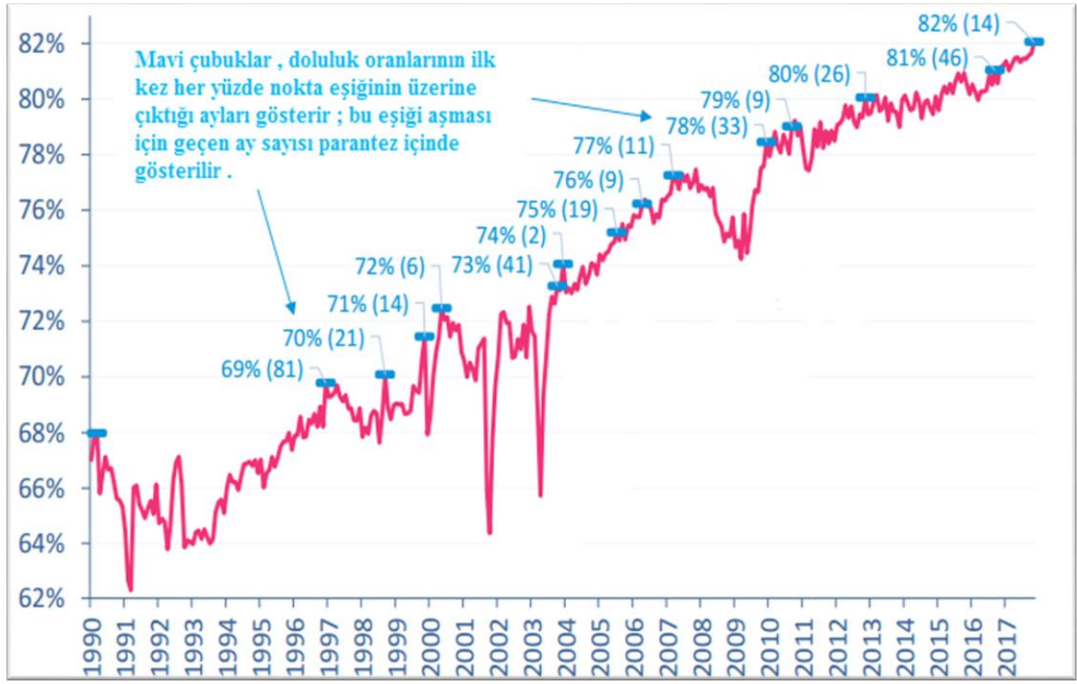
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Hava Araçlarının Kullanım Yoğunluğu

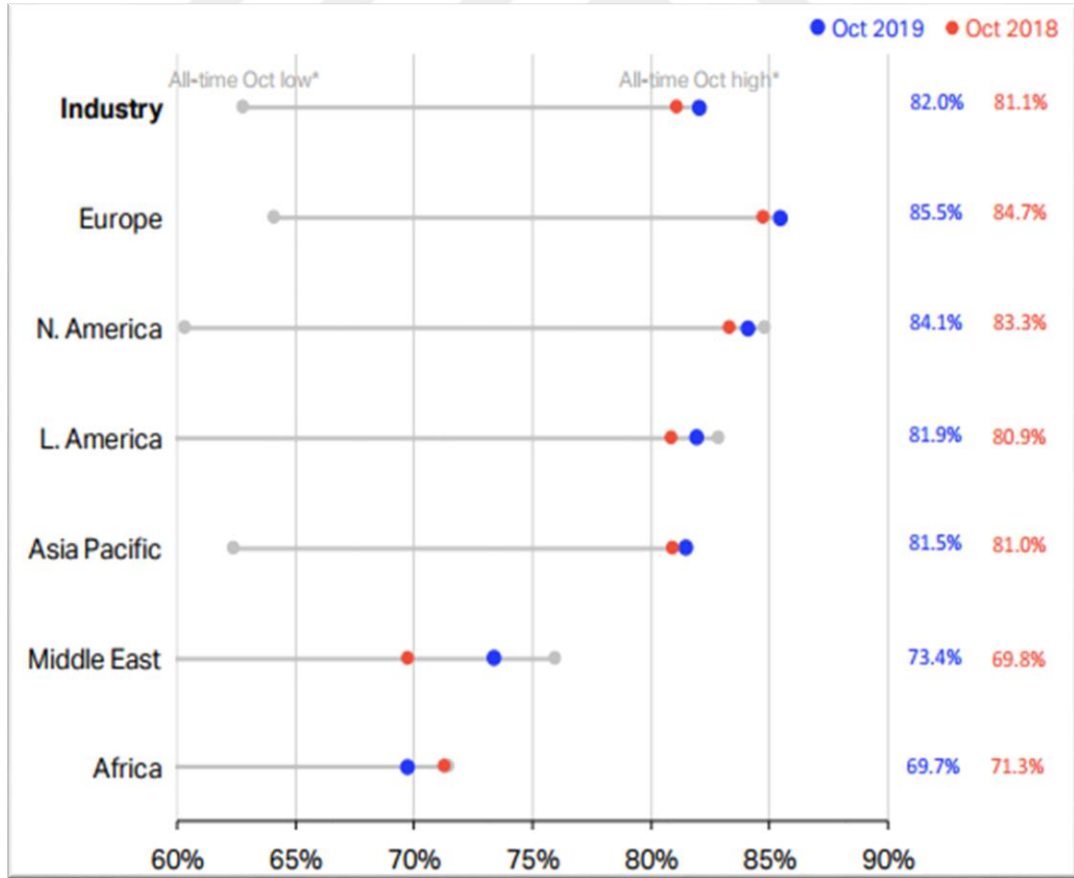
Havacılık günümüzde en popüler ulaşım araçlarından biri olmayı başarmıştır. 2019 yılında HSBC grubu tarafından yapılan bir araştırmaya göre dünya genelinde günde yaklaşık olarak 11.9 milyon insan uçakla seyahat etmektedir. Bu seyahat eden kişi sayısı ele alındığında yaklaşık olarak Küba'nın nüfusu kadar bir insan topluluğu anlamına gelmektedir. Gökyüzünde her gün yeni bir ülke diyebileceğimiz kadar insan uçmaktadır. Yine bu araştırmaya göre; dünya genelinde yaklaşık olarak günde 107 bin uçuş gerçekleşmektedir [3].

Diğer bir konu ise bu zamana kadar herhangi bir uçuş yapmamış olsak bile şuanda kullandığımız birçok eşya hava taşımacılığı yolu ile bizlere ulaştırılmıştır. Evimizde, işyerimizde, sokakta, alışveriş merkezlerinde görmekte olduğumuz birçok ürün havayolu taşımacılığıyla bulunduğu yere gelmiştir. Yaptığımız herhangi bir seyahat veya kargo gönderimini en kısa zamanda gerçekleştirmek istiyorsak şüphesiz en kısa yol havayolu ulaşımıdır. Bu veriler düşünüldüğünde hava araçlarının hayatımızdaki yeri ve öneminin ne kadar çok olduğu ortaya konulmaktadır. Hava aracı denildiğinde; uçak, helikopter, insansız hava aracı, balon, zeplin, planör ve yelken kanat akla gelmektedir. Fakat bu noktada gerek hızı gerekse taşıma kapasitesi olarak uçak ön plana çıkmaktadır. Çünkü havayolu ulaşımını kitleler halinde yerine getirmemize olanak sağlayan hava araçlarının en popülerleri şüphesiz ki uçaktır.

Günümüzde hızlı ve kolay ulaşım talebinin gün geçtikçe artması uçaklara olan ilgiyi de arttırmaktadır. Birçok havacılık şirketinin yapmış olduğu indirimler ve kampanyalar bu talepleri yukarılara çekmektedir. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliğinin (IATA) Şekil 1.1'e göre yolcu sayısındaki artışın yıllara göre değişimi gösterilmektedir. IATA'nın verilerine göre; sektör genelinde yolcu doluluk oranı 2017 yılının kasım ayında % 82'leri kırarak rekor seviyeye ulaşmıştır [5]. Bu şekli dikkatle incelediğimizde yolcu doluluk oranlarının yıllar geçtikçe arttığını gözlemlemekteyiz.



Şekil 1.1. Yıllara göre doluluk oranlarındaki artış [4]



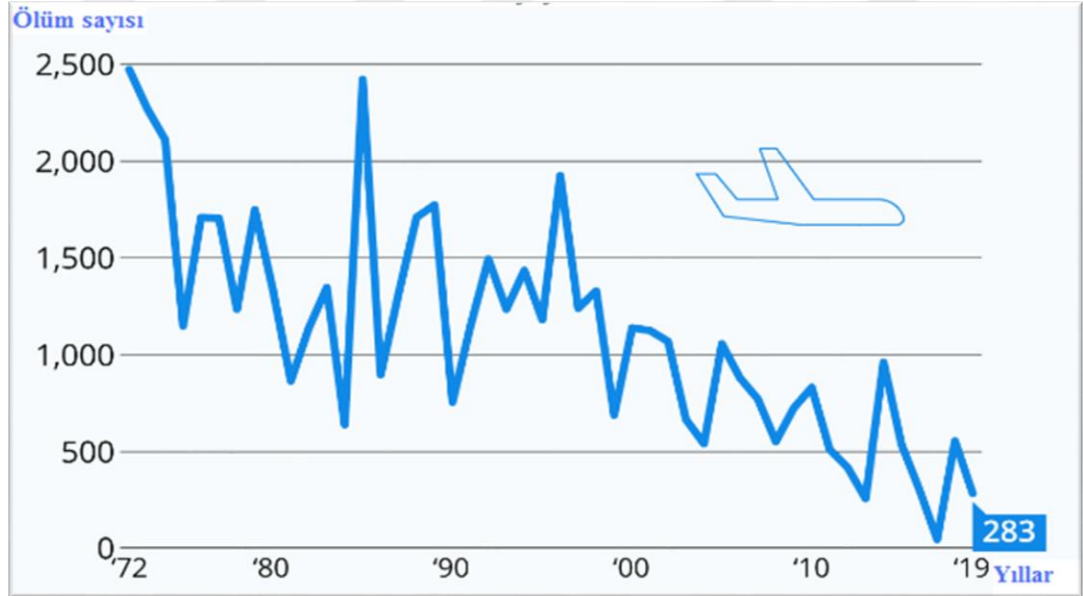
Şekil 1.2. Bölgelere göre yolcu doluluk oranları [4]

Şekil 1.2’de m ise bölgesel olarak doluluk oranlarının 2018 -2019 arasındaki artışını göstermektedir. Afrika bölgesinde doluluk oranları düşse de hemen hemen tüm dünya bölgelerinde doluluk oranlarında artış devam etmiştir. IATA’ya göre 2020 yılında uçak teslim sayısında artış tahmin edilmektedir [4].

Bütün bu verilerin ışığında hava ulaşımının insan hayatı için önemini görmekteyiz. Bu önem bu ulaşım şeklinin güvenilirliğini sorgulamamız gerektiğini düşündürmektedir. Çünkü bir uçak yüzlerce sistemden oluşan bir araçtır. Bu aracın güvenilirliği oldukça hassas bir konudur.

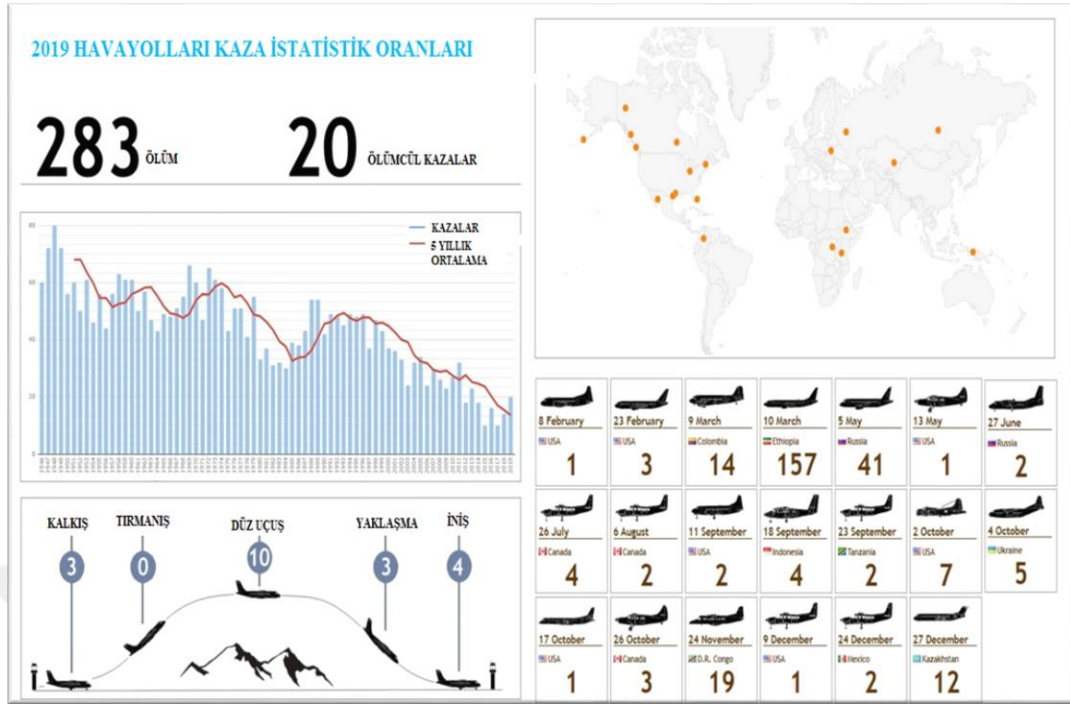
1.2. Hava Araçlarının Güvenilirliği

Artan uçuş sayıları ve uçaklara rağmen havayolu ulaşımı güvenilirliğini yıllar geçtikçe arttırmaktadır. Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere 2019 yılı 283 yolcunun ölümüyle önemli derecede havayolu güvenilirliğini göz önüne koymaktadır. Havayolu ulaşımının en az kayıp verdiği yıl ise 2017 yılında gerçekleşen 10 kaza sonucu 44 can kaybının yaşandığı yıldır.



Şekil 1.3. Havayollarının 1972-2019 yılları arasında kaza ölüm sayıları [6]

Şekil 1.3’de Havayollarının 1972-2019 yılları arasında kaza ölüm sayıları verilmiştir. Bu şekle göre ölüm sayıları sürekli düşmüştür.



Şekil 1.4. 2019 yılında oluşan kazalar ve oluştuıkları yerler [7]

Şekil 1.4’de 2019 yılında oluşan kazalar ve oluştuıkları yerler görülmektedir. 20 ölümcül kazada 283 kişi ölmüştür [7].

2019 yılında gerçekleşen Boeing 737 Max kazasına rağmen 2019 yılı ticari hava taşımacılığında en az kazaların olduğu yıllardan birisidir. 2019 verilerine göre gerçekleşen 2 milyon uçuştan sadece 1 tanesinde ölümcül kaza gerçekleşmiştir.

Havacılık güvenlik ağının (Aviation Safety Network) Ceo’su Harro Ranter’in verdiği ifadelerle göre; ‘Eğer kazalar 10 yıl öncesi ile aynı kalmış olsaydı, geçen yıl 34 tane ölümcül kaza olacaktı ve 2000 yılıyla aynı kalmış olsaydı 65 tane ölümcül kaza gerçekleşmesi olasıydı’.

Bu şunu gösteriyor ki; hava taşımacılığı güvenilirliği büyük oranda artmıştır [7]. Havacılık sektörü bağlı olduğu tüm kollarıyla sürekli olarak gelişmekte olan bir sektördür. Bu kolların en dinamik yapıtaşlarından birisi uçak üretimidir. Hava taşımacılığının güvenilirliğinin artması şüphesiz ki uçaklarda kullanılan teknolojilerin gelişimiyle, kullanılan malzemelerin dayanımıyla ve sistemlerin daha güvenilir hale getirilmesiyle başarılmıştır. 30-40 yıl öncesine gittiğimizde şuan ki uçak teknolojilerinden çok farklı uçak yapılarını görmemiz mümkündür. Örneğin; o

yıllarda uçaklarda bolca kullanılan devre kesiciler (circuit breakers) artık yerlerini konsollar devreleriyle (console device kontrol) kontrol edilen sistemlere bırakmıştır.

Uçaklar güvenli bir şekilde uçuş işlevini yerine getirebilmek için birçok sisteme ihtiyaç duymaktadır. Bu sistemler; uçuş kumanda sistemi, hidrolik sistemler, yangın söndürme sistemleri, elektrik sistemleri vs. sistemlerdir. Bu sistemlerde birçok eleman kullanılmaktadır. Her bir elemanın sistem içerisinde görevleri farklıdır ve bu elemanlar birbirlerine elektriksel veya mekaniksel bağlanmıştır. Bu elektriksel olarak bağlantıyı sağlayan elemanlar uçak kablolarıdır.

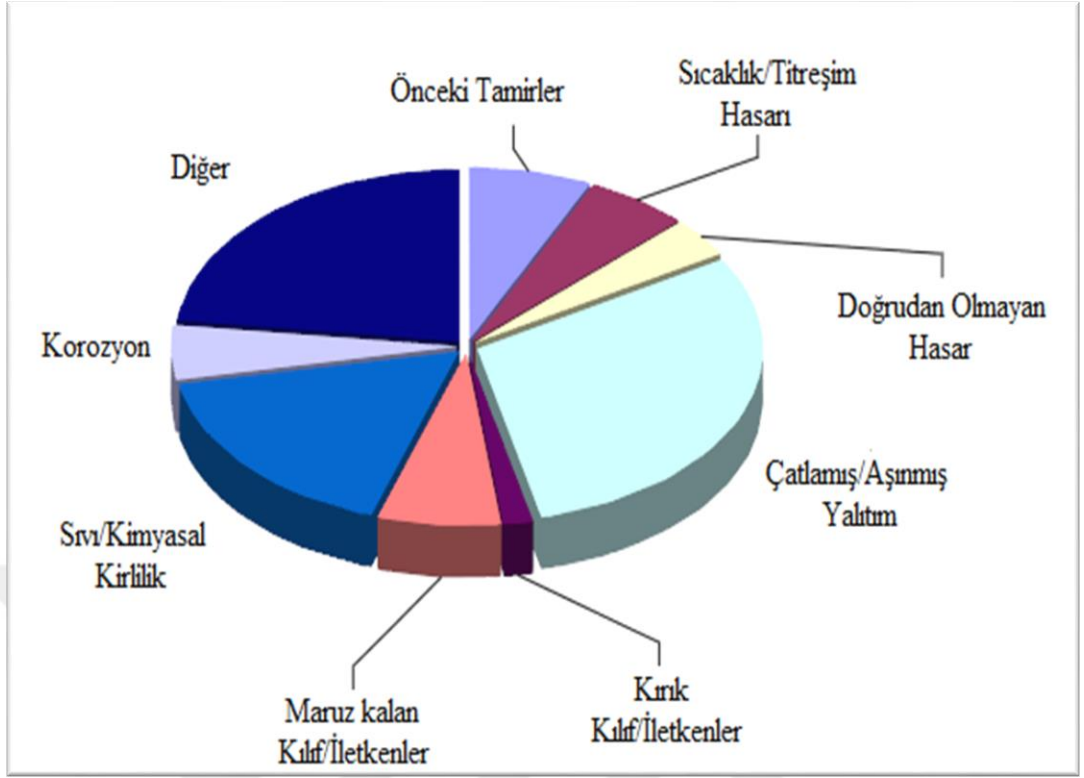
Modern uçak sistemleri uçuş fonksiyonlarını gerçekleştirebilmek için yüzlerce mil kablo içermektedir. Uçaklarda kullanılan kablo miktarının artması beraberinde kablolarda kullanılan yalıtkan malzemesinin artmasıyla uçak ağırlığının artmasına sebep olmaktadır [8].

Havayolu ulaşımı günümüzde en çok kullanılan ulaşım çeşididir. Şüphesiz bunun en önemli sebepleri hızlı ve güvenilir olmasıdır. Havayolu ulaşımı yenilenen teknolojisiyle en güvenilir ulaşım türüdür. Ancak ifade edilen bunlar kaza riskinin olmadığı anlamına gelmemektedir. Gelişen teknolojiler bu kaza risklerini önemli ölçüde azaltmayı başarmıştır [9].

1.3. Uçaklarda Kabloların Maruz Kaldığı Koşullar

Bir uçak düşünüldüğünde çevresel koşullar olarak birçok koşulun olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Her bir kablo farklı türden bir çevresel etkiye maruz kalabilir. Kablo sistemlerinde oluşan titreşim, nem, metal talaşları, dolaylı hasar, kirlenme ve aşırı sıcaklık gibi faktörler uçak elektrik sistemlerinde kablolarda bozulmalara sebep olmaktadır [10].

Fiziksel, kimyasal ve elektriksel olarak kablo yalıtkan polimerlerini ve iletkenlerini etkileyen birçok bozunma çeşitleri vardır. Bu etkiler, termal oksidasyon, kimyasal oksidasyon, foto-oksidasyon, ultraviyole ışınlar ve hidrolizdir [11].



Şekil 1.5. Bir uçakta bir kablonun maruz kaldığı çeşitli koşullar [11]

Şekil 1.5’de bir kablonun bir uçakta maruz kaldığı çeşitli koşullar gösterilmektedir. Sıvı/kimyasal kirliliğin önemli bir yere sahip olduğunu görmekteyiz.

Uçak motorunda olan titreşim yada yüksek sıcaklık uçağın diğer bölgelerine göre oldukça yüksektir. Elektrik- Elektronik bilgisayarların bulunduğu (E&E bölümü) kompartmanda bulunan kabloların de-icing sıvısı, hidrolik sıvısı gibi sıvılara maruz kalabilmesi oldukça zordur. İniş takımı yuvasında bulunan kabloların aşırı sıcaklığa maruz kalabilme olasılığı oldukça düşüktür. Uçakta bulunan her bölgenin birbirinden farklı maruz kaldığı çevre koşulları vardır. Bu çevre koşulları uçak kabloları üzerinde kablo yalıtımlarının ömürlerini negatif etkileyecek etkilere sahiptir.

Kablo üzerindeki izolasyonda meydana gelen çatlamlar uçak elektrik sistemlerinde metaller arasında ark oluşumuna sebep olabilir. Bu sebepten dolayı uçak emniyeti olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Uçaklardaki elektrik kablosunun fiziksel bütünlüğünün ve yalıtımının korunması çok önemlidir. Uçakların yaş ve devir süreleri arttıkça; tel yalıtımı artık elektrik akımının güvenli bir şekilde transferini sağlayamayacağı bir noktaya indirgenebilir [11].

Bir uçağın ömrü modeline bağlı olarak 20 yıl ile 36 yıl arasında değişmektedir [12]. Buda aynı zamanda o uçakta bulunan kablolarında bu süre zarfında yaşlanma sonuçlarından en az şekilde etkilenerek arızasız bir şekilde çalışması anlamına gelmektedir. De-icing sıvısı, hidrolik sıvısı, jet yakıtı, uçak temizleme sıvıları vb. gibi kimyasalların, uçağın çalışma koşullarından dolayı bulunan nemin ve sıcaklık değişimlerinin, kabloların içerisinden geçen akımlardan dolayı oluşan sıcaklıkların ve bakım esnasında yapılan bakım hatalarından dolayı kabloların yaşlanmaları uçak ömründen daha erken gerçekleşebilir. Bu gerçekleştiğinde felaket şeklinde kazalara neden olmuştur veya olabilir.

Bir uçağın elektrik kablo bağlantıları sistemleri düşünüldüğünde (Electrical Wiring Interconnection Systems-EWIS) bu sistemlerin çok önemli olduğunu görürüz. EWIS sistemde bir hata oluştuğunda uçak sisteminde bir arızanın oluşmasını da beraberinde getirerek uçuş güvenliğini tehlikeye sokabilecektir. Kablolarda bu sistemin en önemli parçalarındandır. Bu sistemdeki kablolamadaki bozulmalar ve yaşlanma problemleri iki korkunç kaza olan; birincisi Temmuz 1996'da Boeing 747 Trans World Airlines (TWA) Flight 800'ün havada patlaması sonucu Atlantik okyanusuna düşerek 230 yolcu ve mürettebatın ölümüne neden olmuştur. Bu uçak Kasım 1971 yılında üretilerek toplam 93,303 uçuş saati ve 16,869 saykıl gerçekleştirmiştir. İkinci kaza ise 2 Eylül 1998 yılında gerçekleşen Swissair Flight 111, bir Boeing/McDonnell Douglass MD-11 kazasıdır. Bu uçakta ise 229 yolcu vardır. TWA Flight 800 kazasının, yakıt tankındaki bir kablodan çıkan kıvılcımın neden olduğu ifade edilmektedir. Swissair Flight 111 kazasının ise uçuş süresince kullanılmak üzere dizayn edilen uçuş eğlence sistemi (In-flight entertainment system) kablosunda meydana gelen bir arkın yangına sebep olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir [13,14].

1.4. EWIS sistemi ve kablo yaşlanması üzerine çalışmalar

TWA Flight 800 ve Swissair MD-11 kazalarından sonra uçaklardaki EWIS sistemlerinde kablolamadaki yaşlanma ve bozulmalar dikkat çekmeye başlamıştır. Daha önceden hakim olan EWIS sistem ile ilgili düşünce “yerleştir ve unut” düşüncesi 1998 yılından itibaren değişmeye başlamıştır. Federal Havacılık İdaresi'nin (FAA) 1998 yılından bu yana yaşanan kablolamamın çeşitli yönlerini inceleyen ATSRAC (Aging Transport Systems Rulemaking Advisory Committee)

çalışma grupları, o tarihten itibaren güvenliği arttıracak ve uzun süredir devam eden EWIS endişelerinin bazılarını ele alan öneriler sunmuştur. Bir tel veya onun yalıtımı, hava aracının ömrü boyunca herhangi bir noktadan birçok farklı şekilde zarar görebilir. Açık bir şekilde şunu ifade etmek gerekirse bir uçak yaşlandıkça onun içerisinde bulunan kablolarda yaşlanır. Bir kabloda meydana gelen bir hasarın sonucu hemen bir olay olmayabilir. Geçici bir süre aviyonik kesintiler veya kontrol cihazlarının kaybı şeklinde ortaya çıkabilir. FAA bu hatanın sonucunu 3 gruba ayırmıştır. Bu gruplandırma şekli ise; küçük, büyük ve felaket olarak sınıflandırılmıştır [15].

Qiang G.; uçak elektrik kablolarının risk değerlendirmesi üzerine nicel bir yaklaşım yapmıştır. Hava aracı EWIS 'indeki risk üzerine yapılan bu tahmini risk kriterini bulunmuş verilere dayandırmıştır ve risk değerlendirmesinin detaylı bir akış şemasını oluşturmuştur. Bu nicel yaklaşım EWIS'de uçak dizaynı üzerine alternatif bir yaklaşım oluşturmuştur [16].

Yongxing ve arkadaşları; Uçak kablolarının ark izleme özellikleri geliştirdikleri bir test metodu ile test etmişlerdir. Test sonuçları; yaşlanmanın ark oluşmasının üzerinde etkisi olduğunu göstermiştir. Yeni uçak kablolarının ark oluşturma zamanı 4 yıl kullanılmış kablolarınkinden daha uzundur. Yeni yalıtımlar daha fazla ark direnci oluşturmaktadır. Kablo yalıtımındaki hata büyük ölçüde ikinci test aralığındaki hata arkının tekrar ateşlenmesinden kaynaklanmıştır. Kullanılmış kablolarda meydana gelen ark oluşumları yeni kablolara oranla daha yüksek olmuştur. Yaşlı kabloların izolasyonu arka oluşumuna maruz kaldığında daha çok hasarlandığını göstermişlerdir [8].

Çoruh ve arkadaşları [10]; Uçaklarda gerçekleştirilen bakımların istatistik verilerini değerlendirerek, kablolamada bakım odaklı meydana gelen yaşlanma ve bozulmaları incelemişlerdir. Elektrik kablolarında buldukları yerlere göre olmaması gereken bulgular tespit etmişlerdir. Bakım ve bozulma sınıfları ön planda tutularak risklerin değerlendirmesini yapmışlardır. Risklerin inceleme sonuçları, bakım planlamalarıyla örtüşmektedir.

Wallach, polimidin ortalama molekül ağırlığındaki kopma gerilmesinde doğrusala yaklaşıklık olarak bir düşüş göstermiştir [17].

A. M. Bruning ve F. J. Campbell [18]; temel olarak yaşlanma modellerinde çok fazla stres faktörünü içinde bulunduran çeşitli teorik, kimyasal, termodinamik esaslara dayalı modeller geliştirmişlerdir. Seçilen örnek 120v gerilim için kullanılan aromatik polimid yalıtımlı kablodur. Maruz bırakılan stresler ise su, sıcaklık, mekaniksel gerilme ve elektriksel streslerdir. 2000'den fazla örnekle yapılan testler teoriksel eğilimlerin olduğunu göstermiştir. Kabloların laboratuvar ortamında maruz bırakıldığı 3 bağımsız değişken uçak kablolarının servis süresi boyunca maruz kaldığı değişkenlerdir. ABD deniz kuvvetlerinin yaş kategorisinde kullanılan sonuçlar aktif olan uçaktan alınan kablo örneklerinden oluşmaktadır. Örneklem başlangıçtan beri var olan teorik gelişmelerdeki kesin olmayan sabitlere dayanmamaktadır. Onların yaptıkları sunumdaki amaçları, akla yatkın sezgisel olarak mantıklı, elementleri diğer yalıtım malzemelerine/devrelerine/sistemlerine aktarabilen sistemler sağlamaktır. Standart dışı istatistiklere duyulan ihtiyaç pratiksel ikincil etkilerle kısıtlanmış, yaşam hesaplama rutinlerindeki özel kimyasal mekanizmaların düzenli olarak farkındalığına ihtiyaç duyulmaktadır. Kablolarda gerçekleşen karbonizasyonun birincil yalıtımdaki çatlaklardan başlayan akım kaçaklarıyla oluştuğunu vurgulamışlardır. Kabloda sürtünme aşınmalarının yanı sıra meydana gelen yüksek akım kaçakları, voltaj seviyesi 120 volt gibi düşük seviyelerde olsa bile aromatik polimid kabloları aşırı derecede zorlayarak yüksek derecede ark yanmalarına neden olmuştur [18].

Grzybowski ve arkadaşları [20], PE tabaka ve folyolardan deneysel örnekler çıkartıp bu örnekleri çeşitli ortamlara maruz bırakarak yaşlandırma süreçlerini gözlemlemek için çeşitli deneyler yapmışlardır. Deney örneklerini, sıcak hava, sıcak su, sıcak kimyasal, voltaj ve voltaj altında olan suya maruz bırakmışlardır. Bunlara ek olarak PE tabakadan hariç ayrıca folyo türleri ultraviyole ısıma ve kısmi deşarj yöntemi ile yaşlandırılmıştır. Yaşlanmanın sonunda yaşlanmaya maruz kalmış PE örneklerin çeşitli karakteristik özellikleri elektriksel ve spektrografiksel olarak ölçümler almışlardır. Sonuçlar; yaşlanma zamanı ve elektriksel parametre bozunmasını arasındaki ilişkiyi ve yaşlanma zamanı ve kızılötesi absorpsiyon spektrumları arasındaki ilişkileri göstermiştir. Onlar yaşlanmadan kaynaklanan elektriksel bozunmalar ve kızılötesi absorpsiyon spektrumları arasındaki ölçülebilir değişimlerin

ilişkinini ifade etmişlerdir. PE tabaka ve folyodan çıkan ortak sonuçları şu şekilde ifade etmişlerdir.

1. Çok faktörlü stresler tarafından meydana gelen yaşlanma dielektrik kayıp faktörü ve iletkenliğin bozulma gerilmesi gibi elektriksel özelliklerin bozulmasına sebep olur.
2. Elektriksel özellikteki bozulma 1720 cm^{-1} bandındaki kızıl ötesi emilim ile ilişkilidir.
3. Dielektrik kayıp faktörü, iletkenlik yitim gerilmesi ve kızılötesi emilim spektrumu arasında gözlemlenen değişimler arasında ilişkiler vardır.
4. Emilim spektrumlarının analizi, di-elektrik özelliklerin üzerindeki çoklu streslerin etkisini ve yaşlanma mekanizmalarının öğrenilmesi açısından oldukça yararlıdır.
5. Kristallik derecesinin değişimi kesin bir şekilde polietilenin atlama dayanımındaki düşüş ve artışla ilişkili değildir [19].

Ayrıca onlar; başka bir deneyde PE kablo yalıtımının yapısındaki değişimler ile elektriksel özelliklerdeki değişimlerin arasındaki ilişkiyi tam olarak belirlemek istemişlerdir. Bu nedenden ötürü 15 kw güç kablosundan birçok sayıda aynı uzunluklarda numuneler alarak onları sıcaklık, su ve voltaja maruz bırakmışlardır. Elektriksel dayanım ve arıza süresinin ölçümleri polietilen kablo yalıtımı üzerindeki yaşlanma faktörlerinin etkisini belirlemek için almışlardır. Yaşlanma sürecindeki yapısal değişimi kızıl ötesi spektrometri kullanarak takip etmişlerdir. Kızılötesi spektrumların belli bölgelerinde elektriksel ve yapısal özelliklerde değişimler saptamışlardır. Bu nedenle IR analizinin polietilen yalıtımlı güç kablolarında yaşlanmanın derecesini saptamak için kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Malzeme özelliklerinde meydana gelen bozulmalar uygulanan yaşlanma faktörlerinin yoğunluğuna bağlıdır. Ayrıca elektriksel özelliklerdeki değişiklikler yaşlanma sürecinin zamanına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde yapısal değişikliklerin yaşlanma zamanına bağlı olmasının yanında, maruz kalan yalıtım katmanlarının yaşlanma faktörünün mesafesine de bağlıdır [20].

Samuel W.ve arkadaşları; EPR ve XLPE kablolarını $140 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de hava üfleyen fırına koymuşlar ve sonuçlarını paylaşmışlardır. EPR ve XLPE kablo yalıtım polimerlerinin oksidasyonu ve çapraz bağlanması, doğal olarak, benzersiz titreşim

frekanslarına sahip C=O karbonil ve C=C karbon bağları dahil olmak üzere malzemeye yeni kimyasal bağlar getirir denilmiştir. Bu nedenlerden ötürü; herhangi bir polimerin bozunmasının karakterizasyonunu tespit etmek için en iyi yöntemlerden birisi, Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi olduğunu ortaya koymuşlardır. EPR kablosunun üretimindeki doymuş olmayan karbon bağları ($2800-3000\text{ cm}^{-1}$) arasındayken $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de havaya maruz kaldıktan sonra yeni oluşan piklerin yaklaşık 1700 cm^{-1} seviyelerinde karbonil ve $3000-3500\text{ cm}^{-1}$ seviyelerinde hidroksil gruplarında olduğunu gözlemişlerdir. Bu durum kızıl ötesi spektrumların kablo bozulması boyutunun değerlendirmesi için güzel bir yöntem olduğunu göstermiştir. Oksidasyonun etkisinin yüzeye yakınlıkla ilişkili olduğunu vurgulamışlardır [21].

Kurek ve arkadaşları; Polimid (PI), PTFE/Polimid kompozit, Polivinil klorür/poliamid gibi kablo yalıtım malzemelerini çeşitli testlere sokarak kablo yalıtımlarının yaşlanmalarını önceden öngörmek için modeller geliştirmişlerdir ve çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. Kullandıkları testlerden bahsetmek gerekirse bunlar; görsel kontrol, ıslak kuru yalıtım direnci, çekme, uzama, doğal viskozite, ağırlık kaybı ve dinamik kesme testidir. Bu testler CP ve PI kablolarına ayrı ayrı uygulanarak çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. Seçilen kablo tiplerinin yaşlanmasını ayrı ayrı incelemek için kablolar çok değişkenli test düzeneklerine tabi tutulmuştur. Bu koşullar; bükme, termal döngü, titreşim, kimyasala maruz bırakma, elektriksel stres, statik stres, sıcaklık, nem ve hava akımıdır. Bu test programında Kablo Yalıtımı Standart Test Yöntemlerinin (ASTM D 3032) modifiye edilmiş bir tekniği olan hızlandırılmış yaşlandırma teknikleri kullanılarak, diğer endüstriler tarafından kabul gören nem, sıvıya maruz bırakma, kablo sarma koşulları ve termal döngüler ile desteklemişlerdir. Test sonuçlarını tablolar haline getirerek, çıkan test sonuçlarından öngörülebilir yaşlanma modelleri oluşturmuşlardır. Testler yapıldıkça araştırma verilerini sürekli güncelleyerek en doğru sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Ortaya çıkan test modellerini bir uçakta bir kablonun birçok çevresel etkenlerden dolayı meydana gelen bozunmadan kaynaklanan arıza durumlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu testlerden elde edilen sonuçları şu şekilde özetleyebiliriz. Bant sarılı aromatik polimid izoleli kablo için (PI) gerçeğin % -25 ila %30, Politetraflouroetilen/polimid kompozit (CP) için gerçek değerinin %-20 ila %20

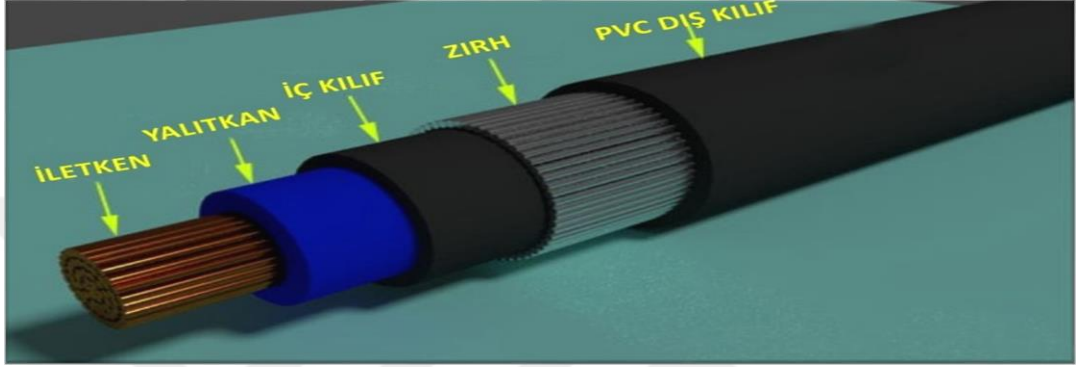
arasında ve polivinil klorür /nylon (PV) için gerçek değerinin % -16 ila %20 arasında ortalama hata zamanı tahminleri alınmıştır. Uçak içerisinde yüksek nem bölgelerinde bulunan PI ve PV kabloların yaşlanma ve bozunma risklerinin daha yüksek olduklarını vurgulamışlardır. Bakım sırasında meydana gelen düzensizlikler kabloların yaşam ömürlerini sıcaklığa ve neme maruz kaldıklarında çok tehlikeli sonuçlar doğurabilecek seviyelere gelebileceğini ifade etmişlerdir. Yaşlanmış olan kabloların henüz herhangi bir bozulmaya maruz kalmamış olan kablolarla oranla bakım ve onarım sırasında meydana gelebilecek gerilmelere karşı daha fazla savunmasız olduklarını tespit etmişlerdir. Polivinil klorür (PVC) kablo yalıtımı bulunan kablolar da renk değişimi, çatlak oluşumları ve yalıtım malzemesinde meydana gelen döküntüler görsel açıdan öncelikli bulgular olduğu ifade edilmiştir. Tüm kablo yalıtımları için görsel yalıtım çatlak kontrolü ve renk değişimi, kablo yalıtımının uzaması doğal viskozite ve dinamik kesme testleri kablonun yaşlanmasını değerlendirmeye yardım eden testler olduğu belirtilmiştir. Geliştirilmiş olan bozulma modellerinin PI, CP ve PV kabloların yaşam ömrünü tahmin etmek için uygun olduğu ifade edilmiştir. Kayıtlar süresince elde edilen verilerdeki standart sapmalar PI için 0.1042, CP için 0.1167 ve PV için 0.0727 olarak hesaplamışlardır.

Nem PI kablo yalıtımı için çok önemli bir bozucu etken olmanın yanında PV kablo yalıtımının yaşlanmasında önemli rol oynadığını ifade etmişlerdir. Rutubet çeşitli dinamik, statik ve sıcaklık gibi bozucu kombinasyonları etkileyerek polimerin kırılma hızına ve hidrolizine sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Bütün bunların aksine, nem; uzama ve girinti testlerini, kablo yalıtımında yumuşatma ve daha az kırılma hızı sağlayarak olumlu yönde etkilediği sonucuna varmışlardır. Akışkan kirliliği (Jet yakıtı, Hidrolik sıvısı, buz sökücü sıvı ve uçak temizleme sıvısı) test edilen tüm yalıtım türleri üzerinde derin bir etkiye sahip olduğu ifade edilerek bu sıvılar PV kabloların ömründe %70'den fazla azalma, CP kabloların ömründe % 15 azalma, ancak PI kabloların ömründe % 20' ye kadar artış etkisi vardır sonucuna varmışlardır [11].

1.5. Uçak Kabloları

Elektrik akımını ileten malzemelere kablo denilmektedir. Kablolar kısaca özetlemek gerekirse İletken ve yalıtkan olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Bu iki

bölümden olan iletken kısmı değerlendirmek gerekirse; bu kısım elektronların akışı ile birlikte elektrik akımını ileten kısım olarak ifade edilebilir. Diğer kısım olan yalıtkan bölge ise kabloların dış ortamlardan etkilenmesini en aza indirebilmek için yapılan bölgedir. Bu kısımlar iletken kısımları kimyasal sıvılar, nem, rutubet, su vb. gibi etkilere karşı temasını zorlaştırarak ark oluşumlarını engellemektedir. Kablolar genel olarak; iletken, yalıtkan, iç kılıf, zırh ve dış kılıftan oluşmaktadır.



Şekil 1.6. Kabloların bölümleri [23]

Şekil 1.6 ‘da bir kablonun genel olarak hangi bölümlerden oluştuğu görölmektedir.

Genel olarak kablolar bu bölümlerden oluşsa da kullanım yerleri ve amaçlarına göre farklılıklar gösterebilirler. Örneğin; aşağıda bu tezde deney kısmında kullanılan bir uçak kablosu görölmektedir. Bu kablonun bölümleri yukarıdaki örneğe göre farklıdır.



Şekil 1.7. Bir güç kablosu örneği (Ayrıca bu kablo testlerde kullanılan kablolardan birisidir.) [24]

Şekil 1.7’de uçakta IDG’ye ait bir güç kablosu görölmektedir. Bu kablo çeşitli koruyucu katmanlara sahiptir.

Uçakların güvenilir bir şekilde uçuşlarını yerine getirebilmesi için elektrik-elektronik sistemlerinde problemler olmaması gerekmektedir. Bu sistemleri birbirine bağlayan etkenler kablolardır [22].

Uçaklarda bu kabloları bir sistem haline getiren sisteme ise elektrik kablo bağlantı sistemi (EWIS) denilmektedir. EWIS uçağın seyrini güvenli bir şekilde gerçekleştirebilmesi için kritik önem taşımaktadır. Bu elektrik kablo bağlantı sisteminde meydana gelebilecek herhangi bir arıza uçak elektrik-elektronik sistemlerinin arızalanmasına devamında ise çok büyük hasarlara sebep olabilmektedir [10,16].

EWIS sistemde bulunan kablolar, elektrik akımını güvenilir bir şekilde uçağın çeşitli bölgelerinde dağıtımını gerçekleştirirken, bu sistemde bulunan cihazların yaptığı görevlerde onlara yardımcı olmaktadır.

Bu sonuçlar EWIS sistemlerin uçak için ne kadar önemli bir unsur olduğunu vurgulamaktadır. Uçaklarda büyük oranda uçak motorundan kaynaklanan titreşim, bulunduğu hava koşullarından dolayı kaynaklanan nem, yapısal tamirler sonrasında ortaya çıkan metal talaşlar, bakım sırasında dolaylı yollardan meydana gelen hasarlar, uçakta kullanılan kimyasal sıvılardan dolayı meydana gelen kimyasal kirlilik ve aşırı sıcaklık gibi etkenler uçaktaki kablo yalıtımlarının bozulmasının en büyük nedenleridir. Bahsedilmiş her bir etkenin EWIS sistemler üzerinde ayrı bir bozulma etkisi meydana gelmektedir.

Uçaklarda bulunan EWIS sistemindeki elektrik veya sinyal kablolarının yapısal bütünlüğünün ve dış yalıtımının zarar verici etkilerden korunması uçakların güvenilirliği açısından hayati öneme sahiptir. Uçakların ömür ve uçuş süreleri ilerledikçe; uçakta bulunan bu kablolardaki yalıtım elektrik akımını güvenli bir şekilde iletemeyeceği bir noktaya gelebilir [11].

1.5.1. Uçaklarda kullanılan kablo tipleri

Uçaklarda binlerce mil kablo bulunmaktadır. Durum bu şekilde olunca her sistem kendi fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için çalışma ortamında farklı türden çeşitli kabloları ihtiyaç duymaktadır. Uçaklarda kullanılan kablolar özel kullanımları ve uygulama alanlarına göre gruplandırılabilir.

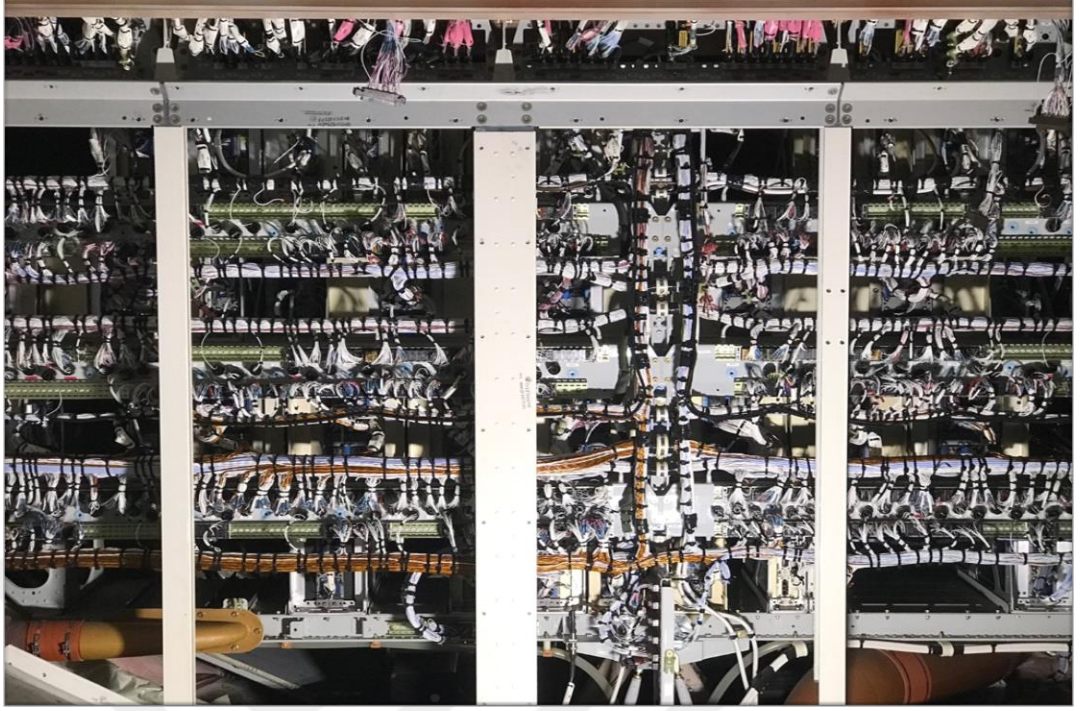
- Uçak gövdesinde bulunan güç kabloları (IDG, APU jeneratör, yakıt pompası)
- Uçak elektrik- elektronik ekipman kabloları (E&E kompartmanında bulunan kablolar)
- Ateşleme sistemi kabloları (Motor yakıt ateşleme sisteminin gerilimini ileten kablolar)
- Termocouple kabloları
- Veri iletim kabloları
- Radyo frekansı (RF) kabloları (HF, VHF vb.)

Bazı kablolar güç iletimi gerçekleştirdiği için ekranlamaya ihtiyaç duymazken bazı kablolar uçaktaki elektromanyetik alanın etkilerini azaltmak için ekranlamaya ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacın ana sebebi içerisinde bulunan çok küçük sinyalleri (dijital sinyaller) iletirken çevreden gelen elektromanyetik etkiden dolayı herhangi bir indüklenme oluşmamasıdır. Ayrıca benzer şekilde bazı kablolar aşırı miktarda güç ve frekans taşıyabilmesi için koruyucu kılıfa ihtiyaç duymaktadır [22].

EWIS sistemde bulunan kablolar, arabalarda, evlerde veya sanayi uygulamalarında bulunan kablolarla oranla daha zor şartlarda çalışmak zorundadırlar. Kablonun maruz kaldığı akımın yanı sıra, EWIS sistemlerinin maruz kaldığı hidrolik sıvısı, yakıt, yağ, aşırı sıcaklık, basınç, aşındırma ve titreşim gibi koşullar kablo yalıtımının yaşlanmasına sebep olmaktadır. EWIS sistemde bulunan kablo arızalarının yaklaşık olarak %55'i kablo yalıtımının çeşitli etkenlere maruz kalması sonucu bozulmasından kaynaklanmaktadır [16].

1.5.2. Uçaklarda yaşlanmadan kaynaklanan kablo arızaları

Uçaklarda olan tüm sistemler birbirlerine kablolar ile bağlıdır. Bu kablolar uçakta gelişi güzel bir şekilde bulunamaz. Bu sebepten dolayı EWIS kurallarına göre bu kabloların uçakta bir araya getirilerek kurallara uygun şekilde düzenlenmesi işleme demetleme denilmektedir. Demetleme uçaktaki kabloların uçağa yerleşiminde bir düzen kazandırır. Fakat demetleme işleminin dezavantajından birisi olan kabloların birbirlerine çok yakın olması kablo- kablo arası ark oluşumuna neden olabilir.



Şekil 1.8. Airbus A320 uçağının ön kargo kompartmanının ön kısmından bir görüntü. (kabloların demetlenmesi)

Şekil 1.8’de Airbus A320 uçağının ön kargo kompartmanının ön duvarında bulunan kablo demetlerin nasıl hazırlandığını, uçakta nasıl kullanıldığı görülmektedir. Yalnız herhangi bir kablo kalmayacak şekilde kablolar birbirlerine çeşitli bağlama teknikleri kullanılarak ipler veya straplarla bağlanırlar.

Kabloların birbirlerine yakın olması veya uçak yapılarına yakın olmalarından dolayı kısa devre akımları oluşabilir. Bu kısa devre akımlarını önlemek amacıyla iletkenlere kablo yalıtımı yapılmak zorundadır. 12 V’luk veya 28 V’luk güç kaynakları bir elektriksel şok tehdidi oluşturmayabilir fakat bu kablolarda kablo-kablo arası veya kablo gövde arası ark oluşumunu engellemek amacıyla kablo yalıtımı kullanılmak zorundadır. Kablo yalıtımında meydana gelmiş olan bir hasar eğer bir akışkan kirliliği (hidrolik sıvısı, de-icing sıvısı, korozyon önleyici sıvılar, jet yakıtı, motor yağları, temizleme sıvıları vb.) ile bir araya gelirse bir ark oluşumuna neden olabilir. Bu ark oluşumunun nasıl oluştuğunu şu şekilde ifade edebiliriz. Yalıtım yüzeyleri serbest iyon içeren herhangi bir malzeme ile kirlendiği zaman ve eğer bu yalıtım malzemeleri üzerinde bir çatlak var ise bu malzeme bir elektrolit gibi davranır. Kabloda bulunan gerilimden dolayı meydana gelen kaçak akımlar oluşan bu kirliliği buharlaştırır ve bu bölgede kuru bir alan oluşturur. Bu alan artık akım akışına karşı

yüksek dirençli bir hale gelir. Buna karşılık bu alanlarda yüksek voltajlar oluşarak yalıtkan yüzey üzerinde küçük yüzey deşarjlarını meydana getirecektir. İlk başlarda, bu deşarjlar yüzeylerde küçük ışık parlamaları gibi gözükmesine rağmen bu parlamalar 1000 °C 'ye kadar yerel sıcaklıklar üretmeye başlayacaktır. Bu yüksek sıcaklıklar kablo yalıtım malzemelerinde olumsuz etkilere sahiptir ve kablo yalıtım malzemelerinin kimyasal yapılarını bozacaktır. Bu ıslak ark oluşumlarını önleyebilmek için kablo yalıtım malzemelerinin yapısı ve dayanımı oldukça önemlidir. Yalıtım malzemesi ve yalıtım malzemesinin kalınlığı, sistemin çalışma sıcaklığı ve sistemin voltajına bağlı olarak seçilmelidir. Bu yalıtım malzemelerine örnekler vermek gerekirse ETFE, PTFE, FEP ve PVFD vb. dir [22].

Bu yalıtım malzemelerinden kısaca bahsetmek gerekirse;

ETFE, FEP kablo yalıtımları: Fiziksel anlamda ağır koşullara maruz kalan kablo grubudur. Bu kablo yalıtımı -90 °C ile +260 °C arasındaki ortamlarda kullanılabilir. Diğer özellikleri ise ETFE, FEP kablolar kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanıklılık özellikleri oldukça yüksektir. Bu nedenlerden dolayı kullanım alanları oldukça zorlu koşullardır [25].

PTFE: PTFE (Politetrafloroetilen) kablo yalıtımları -73 °C ila 204 °C arasında çalışma koşullarında kolaylıkla çalışabilen polimer malzemelerdir. Bu kablo yalıtımları su, motor yağı, kimyasal etkiler ve sıcaklığa karşı oldukça dayanıklıdır. PTFE'nin mekanik kuvvetlere karşı dayanımı diğer polimer koruyuculara göre düşüktür [23].

Bu kablo yalıtım malzemeleri gibi birçok yalıtım malzemesi bulunmaktadır. Her yalıtım malzemesi kullanım alanına ve kullanım yerine uygun seçilmelidir. Aksi takdirde uçuş güvenliğini tehlikeye düşürebilecek sonuçlar ortaya çıkabilir.

1.5.3. Uçak kablolarında yaşlanma mekanizmaları

Uçaklarda kablo yaşlanmaları genel olarak 4 temel etkiye dayanır. Bunlar; termal, elektriksel, mekaniksel ve kimyasal etkilerdir. Bu etkilerin nasıl ortaya çıktığı Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Kablo izolasyonunun yaşlanma faktörleri

Yaşlanma faktörleri	Yaşlanma mekanizmaları
Termal	Erime, Çatlama, Termal genişleme, Termal kasılma, Kimyasal reaksiyon
Elektriksel	Aşırı ısınma (Akım), Deşarj, Arıza, Dielektrik kayıplar ve kapasitans
Mekaniksel	Malzemelerin Akması, Çatlama, Kopma, Titreşim
Çevresel	Kimyasal reaksiyon, Korozyon

1.5.3.1. Hızlandırıcı etkiler

Uçaklarda meydana gelen farklı etkiler nedeniyle yukarıda tabloda verilen ana yaşlanma mekanizmaları etkilenmekte ve hızlanmaktadır. Uçağa özgü bu etkiler aşağıdaki gibidir.

Titreşim: Uçaklarda meydana gelen titreşimler kablo yaşlanmasını etkileyen önemli faktörlerden bir tanesidir. Bu titreşimin ana kaynağı uçak motorları olduğu için uçağın farklı bölgelerinde farklı seviyelerde titreşim miktarları görülebilir. Örneğin; Uçak motoruna yakın bir bölgede oluşan titreşimin bu bölgedeki kabloya etkisiyle motora uzak bir bölgedeki kabloya etkileri arasında farklılıklar vardır. Titreşim kablo yalıtımını şu şekilde etkiler. Kablo uçağa monte edildiği noktada uygun kelepçe ve doldurma malzemeleri ile monte edilmediyse, yani kablo ile kelepçe arasında boşluk var ise, titreşimle birlikte bu kabloda meydana gelen salınımlar kablonun kelepçe yapısına veya uçak yapısına çarparak zarar görmesine neden olacaktır. Buda kablonun ömrünü kısaltacaktır.

Titreşimin sebep olduğu diğer tehlikeli bir faktör ise kablolar uçağa monte edilirken kablo demetleri halinde monte edilmek zorundadırlar. Bu demet içerisinde farklı tip kablo türleri dolayısıyla farklı tip kablo izolasyon malzemeleri bulunmaktadır. Her bir kablo grubu kendine göre farklı türden izolasyon malzemesi kullanır. Bu izolasyon malzemelerinin sertlik düzeyleri birbirinden farklıdır. Bu demetlerin içerisinde kendinden daha sert kablo yalıtımı ile karşılaşan kablolar, titreşimle

birlikte bu kablolar tarafından boylu boyunca zarar görebilirler. Bu zarar gören kablo yalıtımları ileride kablolar arası veya kablo gövde arası arklara neden olabilir.

Nem ve kimyasal faktörler: Uçaklarda kablo yaşlanmalarını hızlandıran faktörler arasındadır. Uçakta bulunan kabloların sahip olduğu yalıtımlar kompleks yapılara sahip polimerlerdir. Nem ve kimyasal faktörler bu polimerlere nüfuz ederek, onların kimyasal yapılarını bozabilmektedir. Bu bozulmalar yalıtım kalitesini daha düşük bir seviyeye çekerek ark oluşmalarının başlamasına neden olabilir. Kablolar özellikle kanatta ve iniş takımı yuvasında sık sık birçok kimyasal grubuyla karşı karşıya kalabilmektedir.



Şekil 1.9. Kimyasal etkenlerine maruz kalmış bir kablo

Şekil 1.9’da Boeing 737-400 uçak serisine ait bir uçağın motorunda yaşlanma mekanizmalarından kimyasal etkenlere maruz kalmış bir kablonun rutin çalışmalar sırasında çekilmiş bir fotoğrafı görülmektedir. Bakımlar sırasında uçak kabloları benzer koşullara maruz kalabilmektedir.

Uçaklarda kablo yalıtımının olumsuz yönde etkileyen faktörlerden bir tanesi de sıcaklıktır. Sıcaklık uçakta farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Uçak elektrik sisteminde meydana gelen aşırı yüklenmeden dolayı kabloda bir sıcaklık artışı meydana gelebilir. Diğer bir sıcaklığın ortaya çıkma sebebi ise uçakta bulunan ekipmanlardan ortaya çıkan sıcaklıktır. Bu sıcaklıklar kablo yalıtımında olumsuz etkilere sebep olarak yaşlanma oranını arttıracaktır [8,18].

Bu önemli başlıkların yanında genel anlamda uçak üzerinde bulunan kabloların yaşlanma oranını etkileyecek diğer etkenler şu şekilde sıralamak gerekirse;

Basınç (baro metrik): Bazı yalıtkanlar gaz çıkışı yapmaları ile bilinirler. Kütle kaybederler ve sertlikleri artar. Bu yüzden yaşlanma oranlarında değişiklikler olur.

Bükme, Esnetme stresi (Mekaniksel): Bu stresler genellikle kablonun uçağa monte edilmesi ve uçağın bakımı esnasında görülür. Dizayn gereği bazı esnetme ve bükülmelere izin verilir. Bu stres sebebiyle daha önceden oluşmuş olan bir çentik veya yalıtım bozulmaları büyüyebilir.

Yüksek G kuvveti (İniş): Uçağın inişi sırasında meydana gelen yüksek G kuvvetleri uçak kablolarına mekaniksel etkiler göstererek yaşlanma üzerinde etkilidir.

Kirlilik: Kum, delme, traşlama, toz ve pamuk oluşumu doğrudan kablonun aşınma seviyesini etkileyerek kablo yaşlanmasını etkiler.

Yıldırım: Kablonun di-elektrik özelliklerini zayıflatabilir veya zarar verebilir. Düzgün yapılan kablo topraklaması kablo üzerindeki etkiyi minimuma indirecektir.

Ozon (Oksidatif kirlilik): Oksidasyondan dolayı kablo yalıtımının zorlandığı düşünülmektedir.

Ultraviyole Radyasyon: Bazı polimer yalıtım malzemeleri için yaşlanma etkeni olabilir [11].



Şekil 1.10. Birçok yaşlanma etkeninin aynı anda bulunduğu kablo demeti

Şekil 1.10 birçok yaşlanma etkeninin bir arada bulunduğu Boeing 737-800 uçağına ait floor panelin altından geçen kablo demetine aittir. Bu bölge, uçak kabin kısmının hemen altında olduğu için kabinden gelebilecek tüm etkenlerle karşı karşıya kalmaktadır. Kablo demetinin en üstünde bulunan kablolar aviyonik modifikasyon ile yeni yerleştirilmiş kablolardır.

1.5.4. EWIS' de meydana gelen kablo yaşlanmasının değerlendirilmesi

ASTM D 3032 Kablo İzolasyonunda Standart Test Yöntemleri kablonun maruz kalabileceği çok sayıda çevresel etkenleri değerlendirmeye alarak geliştirilmiştir. Di-elektrik dayanım gerilim testi, bir kablonun çalıştırması gereken devreye gereken akımı etkin bir şekilde iletip iletemeyeceğini analiz etmek için kullanılan yöntemlerden birisidir. Kablo yaşlanması birçok değişkeni içermesinden dolayı bir yaşlanma modeli ortaya koymak oldukça zordur. Bu nedenden dolayı tahmine dayalı modeller geliştirilir [11].

Uçakta bulunan kabloların ne zaman arızaya sebep olabileceğini tahmine dayalı olarak geliştirilen sistemlerle belirlemek oldukça önemlidir. Fakat bu işlevi sağlayabilen testleri gerçekleştirmek ve analiz etmek gereklidir. Bu zamana kadar geliştirilmiş olan yaşlanma modelleri, termal, nem, dinamik ve statik etkenlerin kombinasyonuna maruz kalan bir kabloya ortalama olarak bir ömür tahmininde bulunmamızı sağlamaktadır.

Sıcaklık artışının sebep olduğu kimyasal reaksiyonun hızlanmasından kaynaklanan termal yaşlanma iyi bir şekilde bilinen Arrhenius eşitliği ile ifade edilebilir. Burada (τ) ömür, A sabit bir sayıyı, U aktivasyon enerjisini ve T ise Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir [26].

$$\tau = A \cdot \exp\left(\frac{U}{T}\right) \quad (1.1)$$

IEC60172 standardında en yüksek sıcaklık için maksimum ömür 20.000 saat olarak kabul edilmiştir. Fakat ASTM D3032'ye göre bu sınırı kullanıcı belirlemektedir.



Şekil 1.11. Fırında termal yaşlandırma [11]

Şekil 1.11. ASTM D3032 standartlarından biri olan fırında termal olarak yaşlandırma gerçekleştirilen bir modele aittir. Bu modelde kablolar belirli sıcaklıklara kullanıcının belirlediği zaman çerçevesinde maruz kalmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

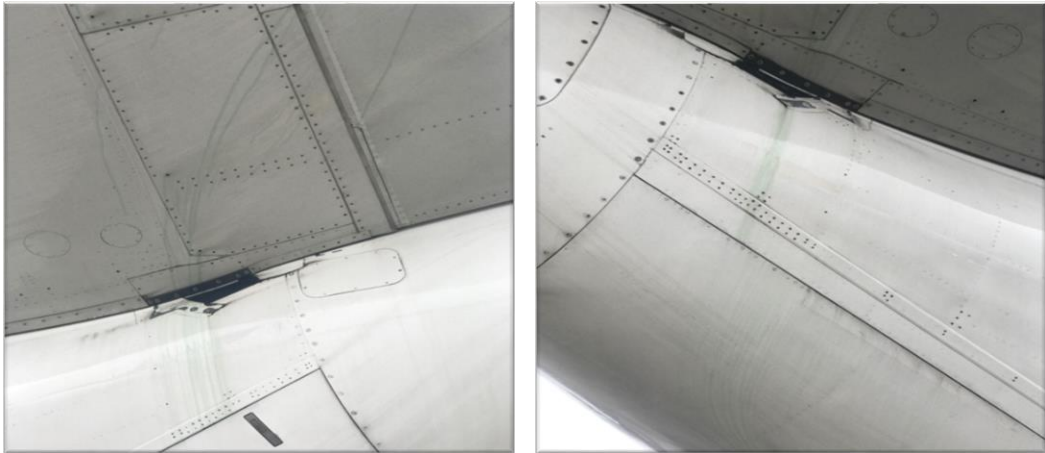
2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Buz çözme (De-icing) sıvısı

De-icing yöntemi (buz çözme) genellikle kış aylarında uçak üzerinde oluşmuş olan kar, buz gibi etkenleri ortadan kaldırmak amaçlı uçak üzerine de-icing sıvısını püskürtürerek uygulanan bir yöntemdir. De-icing sıvısı uçak üzerinde buzlanma oluştuğu zaman uygulanan bir buzlanmayı önleme yöntemidir.

Kullanılan bu buz önleme sıvısı çeşitli kimyasallar içermektedir. De-icing sıvısının içerdiği kimyasallar; su, glikol, sürfaktan, pH kontrol edici, korozyon önleyici, köpük azaltıcı, boya, kıvamlatıcı polimer 'dir [27]. Bu içerik göz önünde bulduğunda bazı olumsuz sonuçlara neden olabilir. De-icing sıvısı kablo yalıtımları üzerinde olumsuz etkilere sahiptir [11].

Uçakta bulunan kablolar, kanatlarda, kuyrukta, iniş takımlarında, motor kısımlarında, doğrudan veya dolaylı şekilde sıvı kirliliğine maruz kalmaktadır. Bu sıvılardan birisi de De-icing sıvısıdır [11]. De-icing sıvısının etkileri bu tezde bir deneyle incelenmiştir.



Şekil 2.1. Geldiği meydana de-icing sıvısı uygulanmış bir uçak

Şekil 2.1.'de kalkış yaptığı meydana de-icing (buz çözme işlemi) uygulanmış bir uçağın bazı bölgeleri görülmektedir. Yüzeylerde de-icing sıvısı kalıntıları bir uçuş atlatmasına rağmen hala kalmıştır. Yüzeylerde bu kalıcılık düşünüldüğünde uçak kablolarında bulaşan de-icing sıvısı kablo üzerinde uzun süre kalabilir.

2.1.2. Hidrolik sıvısı

Hidrolik sıvısı; sıvıların sıkıştırılmazlık özelliğinden faydalanılarak insan gücünün yeterli olmadığı işlerin kolaylıkla yapılabilmesini sağlayan makineli sistemlerde kullanılan bir sıvıdır. Hidrolik sıvıların ana işlevi; bir noktadan başka bir noktaya basınç transferi gerçekleştirmektir. Bu kimyasal sıvılar aynı zamanda yağlama sıvısı olarak da kullanılabilir. Hidrolik sıvıların kullanım alanları çok fazladır. Onlar otomobillerin frenlerinde, direksiyonlarında, forkliftlerde, çekicilerde, uçaklarda vb. gibi yerlerde kullanılmaktadır. Hidrolik sıvılar çok geniş bir gruba kapsamaktadır. Çeşitli kimyasalların bir araya gelmesi sonucu oluşmuşlardır. En yaygın olarak kullanılan üç hidrolik sıvısı vardır. Bunlar kimyasal ve fonksiyonel özelliklerine göre ayrılmış olan; mineral yağ bazlı hidrolik sıvıları, polialfaolefinler (PAO) ve organofosfat esterleri'dir [28].

Hidrolik sıvısı uçağın hidrolik sistemlerinde kullanılan bir sıvıdır. Uçak kumanda yüzey hareketlerini, motor thrust reverser hareketlerini, iniş takımlarını açma-toplama hareketleri bu sıvıları pompalar vasıtasıyla basınçlandırarak yapmaktadır.

2.1.3. Jet A1 yakıtı

Rafine edilmemiş petrol biçimi endüstride çok fazla öneme sahip değilken rafine edilmiş hale getirildikten sonra değer kazanmıştır. Sıvı petrol ürünleri çok fazla uçucu olabilmektedir. Gaz yağı veya jet yakıtı sıvısı, renksiz ve yanıcı bir petrol ürünüdür. Jet yakıtı (kerosen) hidrokarbonlardan oluşan bir kimyasal karışımdır. Jet yakıtı havacılıkta kullanılan bir yakıt türüdür. Bu yakıtın bazı önemli özellikleri yüksek parlama noktası ve düşük donma noktasına sahip olmakla birlikte diğer önemli bir husus ise su ile karışmıyor olmasıdır. Jet yakıtı hafif bir petrol türevidir ve birçok farklı tipe sahiptir. Askeri amaçlar için yaygın olarak kullanılan jet yakıtları JP-4, JP-5, JP-6, JP-7 ve JP-8'dir. JP- 8 sivil havacılıkta da kullanılan gazyağı model yakıttır. Jet yakıtı yada gaz yağları için en önemli özellikler; yanma noktası,

buharlaşma sıcaklık aralığı ve parlama noktasıdır. Jet yakıtının parlama noktası ortalama hava sıcaklığının üzerinde olmalıdır. Yanma noktasını bilmek yangınları önlemek amacıyla önemli bir husustur [29]. Jet yakıtı uçakta yakıt borularıyla uçak içerisinde birçok bölgeden başka bölgelere taşınmaktadır. Bu taşınma sırasında meydana gelebilecek kaçaklar, bakım sırasında bu boruları söküm takımları sırasında boru bölgesinde oluşan yakıt kalıntıları elektrik kabloları için ayrıca tehlike oluşturmaktadır.

Bu tezde; yapılan deneyde Kerosen gaz yağının bir türevi olan Jet A1 yakıtı kullanılmıştır. Jet A1 yakıtının uçakta bulunan kablolar üzerinde yaşlandırıcı özelliği vardır [11].



Şekil 2.2. Uçaaęa jet yakıtı ikmalı [37]

Şekil 2.2’de bir uçağın yakıt ikmalı sırasında görünümlü görülmektedir. Uçaklar uçuş boyunca yakıt tüketimi gerçekleştirdiği için yakıt uçağın olmazsa olmazları arasındadır.

2.1.4. Uçak temizleme sıvısı

Uçaklar servis süreleri geçirirken çeşitli seviyelerde uçak dış yüzeyinde kirlilik oluşur. Bu kirliliğin nedenleri; olumsuz hava şartları, yabancı hayvan çarpmaları (böcek, kuş vs.), uçakta bulunan kimyasalların yüzeyde oluşturduğu kirlilikler gibidir. Bu kirlilikler uçak yüzeyini düzenli bir şekilde kontrol etmek, airflow yapıyı

bozmamak için düzenli olarak temizlenmelidir. Bu temizleme uçak yerdeyken yıkama araçlarıyla birlikte bazı temizleme sıvıları kullanılarak yapılmaktadır. Yapılan bu temizleme işlemi sırasında kablolar gerek su ile gerekse kullanılan temizleme sıvısına maruz kalabilmektedir. Uçakta bu temizleme sıvılarına maruz kalan bölgeler, kanatlar, iniş takımı yuvası, kuyruk, motor vb. olarak sıralamak mümkündür. Dolayısıyla bu bölgelerde bulunan kablolarda bu temizleme sıvılarına maruz kalacaktır. Temizleme sıvılarının da kablo yalıtımı üzerinde olumsuz etkileri vardır [11].

Bu tez çalışmasındaki deneyde kullanılan temizleme sıvısı Techno Sol 400'dir. Bu temizleme sıvısı bazı kimyasalların bir araya gelmesi sonucu oluşmuştur. Bu kimyasallar; propilen glikol, sodyum metasikilat, kompleks bileşikler ve koruyuculardır. Kullanılan bu sıvının pH seviyesi 12-13 aralığındadır.



Şekil 2.3. Dış yıkama işlemi yapılan bir uçak [30]

Şekil 2.3'de dış yıkama gerçekleştirilen bir uçak görülmektedir. Uçağın dış yıkaması sırasında bazı bölgelerde bulunan kablolara temizleme sıvısının bulaşma olasılığı oldukça yüksektir.

Hidrolik sıvısı, de-icing sıvısı, uçak temizleme sıvısı, jet yakıtı EWIS sistem üzerinde olumsuz derin etkilere sahiptir. Bu etkiler kablo yalıtımının ömür süresini azaltarak uçuş emniyetini etkilemektedir [11].



Şekil 2.4. 737-800 uçağına ait yakıt pompası

Şekil 2.4'de 737-800 uçağına ait yakıt pompası ve onun kablosu görülmektedir. Bu kablo iniş takımı yuvasında bulunması nedeniyle, hidrolik sıvısı, de-icing sıvısı, temizleme sıvısı, jet yakıtı vb. birçok kimyasal etkiye maruz kalabilmektedir. İniş takımı yuvası açık bir bölge olduğu için doğrudan dışarıdan gelen etkiler bu bölgeye ulaşabilir. Uçak yıkaması sırasında yapılan çalışmalar püskürtme şeklinde olduğu için kullanılan sıvıların ulaşma olasılığı daha da artmaktadır.

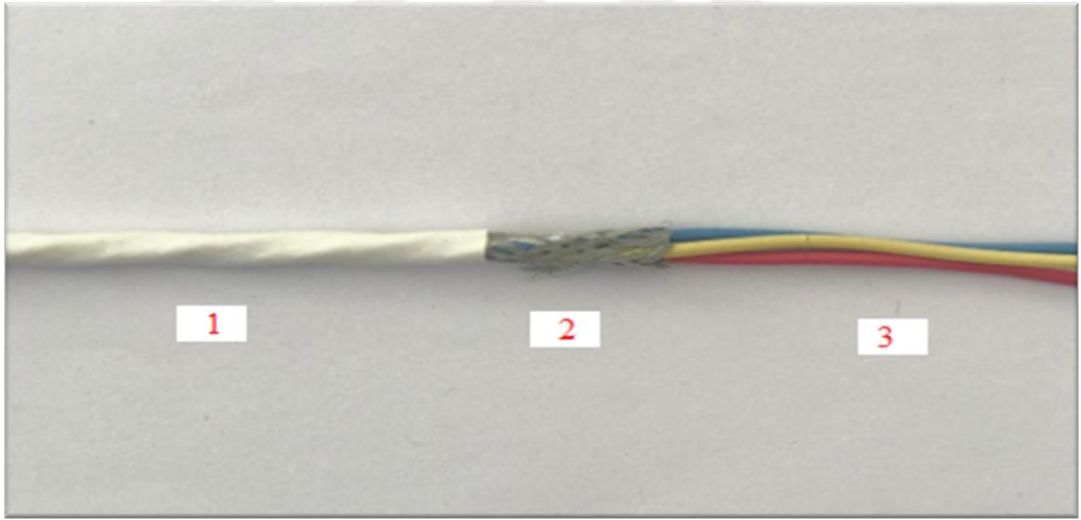
2.1.5. Deneyde kullanılan kablolar

Deneyde kullanılan kablolar önceden kullanılmış kablolar olup, Airbus A 300 uçağında kullanılan IDG besleme kablosu, Boeing 737-800 uçağının yakıt pompalarının beslenme kablosu ve yine Airbus A 320 serisine ait uçaklarda IDG'nın besleme hattının ara bus kablosudur. Bu kablolar; sırasıyla PTFE, ETFE, PTFE kablo yalıtımlarına sahiptir. Kablo seçiminin bu şekilde yapılmasının nedenleri;

1. Güç taşıma kablosu olduğundan dolayı ısıya maruz kalmaları,
2. Uçak üzerinde meydana gelen kimyasal etkilerin çoğunlukla bulunduğu bölgelerden seçilmişlerdir.
3. Farklı tip uçaklardan seçilerek testte çeşitlilik kazandırılmıştır.
4. Seçilen kablolarda kullanılan yalıtım malzemeleri uçak üzerinde birçok sistemde kullanılan yalıtım malzemesi olduğu için diğer kabloların kablo yaşam ömürleri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamıştır.
5. Bu kablolar bakım ihtiyacının yüksek olduğu yerlerde bulunduğu için herhangi bir bakım hatasından olumsuz yönde etkilenebilmektedirler.

2.1.5.1. Boeing 737-800 uçağına ait BMS13-48T24C030 kodlu kablo

Şekil 2.5’da Boeing 737-800 uçak serisine ait yakıt pompalarında kullanılan besleme kablosunu göstermektedir.

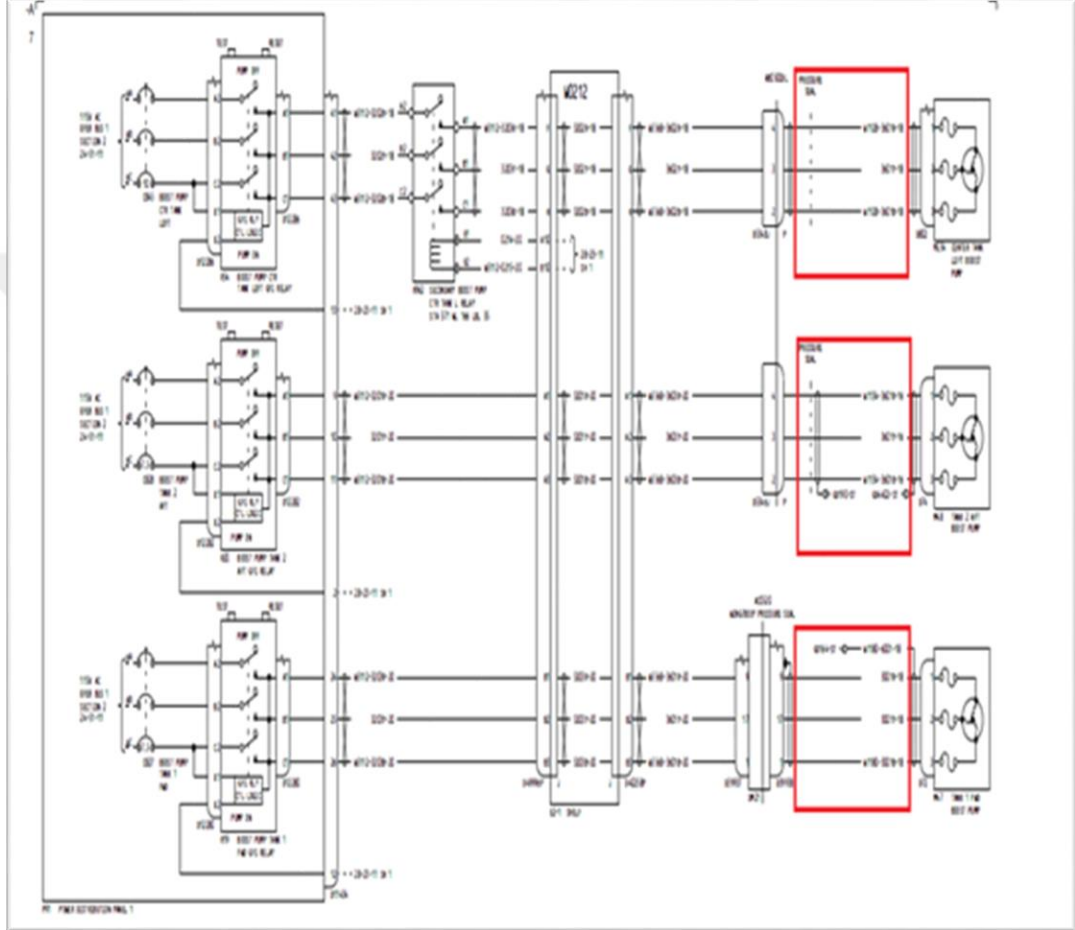


Şekil 2.5. Yakıt pompa kablosunun kısımları

1. ETFE polimeridir. Yaşlandırma deneyinde bu kısım ile ilgilenilmektedir.
2. Ekranlama kısmıdır. Kablonun çekirdek kısmına gelebilecek elektromanyetik alanları engellemek içindir. Bu kısımda kalaylanmış bakır kullanılmıştır.
3. İletken kısımdır. Bunlar üç tanedir ve yakıt pompasına giden 3 faz grubunu iletmekte kullanılır. İletkenler nikel bakır alaşımından oluşmaktadır.

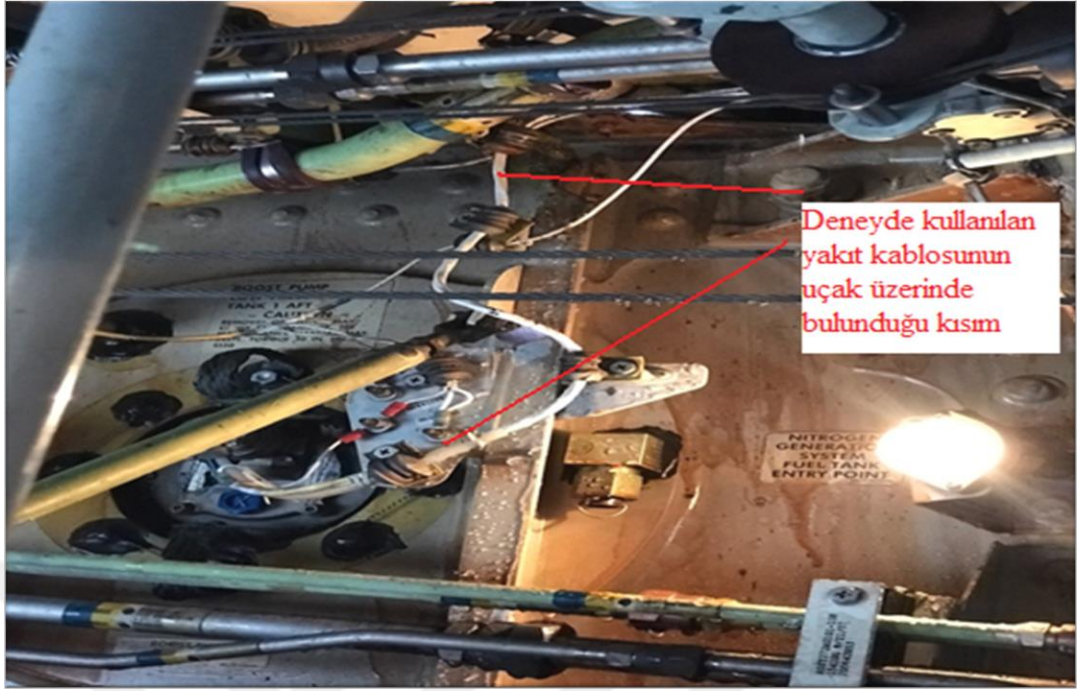
Bu kablonun uygun çalışma aralığı $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Gerilim kapasitesi ise 600 V AC ’dir [33].

Bir kablonun uçak üzerinde yerini bulmak, sistemin tam olarak nasıl çalıştığını anlamak ve sistemde hangi öğelerin olduğunu tespit etmek amacıyla kullanılan bakım kitabına Aircraft Wiring Diagram Manuel denilmektedir. Kullanılan kabloların wdm'leri görmek kabloların ne kadar öneme sahip olduğunu anlamamız açısından önemlidir.



Şekil 2.6. 737-800 uçağına ait BMS13-48T24C030 kodlu kablonun bulunduğu WDM şeması [34]

Şekil 2.6'de görülmekte olan kırmızı alanlar içerisinde alınmış kablo grupları 737-800 uçağında 6 adet bulunmakta olan yakıt pompalarının kablolarıdır. Bu kablolar 115 V'luk gerilimi 3 faz şeklinde yakıt pompalarına iletmekte kullanılmaktadır. Bulduğu koşullar itibariyle hem kimyasal etkilere maruz kalabilmekte hem de gerek kablonun içerisinden geçen akımdan kaynaklı termal etki olsun gerekse bulunduğu ortam doğrudan uçağın uçtuğu atmosfere maruz kaldığı için etkilenmektedir.



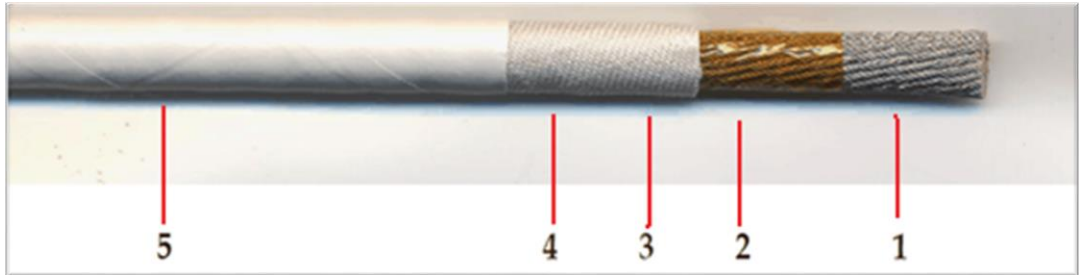
Şekil 2.7. 737-800 uçağı yakıt pompasının yağmurlu bir günde çekilmiş fotoğrafı

Şekil 2.7’de yağmurlu bir havada çekilmiş olan Boeing 737-800 uçağının yakıt pompasının bir fotoğrafı görülmektedir. Yakıt pompa kablosunun yağmur damllarına ne şekilde maruz kaldığı net bir şekilde görülmektedir. Nem, su yaşlandırma mekanizmaları arasında önemli bir faktördür. Ayrıca bu bölge uçak iniş takımı yuvasında yer aldığından dolayı benzer şekilde uçak temizleme sıvısı, de-icing sıvısı, hidrolik sıvısı gibi yaşlandırıcı etkenlerle karşı karşıya kalacaktır.

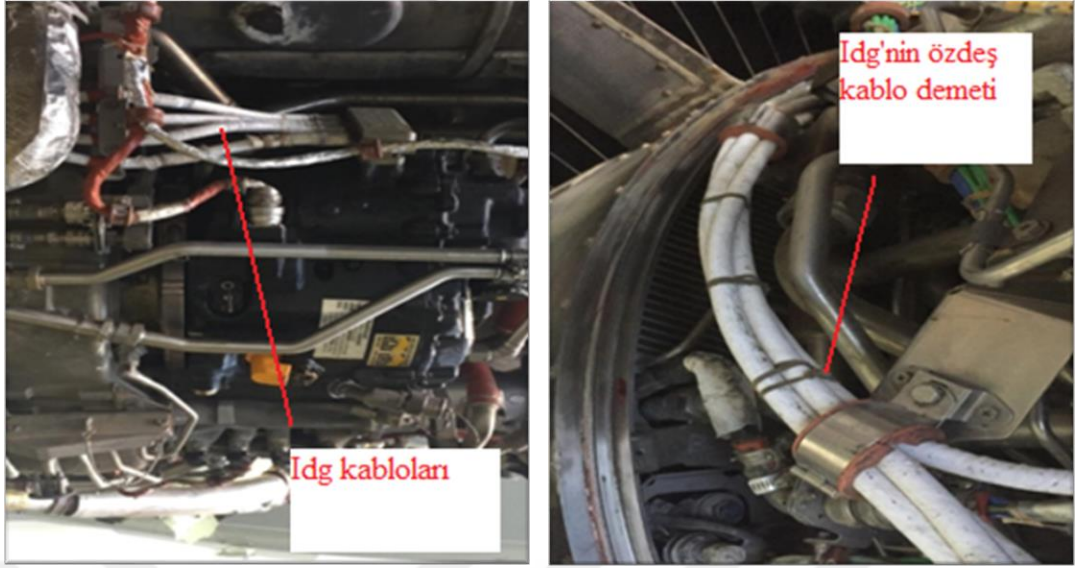
2.1.5.2. Airbus A 300 uçağına ait NSA935131 kodlu kablo

Şekil 2.8’da Airbus A300 uçağına ait IDG besleme kablosu görülmektedir.

IDG jeneratörde üretilen elektrik enerjisi bu kablo yoluyla iletiildiği için hayati öneme sahiptir.



Şekil 2.8. NSA935131 kodlu kablonun kısımları [24]



Şekil 2.10. Airbus A300 serisine ait uçağın motorunda IDG ve kablosunu

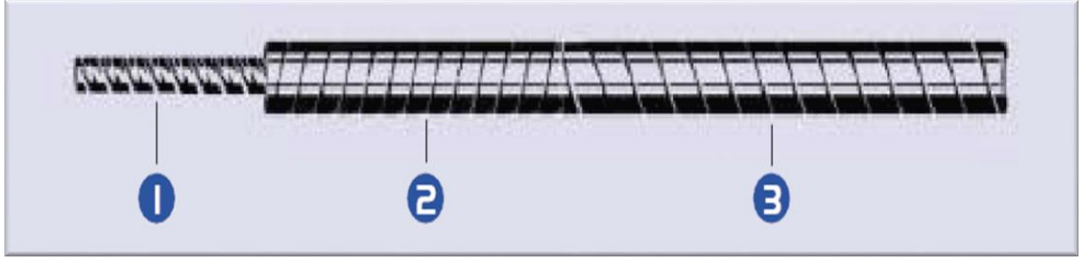
Şekil 2.10'da Airbus A300 serisine ait bir uçağın motorda bulunan IDG ve kablosu görülmektedir. Bu uçakta birçok uçağa göre farklı bir durum vardır. Bu durum IDG yani; uçağa için elektrik gücü üreten jeneratör C-duct içerisindedir. Diğer birçok uçak motorunda IDG jeneratör fan kaportası içerisindedir. Motor çalışırken C-duct içerisinde bulunan sıcaklık yüksektir. Bu nedenden dolayı bu uçakta IDG kablosuna termal olarak etki eden yaşlanma faktörü çok yüksektir.

Şekillerden de görüleceği gibi termal etkinin fazlalığı sebebiyle ısıya karşı dayanıklı bazı permacel bantları kabloların termal dayanımını arttırmak için kullanıldığını görülmektedir. Ayrıca motorda bulunan kablolara en fazla etki eden yaşlandırma faktörlerinden birisi de titreşimdir. Titreşim kablunun uçak yapısına düzenli bir şekilde monte edilmediği durumlarda (boşluk var ise) yapıya sürekli çarpma etkisiyle kablo zarar görebilir. Bu sebepten dolayı kablo demeti boyunca olan kelepçelerde boşluk engellemek için doldurucuları görebiliriz.

2.1.5.3. Airbus A 320 uçak serisinden alınan EN2267-008A140P kodlu kablo

Şekil 2.11'de Airbus uçağına ait deneyde kullanılan kablunun bölümleri gösterilmektedir.

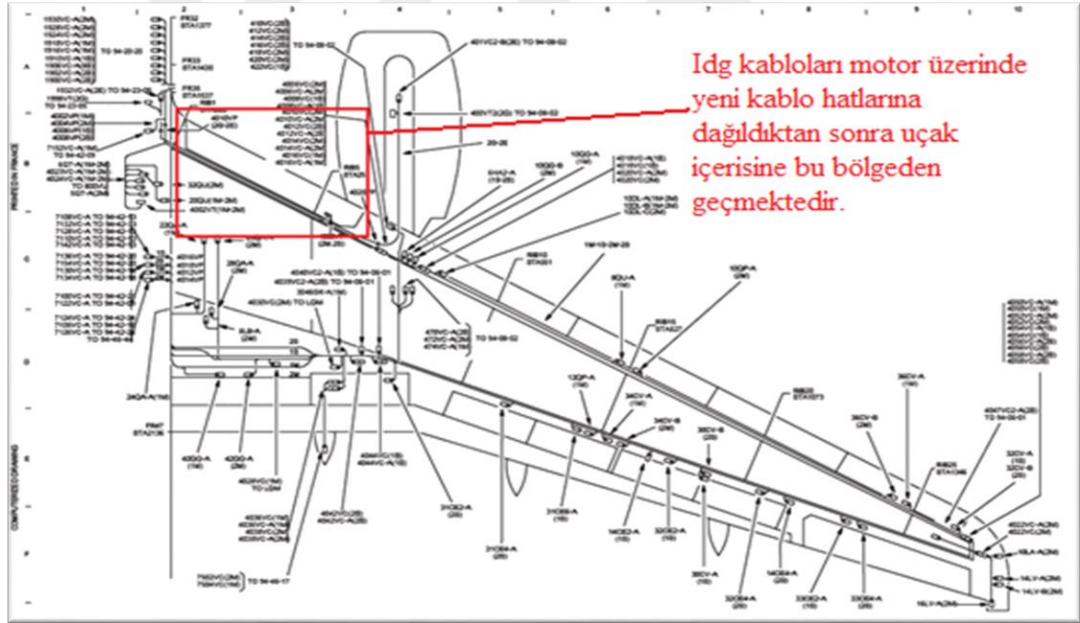
Bu kablo IDG'den gelen besleme hattının baralara dağılımını gerçekleştiren kablodur.



Şekil 2.11. Deneyde kullanılan EN2267-008A140P kodlu kablonun kısımları [32]

- 1) İletken kısımdır. Bu kısım nikel bakır alaşımından oluşmaktadır.
- 2) Bu kısım polimid'ten oluşmaktadır.
- 3) Bu kısım PTFE malzemedan yapılmış kablo yalıtımıdır.

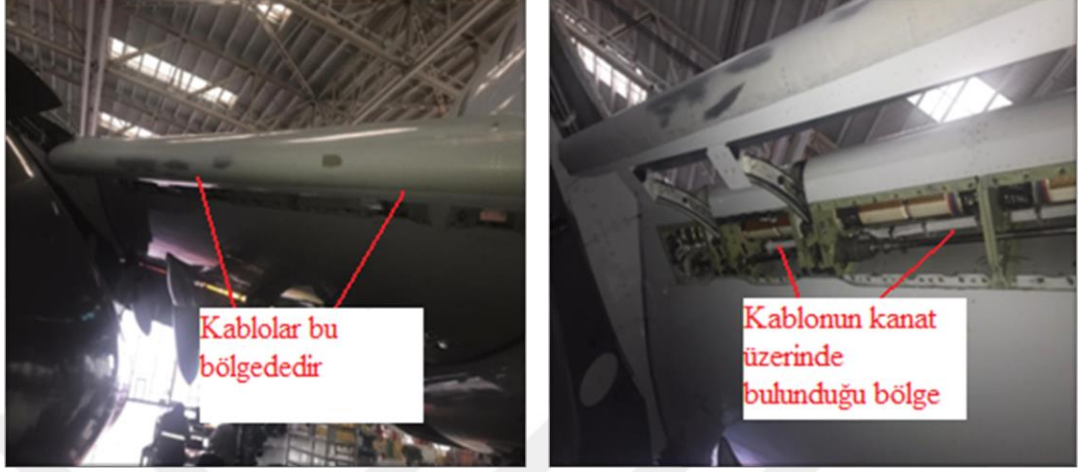
Bu kablonun kalıcı olarak çalışma aralığı $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Maksimum çalışma voltajı 600 V AC'dir [32].



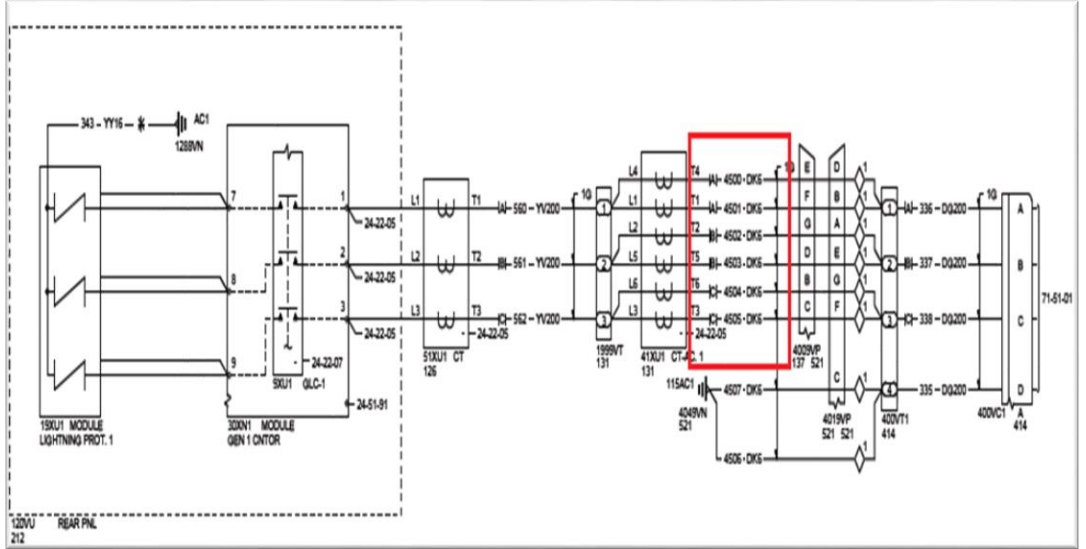
Şekil 2.12. Airbus A 320 uçak serisinden alınan EN2267-008A140P kodlu kablonun uçakta bulunduğu yer [36]

Şekil 2.12'de Awm'si verilen kanat şemasında EN2267-008A140P kodlu kablonun uçak üzerinde bulunduğu yer gösterilmiştir. Bu kablo Şekil 2.14'deki gibi uçak ile kanadın bileşim bölgesine yakın kısımda kruger flapların altında yer almaktadır. Ayrıca bu bölge uçuş sırasında kanatta meydana gelebilecek buzlanmaları

engellemek için kullanılan sıcak havanın pnömatik borularla iletildiği kısımdır. Bu sebepten dolayı bu bölgede bir sıcaklık artışı meydana gelmektedir.



Şekil 2.13. Airbus A320 uçağında EN2267-008A140P kodlu kablomun uçak üzerinde bulunduğu bölge



Şekil 2.14. Airbus A320 serisine ait uçaktan alınan EN2267-008A140P kodlu kablomun AWM'si [36]

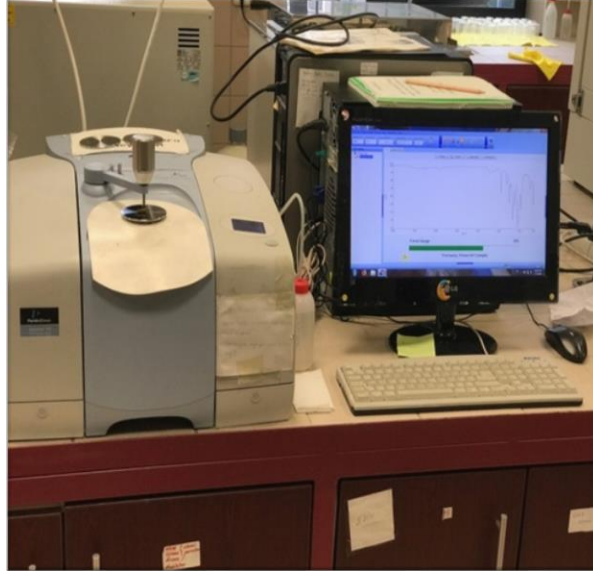
Şekil 2.14'de kırmızı alanla gösterilen bölge EN2267-008A140P kodlu kablomun Awm'si dir. Bu altı kablo grubu da aynı kodlu kablodan oluşmuştur. Her biri IDG'nin üretmiş olduğu 115v 400 Hz gerilimi uçak elektrik sistemlerine dağıtmakla yükümlüdür. Bu nedenlerden dolayı kritik öneme sahiptirler.

2.2. Deneyde Kullanılan İnceleme Yöntemleri

2.2.1. FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi)

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopide; moleküllerin yapısındaki bağların tanımlanması prensibine dayanan bir tanımlama şeklidir. Bu spektrumda molekülleri oluşturan yapılar arasındaki bağların titreşim ve dönme hareketleriyle ortaya çıkan frekanslara hangi piklerin karşılık geldiğine karar vererek yapılan bir ölçüm sistemidir. Bu pikler her molekül yapısı için farklıdır. Yani her bir molekülün kendine ait bir pik haritası vardır. FTIR küçük büyük tüm hücre ve moleküllerin tanımlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Uygulama alanları oldukça geniş ve sık sık kullanılan bir yöntemdir. Sahip olunan örneğe herhangi bir zarar vermeden ölçüm yapılabilmekte ve doğru sonuçlar alınabilmektedir. Bu spektroskopide; katı, sıvı ve gaz örneklerin neler olabileceğine karar vermek için kullanılan oldukça yaygın bir yöntemdir [31].

Bu tezde yapılan deneyde FTIR analizleri yapılmıştır. FTIR analizi için kullanılmış olduğumuz cihaz Şekil 2.15’de görülen Perkin Elmer Spektrum 100 FTIR Spectrometer’dir. FTIR ölçümü için kullanılan uç elmas (diamond) uçtur.



Şekil 2.15. FTIR analizi için kullanılan Perkin Elmer Spektrum 100 FTIR Spectrometer’i

2.2.2. Ağırlık testi

Bu test yöntemi; kablo yaşlandıkça kablonun ağırlığında bir değişim olup olmadığını ölçmek amacıyla yapılan bir testtir [11]. Bu işlem yapılırken cihaz hassas olarak bulunduğu ortama sabitlenmiştir. Kullanılan cihaz And Gr-200 hassas ölçümler yapabilen bir cihazdır. Bu cihaz ondalıksal olarak virgülden sonra dört basamak değerine kadar bizlere sonuç verebilmektedir.



Şekil 2.16. Hassas ölçüm için kullanılan And Gr-200 cihazı

Şekil 2.16'da kablo numunelerinin tartılmasında kullanılan cihaz görülmektedir. Tüm kablolar yaşlandırma sürecine tabi tutulmadan önce tartılarak alınan sonuçlar not edilmiştir. Yaşlandırma süreçleri bittikten sonra sonuçlar karşılaştırılarak kıyaslanmıştır.

2.2.3. Görsel kontrol yöntemi

Görsel kontrol yöntemi; uçakların periyodik bakımları sırasında uygulanması gereken bakım işlemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir uçak belirli bir süre uçuş süresi gerçekleştirdikten sonra uçak kablo sistemlerinin diğer bir deyişle belirli EWIS sistemlerinin kontrolü gerekmektedir. Görsel kontrol bu işlemlerden bir tanesidir. Uçak kabloları için görsel kontrol arızanın daha oluşmadan önce arıza oluşabilme öngörüsünün yapılabilirdiği ve henüz bir zarar görmeden engellenebildiği önemli noktalardan bir tanesidir. Görsel kontrol belirli şartlar altında geçerliliğini

koruyabilir. Görsel kontrol yapan kişinin deneyimi, bilgisi ve tecrübesi çok önemlidir. Ayrıca görsel kontrol işlemi sırasında görsel kontrol yapılacak kabloya erişim bir diğer kritik konudur [10].

Görsel kontrol sırasında el feneri, temiz bez, alkol türevi kimyasallar bu işlem gerçekleştirirken kullanılabilir. Görsel kontrolün önemini vurgulamamızın esas amacı kablo yalıtımın zarar görmeden veya zarar görebilme riskinin arttığı aşamalarda müdahale ederek bu etkiyi yok etmek veya tamir yöntemleri ile bu etkiyi azaltmaktır.

Bu bölümde; deneyde yapılan çalışmalarda kablonun görsel olarak kontrolleri yapılmıştır ve ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.3. Deneysel Uygulama

Uçaktaki kablolar çalışma sürecinde birçok etkiye maruz kalmaktadır. Bu etkiler kimyasal, elektriksel, mekaniksel, termal, nem vb. etkilerdir. Bu etkiler uçak kablo sisteminin çalışmasını, ömür süresini vb. olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkiler uçağın servis süreci boyunca güvenli bir şekilde uçabilme kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etki belirli bir süre sonra can ve mal kaybı gibi felaketlerle sonuçlanabilmektedir. Bu problemler yaşlandırma etkenlerini iyi analiz edebilmeli ve sonuçlarını iyi bir şekilde yorumlayabilme arzusu doğurmaktadır. Bu nedenlerden ötürü uçaklarda yaşlanma mekanizmalarının yoğun olduğu bölgelerden seçilmiş olan kablo gruplarıyla yaşlandırma deneyleri yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

2.3.1. Kablo numunelerinin hazırlanması

Kablo numuneleri seçilirken uçak üzerindeki en fazla yaşlandırma mekanizmalarına maruz kalan yerler göz önünde bulundurularak kablo seçimleri yapılmıştır. Ayrıca kablo seçimleri güç kablolarında seçilmiştir. Bunun nedeni ise kablonun taşıdığı akımdan dolayı maruz kalacağı termal etkide göz önünde bulundurulmuştur.

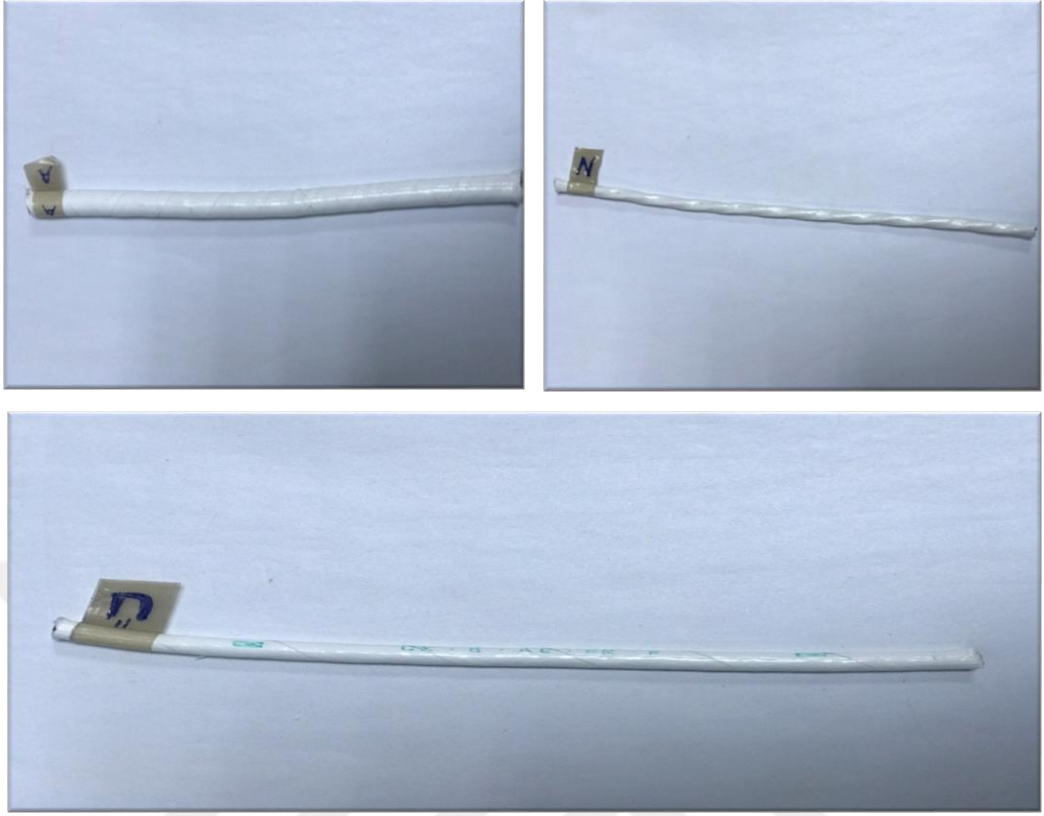
Bu deneyde kullanılmak üzere üç adet kablo türü seçilmiştir. Bu kablo türlerinin her biri farklı tip uçak modelinden alınmıştır. Alınan kablo örnekleri;

- 1) NSA935131 kodlu Airbus A300 serisinin uçak motorunda bulunan uçak sistemlerinin elektrik enerjisini karşılayan IDG'nin (Integrated Drive Generator) kablosudur.
- 2) BMS13-48T24C030 kodlu Boeing 737 serisinin yakıt sisteminde bulunan ve motorlara kullanacakları yakıtı sağlayan Booster pompaların kablosudur.
- 3) EN2267-008A140P kodlu Airbus A320 serisinin kanatlarında bulunan ve IDG'den gelen elektrik enerjisinin uçak sistemlerine dağılımının gerçekleştiren baranın kablosudur.

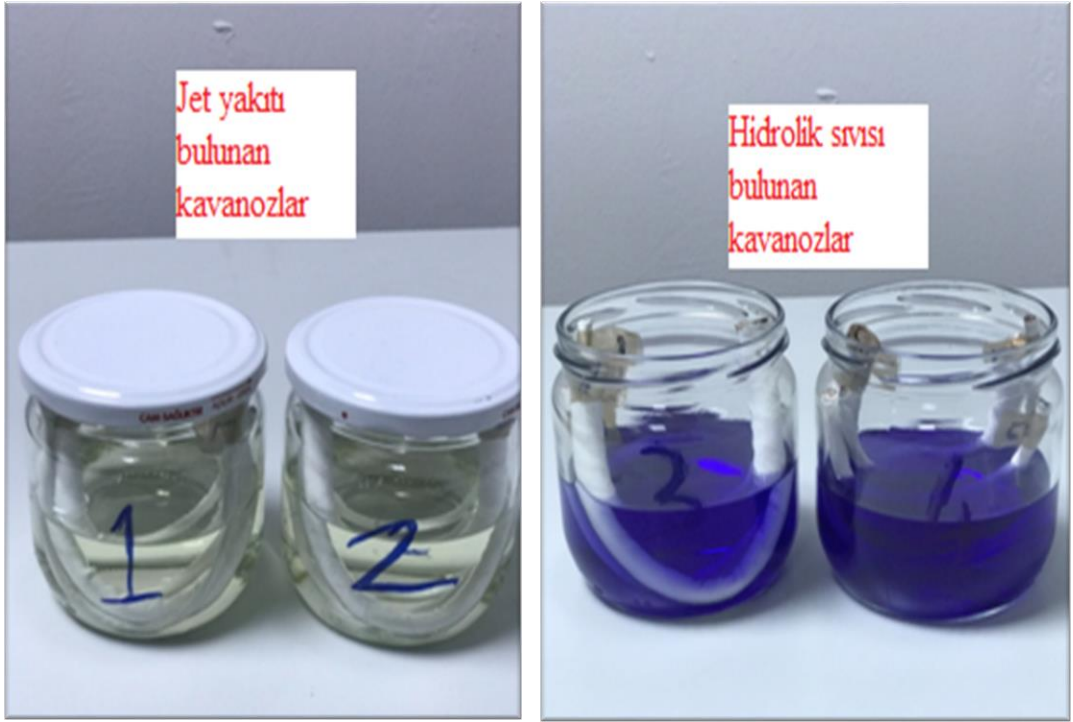
Deney planlaması şu şekilde yapılmıştır;

Bu kablo gruplarının her birinden 9'ar adet (her biri kendi grubunda eşit boylarda) numuneler kesilmiştir. Toplam tüm kablolar dahil numune sayısı 27'dir. Kesilen numunelere markalama (isimlendirme) işlemi yapılmıştır. Bu isimlendirme işlemi yapılırken kablo üzerinde kalacağı için sıcaklığa dayanıklı P-421 (PTFE) kodlu bant kullanılmıştır. Bu işlem sonrasında kesilen numuneler gözle kontrolden geçirilmiştir. Gözle kontrol sırasında kablolar da herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Gözle kontrol işlemi bittikten sonra kablolar hassas terazi ile ölçüm yöntemine tabi tutulmuş ve alınan değerler not edilmiştir ve yaşlandırma deneyleri bittikten sonra bu numuneler tekrar tartılarak kıyaslamaları yapılmıştır. Kesilen kablolardan her örnekten bir adet örnek numune alınarak FTIR analizi için ayrılmıştır. Daha sonra kablolar belli bir bükme kuvveti uygulanarak bükülüp kavanozlara konulmuştur. Kavanozlara 1'den 8'e kadar numaralandırma yapılmıştır ve kavanozlara kimyasallar doldurulmuştur. 1 ve 2 no'lu kavanoza jet yakıtı, 3 ve 4 no'lu kavanoza hidrolik sıvısı, 5 ve 6 no'lu kavanoza uçak temizleme sıvısı, 7 ve 8 no'lu kavanoza ise de-icing sıvısı konulmuştur.

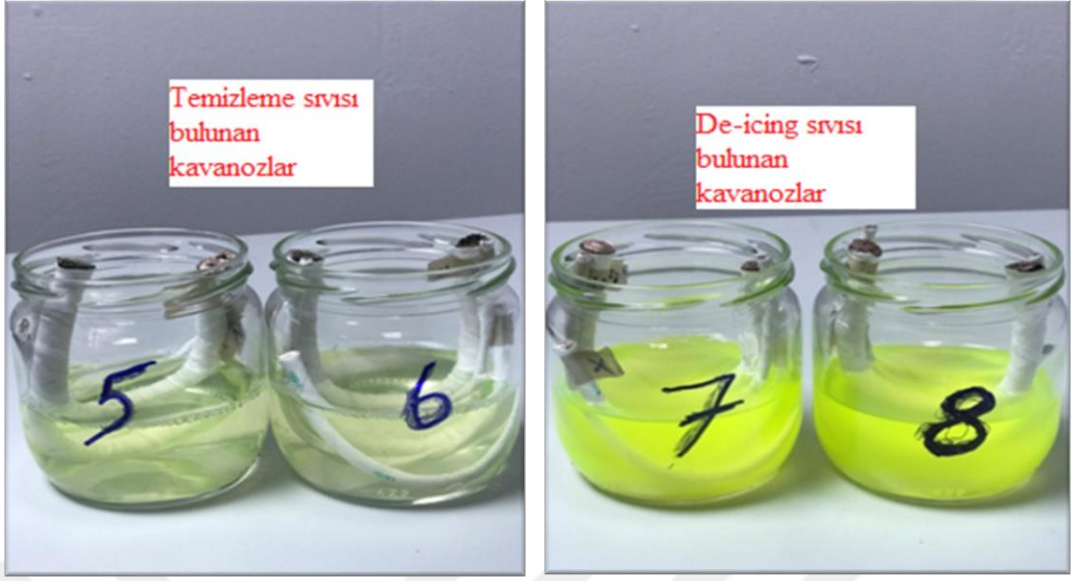
Şekil 2.17'de deneyde kullanılan bazı numunelerin görüntüleri görülmektedir. Numunelerin sayısı fazla olduğu için her kablo türünden 1'er adet örnek numune gösterilmiştir. Bu numuneler diğer numunelerle benzer özelliktedir.



Şekil 2.17. Deneyde kullanılan 3 adet farklı kablo numunesine ait örnekler



Şekil 2.18. AJŞ, BKT, CLU ve DMÜ kablo grupları ve buldukları sıvılar



Şekil 2.19. ENV, FOW, GPX ve HRY kablo grupları ve buldukları sıvılar

Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’da deneyler sırasında kullanılacak sıvılar olan; hidrolik sıvısı, jet A1 yakıtı, de-icing (buz çözme) sıvısı ve uçak temizleme sıvısı kavanozlar içerisine konularak içerisine kablo numuneleri şekillerdeki gibi bir bükme işlemi uygulanarak yerleştirilmiştir.



Şekil 2.20. Deneyde kullanılan yaşlandırma fırınları

Şekil 2.20’de deneyde kullanılan fırınlar görülmektedir.

Deneyde iki tane kendi aralarında özdeş yaşlandırma fırını kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yaşlanma Sürecinin Başlanması

Deneye başlarken şu mantık çizgisiyle devam edileceği kararlaştırılmıştır. Deneyin başlangıç aşamasında kablo numuneleri kesilip hazırlanmıştır. Kablo numuneleri kablo grupları halinde kavanozlara yerleştirilmiş ve bu kavanozlar 1 'den 8 'e kadar isimlendirilmiştir.

Kablolar her 250 saatte bir fırından çıkartılıp kimyasallara maruz bırakılacak şekilde toplam 1000 saat fırında kalmıştır. Bu 250 saatlik zaman dilimleri bittikten sonra çıkartılan kablolar deneyde belirlenen kriterler doğrultusunda 2 'şer saatlik belli sıcaklıklarla birlikte kimyasallara maruz bırakılmıştır. Kablolar ilk deneye başlama esnasında da kimyasallara maruz bırakılmıştır.

Tablo 3.1'de sol sütunda gösterilen kablo gruplarının 1000 saatlik yaşlandırma sürecinde her 250 saatlik süreçten sonra 2 saat boyunca hangi sıcaklıkta hangi kimyasala maruz kaldığı gösterilmektedir. Numuneler her 250 saatte bir fırınlardan çıkartılarak 2 saat süre ile kimyasallara maruz bırakıldıktan sonra üzerlerinde herhangi bir temizleme işlemi uygulanmadan fırınlara konulmuştur. Bu döngü özdeş bir şekilde 1000 saatin sonuna kadar 4 kez tekrarlanmıştır. ISZ kablo grubu örnek numune olarak ayrıldığı için herhangi bir yaşlandırma sürecine tabi tutulmamıştır. Bu kablo grubu diğer kablo numuneleriyle aynı kablodan kesilerek oluşturulmuştur. Bu kablo grubundan çıkan FTIR sonuçları diğer kablo numunelerinin FTIR sonuçlarından çıkan spektrumlarla kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamaları ayrıntılı olarak ileriki bölümlerde görebiliriz.

Tablo 3.1. Tüm kablo gruplarının maruz kaldıkları sıvılar (D: De-icing sıvısı H: Hidrolik sıvısı T: Temizleme sıvısı J: Jet yakıtı)

Fırında kalma süresi	0-250 saat				250-500 saat				500-750 saat				750-1000 saat			
	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C
Kullanılan kimyasallar	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C	D 50 °C	H 50 °C	T 65 °C	J 25 °C
AJŞ kablo grubu				X				X				X				X
HRY kablo grubu	X							X		X					X	
CLU kablo grubu		X				X			X					X		
BKT kablo grubu				X		X					X		X			
ENV kablo grubu			X				X			X					X	
DMÜ kablo grubu		X					X		X							X
GPX kablo grubu	X				X				X				X			
FOW kablo grubu			X		X							X		X		
ISZ kablo grubu																

Kablo grupları deneyin başında 2'şer saatlik kimyasallara yukarıda gösterilen tabloya göre bırakılmıştır. Bu işlem yapılırken jet yakıtı için 25 °C, hidrolik sıvısı için 50 °C, temizleme sıvısı için 65 °C ve de-icing sıvısı için 50 °C'de bu işlem gerçekleşmiştir. Deneyin bu kısmında fırınlarda bu sıcaklık ortamları ayarlanmış kablolar sıvıların içerisinde fırınlara verilip 2 saat sonra çıkartılmıştır. . Örneğin; HRY kablo grubu 0-250 saat dilimi öncesinde de-icing sıvısına, 250-500 saat dilimi öncesinde jet yakıtına , 500-750 saatlik zaman dilimi öncesinde hidrolik sıvısına , 750-1000 saatlik zaman dilimi öncesinde ise hidrolik sıvısına maruz kalmıştır. Bu kimyasallar her 250 saatlik sürecin başında kablolarla 2 saatlik süre ile yukarıdaki belirtilen sıcaklıklarda uygulanmıştır.



Şekil 3.1. Fırınlara 2 saatlik süreç için kimyasallarla birlikte konulan kablolar

Şekil 3.1’de belirli sıcaklıklarda 2 saat süre ile sıvılar içerisinde kalacak olan kablolar fırınlara konulmuştur.

Şekillerde 3,4,5,6,7,8 no’lu kavanozlar 250 saatlik yaşlandırma süresi öncesinde 2 saat süreyle fırınlarda belirtilen sıcaklık değerleri ayarlandıktan sonra fırınlara konulmuştur ve 2 saat sonra alınarak kimyasalların içerisinde çıkartılmıştır. Jet yakıtı için bu işlem 25 °C de olduğu için oda koşullarında bekletilmiştir. Bu işlem bittikten sonra kablolar kimyasallardan çıkartılarak uçaklarda da sıklıkla kullanılan termal dayanımı yüksek BMS13-54 TYPE1 kodlu iplerle fırın tellerine bağlanmıştır.



Şekil 3.2. Özdeş iki fırına bağlanılan kablo numuneleri

Kablo numunelerinin fırına bağlanma işlemi tamamlandıktan sonra fırınların kapağı kapatılarak 250 saatlik yaşlanma süreci başlamıştır.

3.2. 250 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları

250 saatlik fırında yaşlanmaların sonucunda fırından bağlanıldıkları ipleri kesilerek çıkarılan kabloların renkleri kahverengine dönmeye başlamıştır.



Şekil 3.3. CLU grubu kablolar (solda), AJŞ grubu kablolar(sağda)

Şekil 3.3’de görülen CLU kablo grubu 0-250 saatlik süreçte hidrolik sıvısına AJŞ kablo grubu ise jet yakıtına maruz kalmıştır. Kabloların yüzeylerinde meydana gelen değişimler şekillerde görülmektedir.



Şekil 3.4. ENV grubu kablolar(solda), GPX grubu kablolar (sağda)

Şekil 3.4 de ENV grubu kablolar 0-250 saatlik yaşlandırma sürecinde temizleme sıvısına, GPX kablo grubu ise bu süreçte de-icing sıvısına maruz kalmıştır. Numunelerin 0-250 saatlik yaşlandırma sürecinden sonra görünüşleri Şekil 3.4 de görülmektedir.



Şekil 3.5. Temizleme sıvısına maruz kalan kablo grubu (FOW)

Şekil 3.5’de FOW kablo grubu ilk olarak temizleme sıvısına maruz kalmıştır. Burada gösterilen 5 kablo grubundan 4 ‘ü süreçler boyunca aynı tip kimyasala maruz kalmış

sadece FOW kablo grubu deney sürecinde deneyde kullanılan dört kimyasala da maruz bırakılmıştır. Tüm kablo gruplarında kahverengine dönüş başlamışken CLU kablo grubunda kahverengine dönüşün yanı sıra noktasal kararmalar başlamıştır. Tekrardan kablolar ikişer saatlik kimyasala maruz bırakılmalarının ardından fırınlara konulmuştur.



Şekil 3.6. 250-500 saat arası için fırına konulan kablo numuneleri

Şekil 3.6’da tekrardan 2 saatlik kimyasala maruz kalarak yaşlandırılmak üzere 250 saatlik süre için fırınlara konulan numuneler görülmektedir. 0-250 saatlik yaşlandırma sürecindeki işlemlere benzer işlemler uygulanarak kablolar fırınlara bağlanmıştır.

3.3. 500 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları

Kablolar 500 saatin sonunda fırınlardan çıkarılarak değerlendirme yapılmıştır. Kahverengiye dönüş daha fazla artmasıyla birlikte CLU kablo grubunda kahverengi-siyah noktasal izlerin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.7. CLU kablo grubu (solda), AJŞ kablo grubu (sağda)

Şekil 3.7’de 250-500 saatlik yaşlandırma sonrasında fırınlardan çıkarılan hidrolik sıvına maruz bırakılan CLU kablo grubu ve jet yakıtına maruz bırakılan AJŞ kablo grubu görülmektedir.



Şekil 3.8. ENV kablo grubu (solda), GPX kablo grubu (sağda)

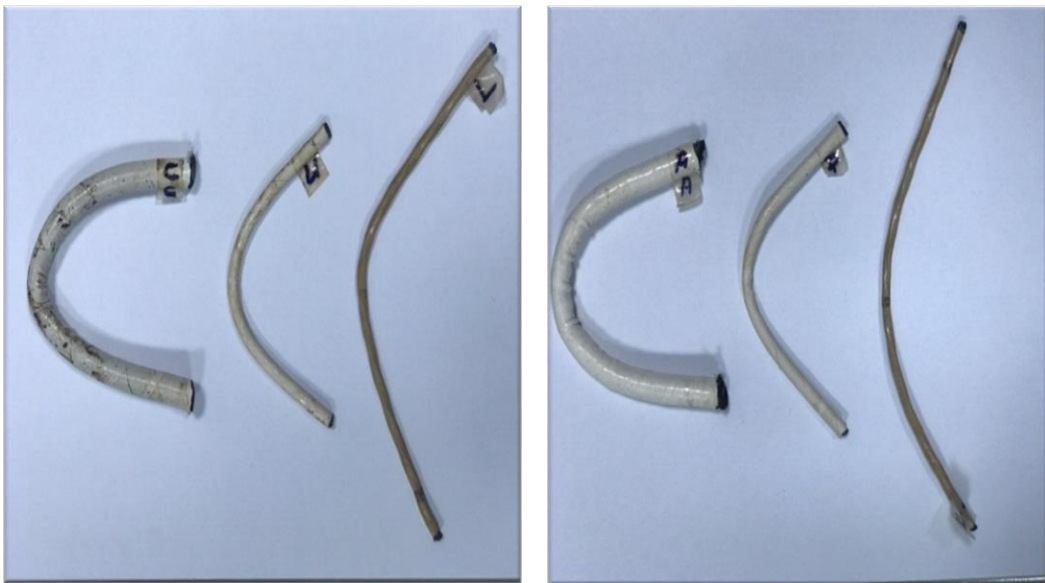


Şekil 3.9. De-icing sıvısına maruz kalan kablo grubu (FOW)

Şekil 3.9'da de-icing sıvısına maruz kalan FOW kablo grubu görülmektedir. 0-250 saatlik yaşlanma sürecinde temizleme sıvısına maruz kalan kablo grubu 250-500 saatlik yaşlandırma sürecinde de-icing sıvısına maruz kalmıştır.

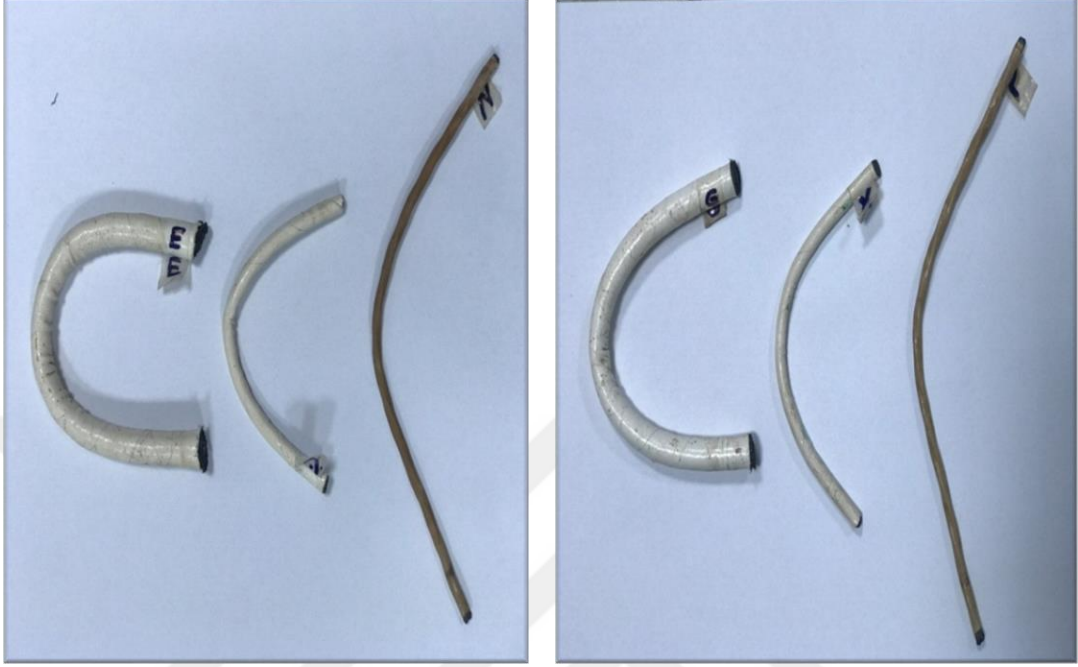
3.4. 750 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları

Kablo yalıtımında kahverengiye dönüş daha belirgin bir hal almıştır bazı kablo numunelerinde siyahlaşma meydana gelmeye başlamıştır. Kablo yalıtımı sertleştiğinden dolayı bükme esnasında kablodan çatırdama sesi duyulmaya başlanmıştır.



Şekil 3.10. CLU kablo grubu (solda), AJS kablo grubu (sağda).

Şekil 3.10'da 500-750 saatlik yaşlandırma sürecinin sonunda hidrolik sıvısına maruz kalan CLU kablo grubu ve jet yakıtına maruz kalan AJŞ kablo grubu görülmektedir.



Şekil 3.11. ENV kablo grubu (solda), GPX kablo grubu (sağda).

Şekil 3.11'de 500-750 saatlik yaşlandırma sürecinin sonunda temizleme sıvısına maruz kalan ENV kablo grubu ve de-icing sıvısına maruz kalan GPX kablo grubu görülmektedir.



Şekil 3.12. Jet yakıtına maruz kalan kablo grubu (FOW)

Şekil 3.12’de 500-750 saatlik sürenin sonunda jet yakıtına maruz kalana FOW kablo grubu görülmektedir. FOW kablo grubu her 250 saat yaşlanma süresi sonunda bir öncekine göre farklı bir kimyasal sıvıya maruz kalmaktadır.

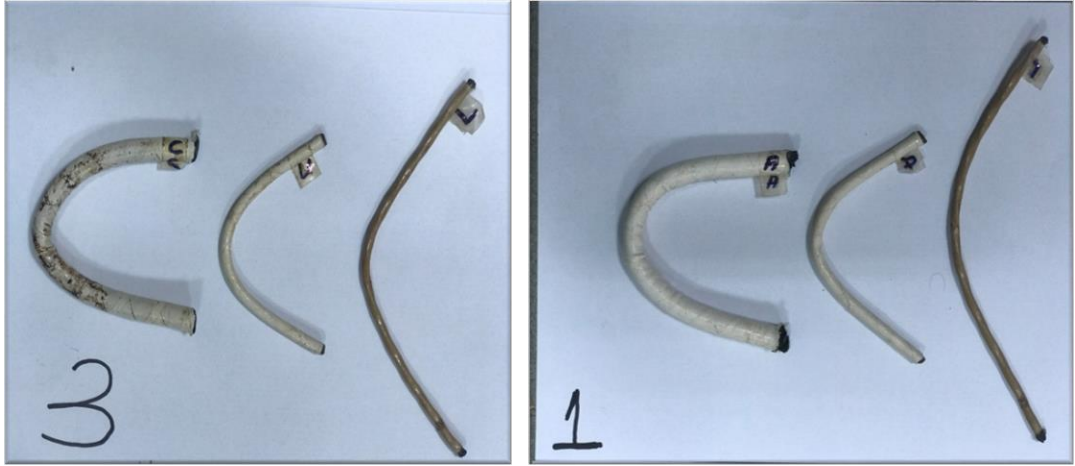
3.5. 1000 Saatlik Yaşlanma Sonrası Kabloların Durumları

Kabloların yaşlandırma süreci sona ermiştir. Kablolarda belirgin bir şekilde kahverengi renk oluşumu bazı kablolarda siyaha yakın şekilde oluşmuştur. Kabloları bükmek artık çok zor bir hal almıştır. Dört sıvıya ve hidrolik sıvısına maruz kalan kablolarda net şekilde yüzeyde karbonlaşmalar olduğu görülmüştür.



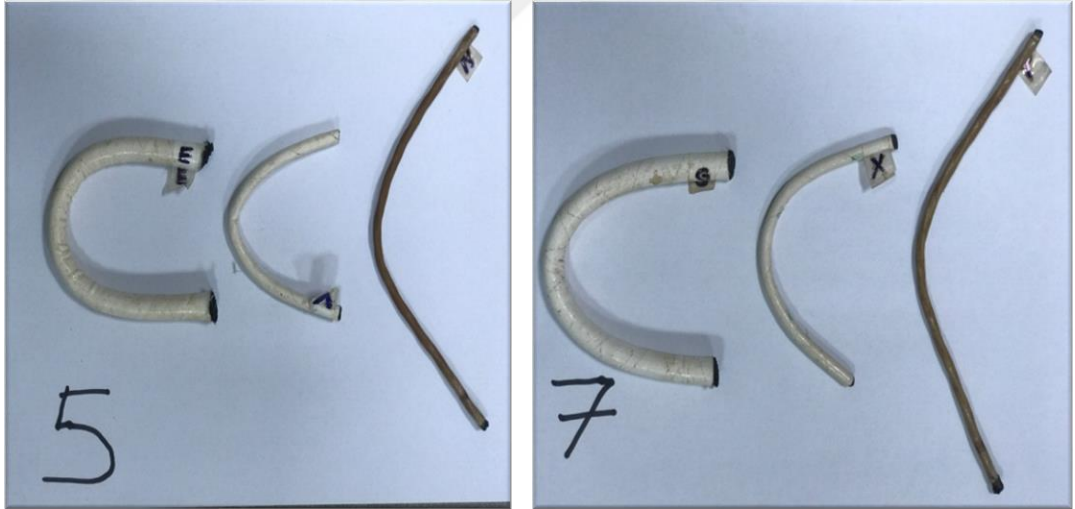
Şekil 3.13. 1000 saatlik süre sonunda kabloların fırından çıkmadan son durumları

Şekil 3.13’de 1000 saatlik süre sonunda gerçekleşen yaşlanmasının sonunda deneyde kullanılan tüm kablo gruplarının fırından çıkmadan son durumları görülmektedir.



Şekil 3.14. CLU kablo grubu (solda), AJŞ kablo grubu (sağda)

Şekil 3.14’de yaşlandırma süreci boyunca her 250 saatte fırından çıkarılarak 2 saat süre ile hidrolik sıvısına maruz kalan CLU kablo grubu ve yine her 250 saatte fırından çıkarılarak 2 saatlik süre ile jet yakıtına maruz kalan AJŞ kablo grubu görülmektedir. Şekillerin altlarında yazan sayılar kablo gruplarının hangi kavanozlar içerisinde kaldığını göstermektedir.



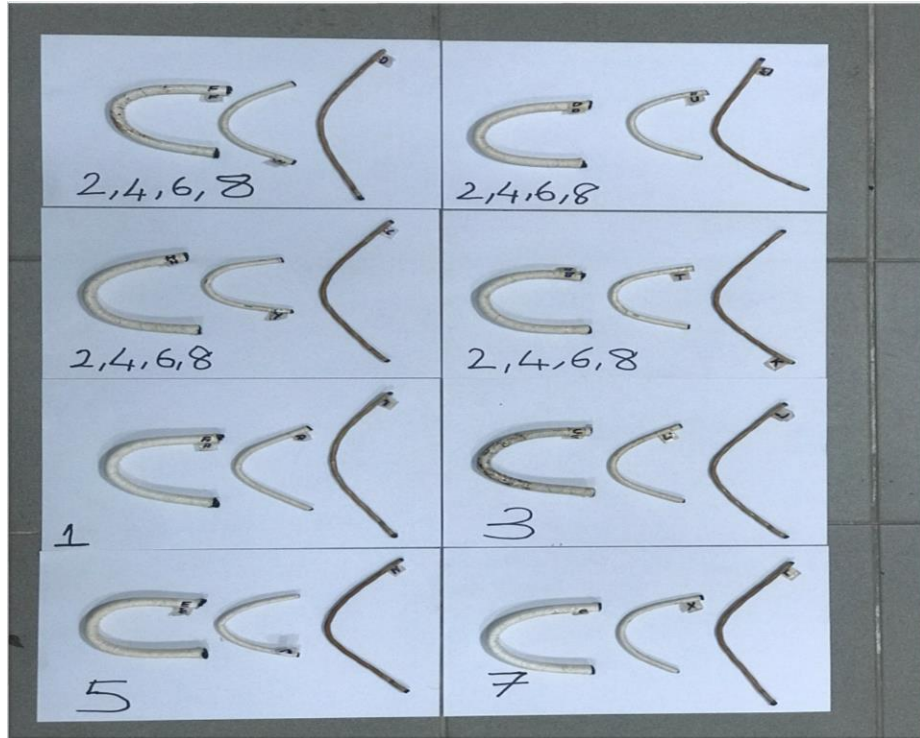
Şekil 3.15. ENV kablo grubu (solda), GPX kablo grubu (sağda)

Şekil 3.15’de Şekil 3.14’e benzer şekilde yaşlandırma süreci boyunca her 250 saatlik yaşlandırma sonunda fırından çıkarılarak 2 saatlik süre ile temizleme sıvısına maruz kalan ENV kablo grubu ve yine her 250 saatte çıkarılarak 2 saatlik süre ile de-icing sıvısına maruz kalan GPX kablosu görülmektedir. Kabloların bulunduğu zeminlerde yazan sayılar bulunduğu kavanozları temsil etmektedir.



Şekil 3.16. 4 sıvı grubuna maruz kalan kablo grubu (FOW)

Şekil 3.16'da 1000 saatlik yaşlandırma sonucunda fırından çıkarılan FOW grubu kablo görülmektedir. Bu kablo grubu her 250 saatlik sürenin sonunda fırından çıkarıldıktan sonra 2 saatlik bir kimyasala maruz bırakılarak fırına tekrar konulmuştur. Bu kablo grubunun maruz bırakıldığı sıvıların sıralaması Tablo 3.1'de ayrıntılı şekilde verilmiştir.



Şekil 3.17. Tüm yaşlandırma sürecinden geçen kablolar

Şekil 3.17’de yaşlandırma süreçlerinden geçen tüm numuneler görülmektedir. Bu numunelerin buldukları düzlemde dikdörtgenler içerisinde yazan sayılar kablo numunesinin içinde bulunduğu kavanozları göstermektedir.

3.6. Kablo Ağırlıklarında Meydana Gelen Değişimler

Joseph Kurek ve arkadaşları; PI (Poliimid) kablolar 250°C ‘de yaşlandırma fırınında kaldıklarında yaklaşık 5000 saate kadar ağırlıklarında herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir demiştir. Ayrıca CP (Polytetrafluoroethylene/polyimide composites) kablolarda 260 °C’de yaşlandırmaya maruz kaldıklarında yaklaşık 2000 saatlik süre zarfında ağırlıklarında herhangi bir değişim görülmediğini vurgulamışlardır [11].

Bu tezde üç tane kablo türü kullanılmıştır. Fakat bu kablo türlerinin yalıtımları 2 çeşittir. Bunlar; PTFE, ETFE ‘dir. Yukarıda belirtildiği gibi PTFE kablo yalıtımları üzerinde çok ufak değişimler meydana gelmiştir.

Tablo 3.2. NSA 935131 kodlu IDG kablo yalıtımı

Kablo kodu	Yaşlanma Öncesi Ağırlıklar(gr)	Yaşlanma sonrası ağırlıklar (gr)	Kablo kılıf malzemesi
A	84,2763	84,2781	PTFE
B	83,047	83,1702	PTFE
C	85,4126	85,7228	PTFE
D	86,19	86,0659	PTFE
E	86,5826	86,507	PTFE
F	84,2748	84,318	PTFE
G	84,3303	84,3465	PTFE
H	84,439	84,5058	PTFE
TOPLAM	678,5526	678,9143	

Tablo 3.2’de Airbus A 300 uçak serisinin motorunda bulunan NSA935131 kodlu IDG kablosunun yalıtımında 1000 saatlik yaşlandırma süreci öncesinde ve sonrasında kablo ağırlıklarında meydana gelen değişimler gösterilmektedir. Ayrıca bu tabloda yaşlandırma öncesi ve sonrası toplam ağırlıklar ve kablo yalıtım malzemesinin hangi polimerden yapıldığı ifade edilmiştir. Airbus A 300 uçak

serisinin motorunda bulunan NSA935131 kodlu IDG kablo yalıtımında 1000 saatlik yaşlanma sonrasında meydana gelen toplam ağırlık değişmesi tüm kabloları hesaba kattığımızda 0,3617 gr'dır. Bunu yüzdesel olarak düşündüğümüzde 0,0533 gr artışa denk gelmektedir. Bunun sebebi kimyasal emilimidir.

Tablo 3.3. EN2267-008A140P kodlu IDG arabus kablo yalıtımı

Kablo Kodu	Yaşlanma Öncesi Ağırlıklar(gr)	Yaşlanma Sonrası Ağırlıklar (gr)	Kablo Kılıf Malzemesi
Ş	20,068	20,068	PTFE
T	20,5838	20,5742	PTFE
U	19,5851	19,6044	PTFE
Ü	19,8024	19,8404	PTFE
V	19,7958	19,7964	PTFE
W	19,9924	19,9959	PTFE
X	19,9997	19,9995	PTFE
Y	19,8802	19,9505	PTFE
TOPLAM	159,7074	159,8293	

Tablo 3.3'de Airbus A 320 uçak serisinin kanadında bulunan EN2267-008A180P kodlu IDG arabus kablosunun yalıtımında 1000 saatlik yaşlandırma öncesi ve sonrasında kablo yalıtımlarında meydana gelen ağırlık değişimlerini, yaşlandırma öncesi ve sonrasında toplam ağırlıklarını ve kablo yalıtımının hangi polimerden oluştuğunu göstermektedir.

Airbus A 320 uçak serisinin kanadında bulunan EN2267-008A140P kodlu IDG arabus kablo yalıtımında 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında tüm kablolarında toplam 0,1219 gr ağırlık artışı meydana gelmiştir. Bu değeri yüzdesel olarak düşündüğümüzde 0,07632 gr artışa denk gelmektedir. Bunun sebebi kimyasal emilimin gerçekleşmesidir.

Yukarıda verilen tablolarda ifade edildiği gibi kabloların ağırlıklarında herhangi bir göze çarpan ağırlık değişimi meydana gelmemiştir. Bu da literatürde verilen FAA dokümanı (Aircraft Wiring Degradation Study) destekler yöndedir [11].

Tablo 3.4. BMS13-48T24C030 kodlu yakıt pompası kablo yalıtımı

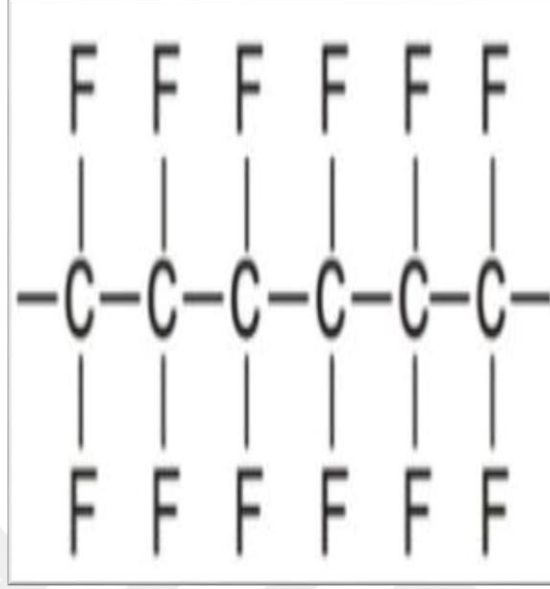
Kablo Kodu	Yaşlanma Öncesi Ağırlıklar(gr)	Yaşlanma Sonrası Ağırlıklar (gr)	Kablo Kılıf Malzemesi
J	11,6389	11,4787	ETFE
K	11,7261	11,5776	ETFE
L	11,7429	11,5977	ETFE
M	11,5867	11,45	ETFE
N	11,6306	11,4554	ETFE
O	11,6018	11,4429	ETFE
P	11,7393	11,5743	ETFE
R	11,5792	11,4057	ETFE
TOPLAM	93,2455	91,9823	

Tablo 3.4 Boeing 737-800 uçak serisine ait iniş takımı yuvasında bulunan BMS13-48T24C030 kodlu yakıt pompasının kablo yalıtımında 1000 saatlik yaşlandırma sürecinin öncesinde ve sonrasında kablo yalıtımlarında meydana gelen ağırlık değişimlerini, kablonun yaşlandırma öncesi ve sonrasında toplam ağırlıklarını ve kablo yalıtım malzemesinin yapılmış olduğu polimeri göstermektedir. Boeing 737-800 uçak serisinin iniş takımı yuvasında bulunan BMS13-48T24C030 kodlu yakıt pompası kablo yalıtımında 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında 1,2632 gramlık bir ağırlık azalması meydana gelmiştir. Bu da yüzdesel olarak ifade edilirse; 1,3547 gr azalmaya denk gelmektedir. Bu azalmanın nedeni ise; kabloda meydana gelen kütleli erozyondur.

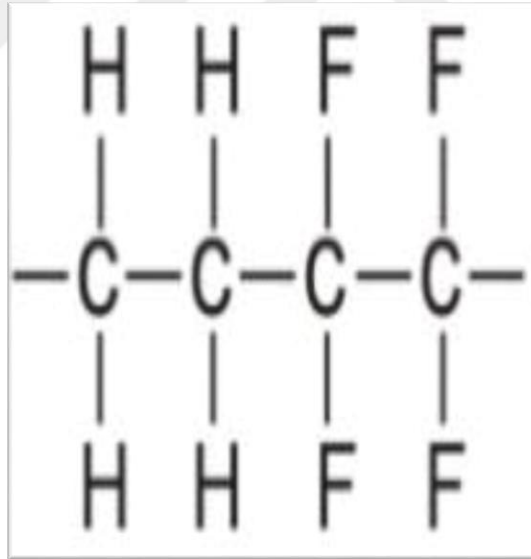
3.7. FTIR Sonuçları

FTIR analizi, organik bileşikler içeren malzemelerde dalga boyu-geçirgenlik üzerinden bu malzemelerin kimyasal yapıları hakkında kalitatif ve kantitatif bilgi verir. Deneyde FTIR çekimi numunelerin 3 ayrı noktasından olmak üzere 5 tarama gerçekleştirilerek yapılmıştır. Kullanılan dalga boyu aralığı 650-4000 cm^{-1} 'dir. Analiz sonucunda görülen piklerin karakteristikleri veritabanları da yer alan sonuçlarla kıyaslanarak malzeme içerisindeki kimyasal bileşikler, bağlar vs. bilgi verir. Bu anlamda yaptığımız çalışmada uçağın farklı bölümlerinde kullanılan kabloların kaplama malzemelerinin, buralarda kullanılan sıvılardan etkilenme miktarını

gözlemek amacıyla bu analiz yöntemi kullanılmıştır. Kabloların FTIR spektrometresi alınmış ve ortaya çıkan grafikler incelenmiştir.



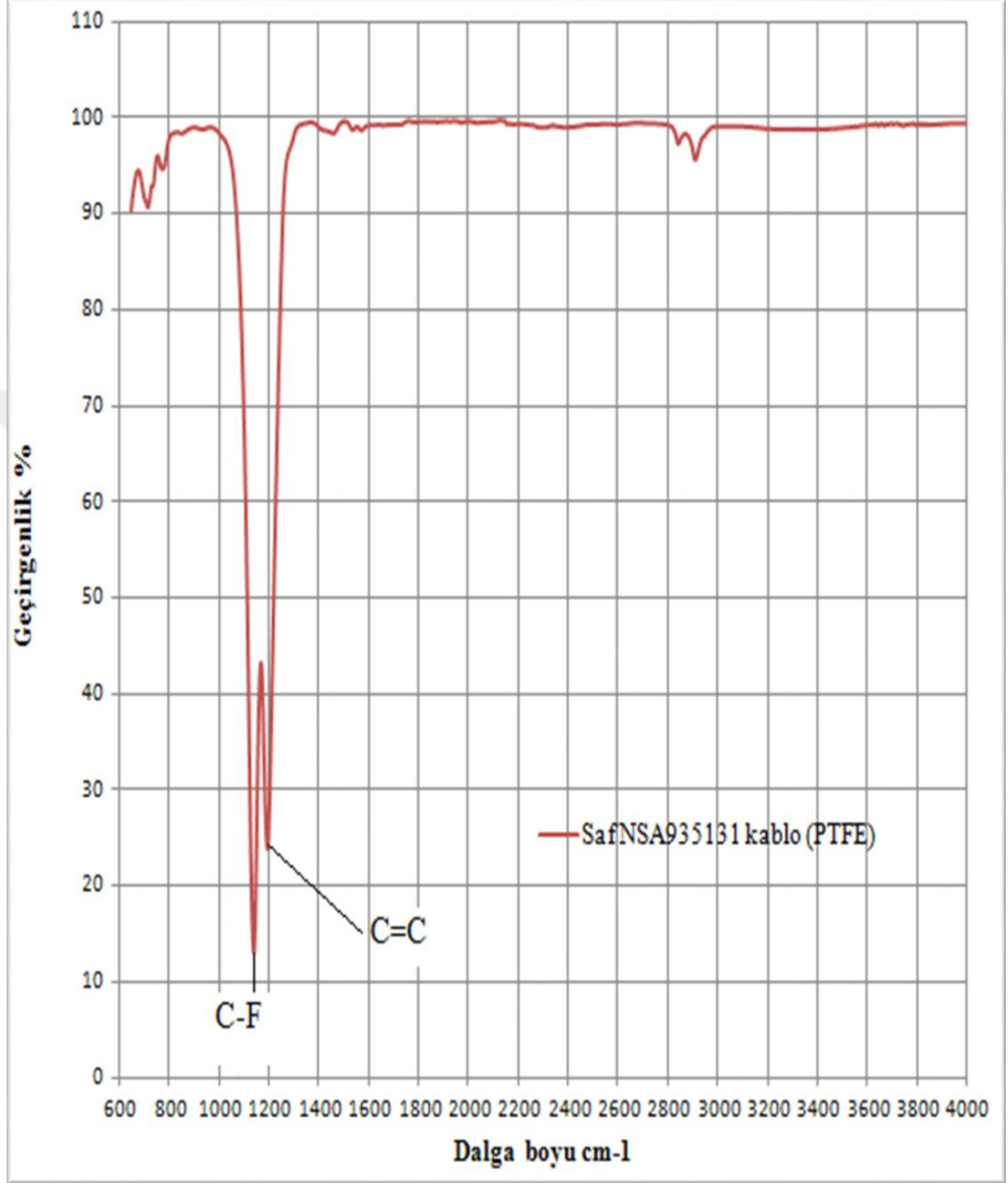
Şekil 3.18. PTFE'nin molekül yapısı [41]



Şekil 3.19. ETFE'nin molekül yapısı [41]

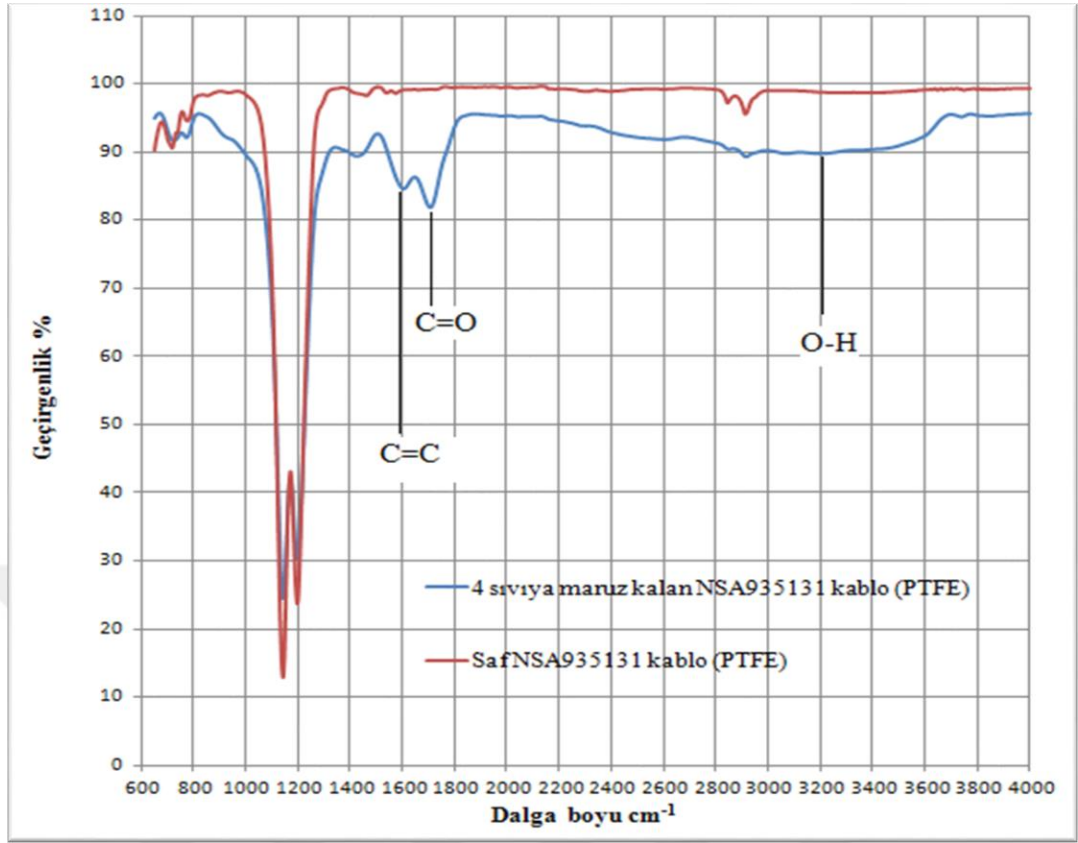
Şekil 3.18 ve Şekil 3.19 sırasıyla PTFE ve ETFE polimerlerin molekül yapılarını göstermektedir. PTFE'nin molekül yapısında güçlü C-F bağlarının olduğunu, ETFE 'de ise C-H bağı ve C-F bağlarının olduğu görülmektedir.

3.7.1. 4 sıvı grubunun maruz kaldığı PTFE kablosunun analizi



Şekil 3.20. Saf NSA935131 PTFE kablo yalıtımının FTIR analizi

Şekil 3.20’de saf NSA935131 kodlu kablonun PTFE kablo yalıtımının FTIR analizi sonucunda ortaya çıkan grafiği görülmektedir. Bu grafik hiçbir işleme tabi tutulmamış ISZ kablo grubundan I kablosuna aittir.



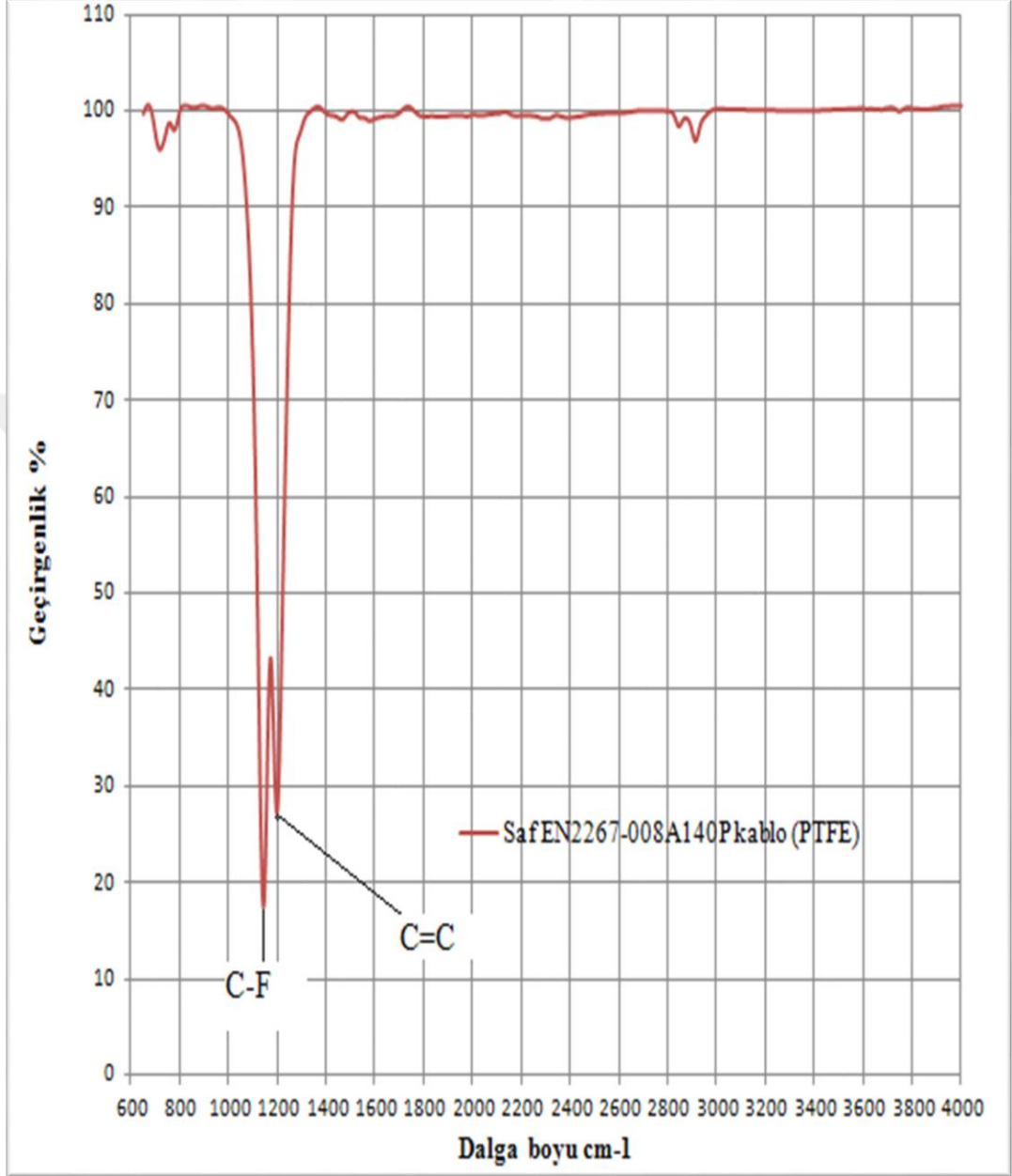
Şekil 3.21. 4 sıvı türüne maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE)

Şekil 3.21 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında 4 sıvı türüne de maruz kalan NSA935131 kodlu kablonun (PTFE) FTIR grafiği görülmektedir.

Şekil 3.20 ve 3.21'den görüldüğü gibi; Saf PTFE $1300 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ bölgesinde keskin ve şiddetli iki karakteristik pike sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu pikler PTFE'nin omurgasında yer alan CF_2 gerilme piklerine karşılık gelmektedir [38].

Yukarıdaki şekillerden görüldüğü gibi; saf PTFE (Politetraflor Etilen) (Ticari adı: Teflon) malzeme ile 4 sıvı türüne maruz kalmış malzemenin FTIR analizleri kıyaslandığında görülmektedir ki 4 sıvısı $1600-1800 \text{ cm}^{-1}$ dalga boyu değerinde 2 ayrı pik oluşturmuştur. Bu bölgede $\text{C}=\text{C}$ ve $\text{C}=\text{O}$ pikleri oluşmuştur. Ayrıca $3000-3500 \text{ cm}^{-1}$ seviyelerinde hidroksil gruplarının oluştuğu söylenilebilir. Bu demektir ki 4 sıvısının kimyasal yapısından dolayı PTFE malzemenin kimyasal yapısı etkilenmiştir. Bu da zamanla kaplama malzemesinin bozunmasına sebep olabilecek bir değişim olabilir. Ayrıca genel olarak geçirgenlik değerleri de değişmiştir. Bu, sıvının malzeme yüzeyinde erozyon etkisi oluşturduğunu göstermektedir. Yani bu

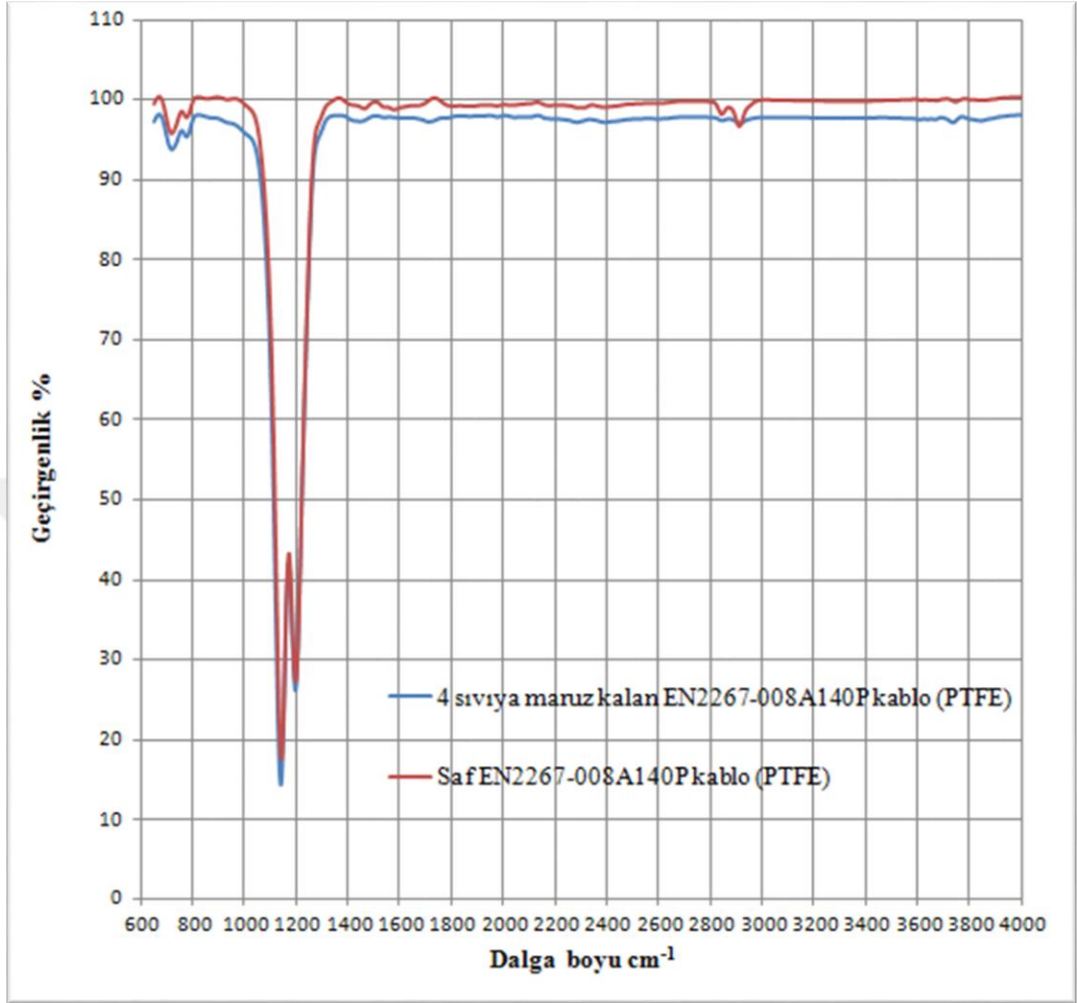
sıvı grubu hep birlikte uygulandığında kablo yalıtımlarını hem kimyasal olarak hem de fiziksel olarak etkilemektedir.



Şekil 3.22. Saf EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE)

Saf EN2267-008A140P kodlu kablo 'da NSA935131'e benzer kablo kılıf özelliklerine sahip PTFE kablo yalıtım malzemesinden oluşmuştur.

Bu malzemenin karakteristik FTIR spektrumunda 2 tane pik vardır. Bu pikler 1100-1200 cm^{-1} seviyeleri arasındadır.



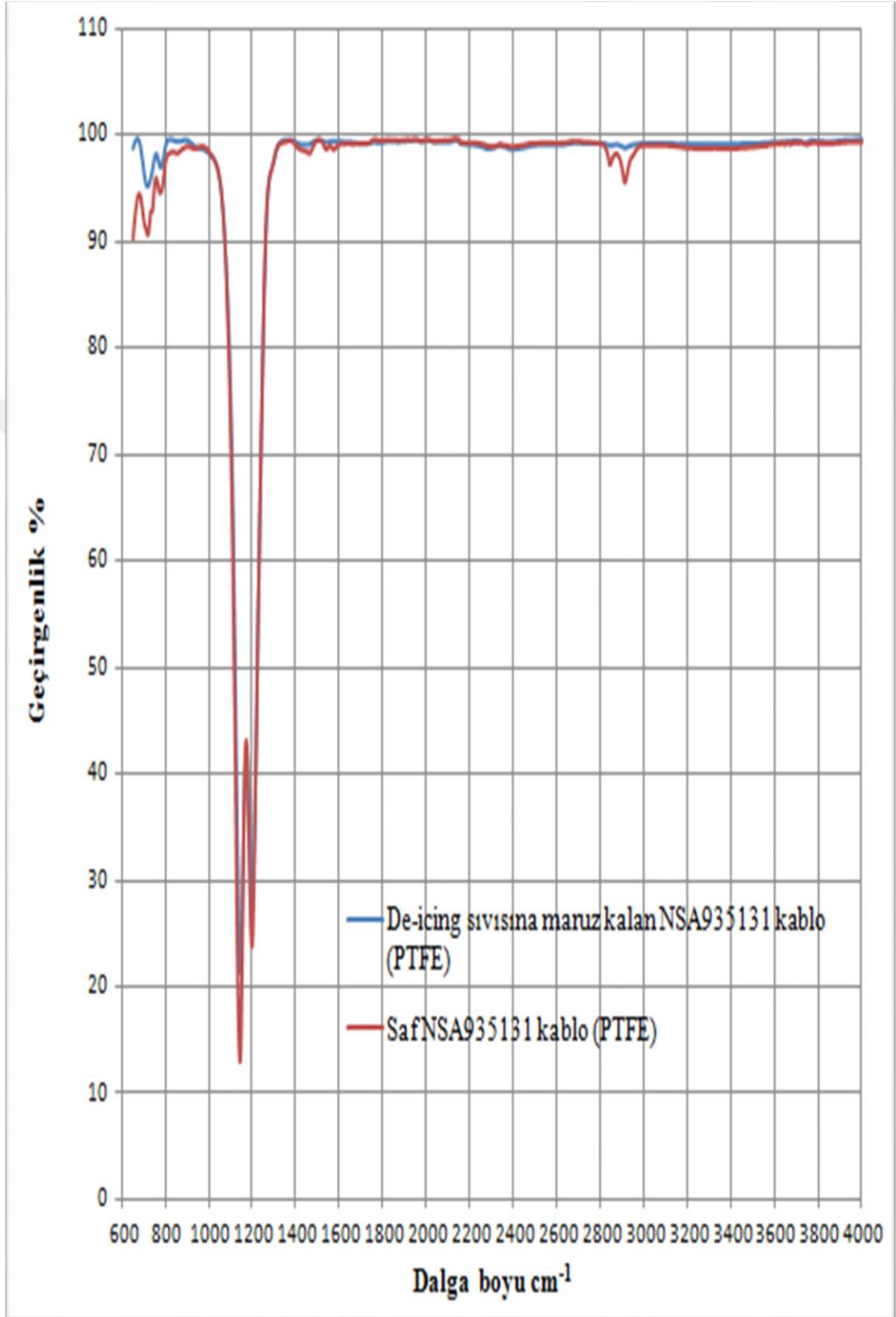
Şekil 3.23. 4 sıvı türüne maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE)

Şekil 3.22’de herhangi bir yaşlandırma sürecine maruz kalmamış EN2267-008A140P kodlu (PTFE) kablosunun FTIR grafiği görülmektedir. Bu kablo hiçbir yaşlandırma sürecine maruz kalmamış olan ISZ kablo grubundan Z kablosuna aittir.

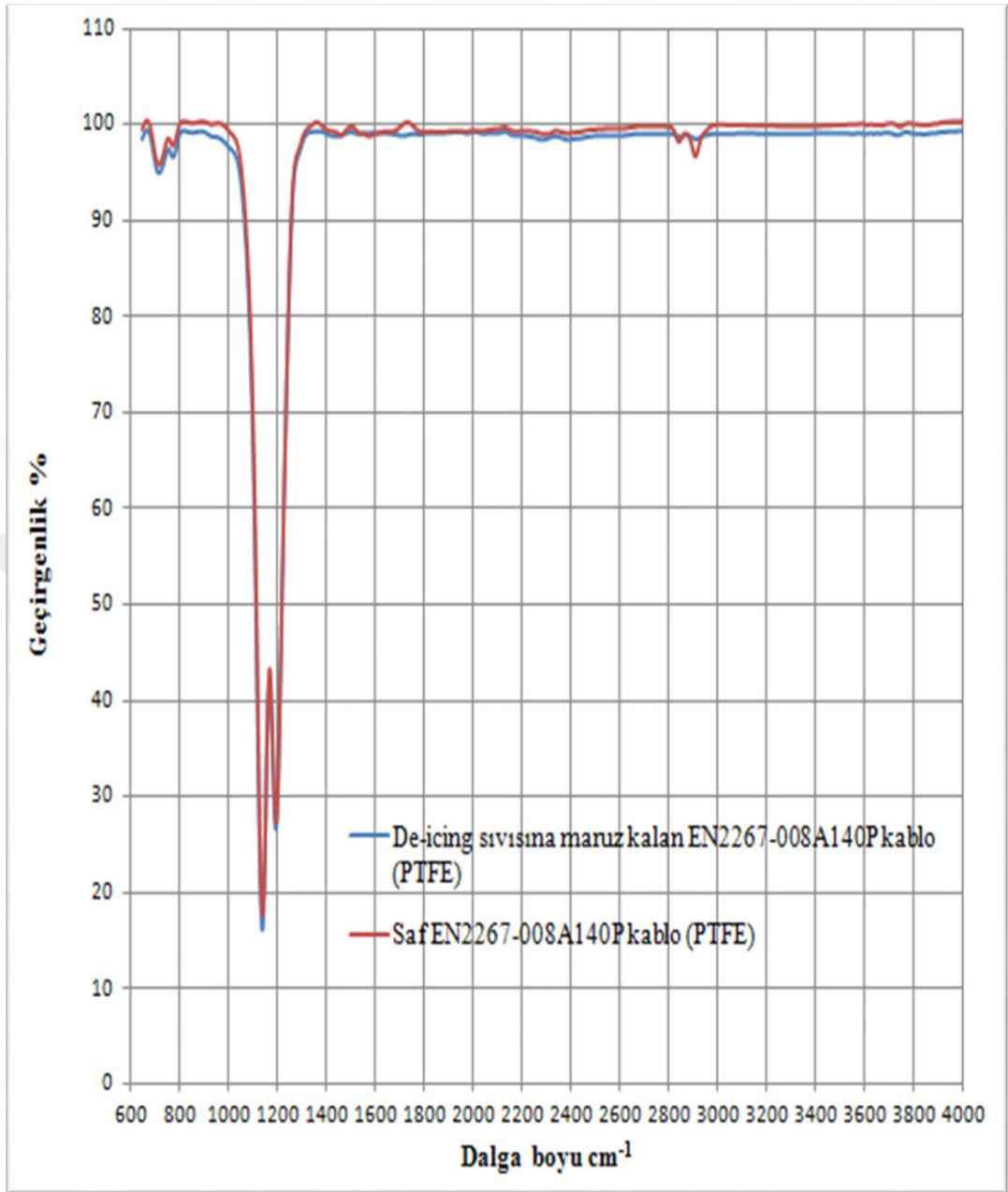
Şekil 3.23 ‘de ise 4 sıvı türüne de 1000 saatlik yaşlandırma sürecinde maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kabloya ait FTIR grafiğidir.

Analiz bu sefer EN2267-008A140P kodlu ve yine PTFE kablo yalıtımlı kablo ile yapıldığında bir önceki kablo türüne göre etkinin çok az olduğu görülmektedir. Bu kablo türünde ekstra bir pik oluşumu meydana gelmemiştir. Bu kablo türü bu süreçten çok az etkilenmiştir.

3.7.2. De-icing sıvısının PTFE kablo yalıtımına etkisi



Şekil 3.24. De-icing sıvısına maruz kalan NSA935131 kablo (PTFE)

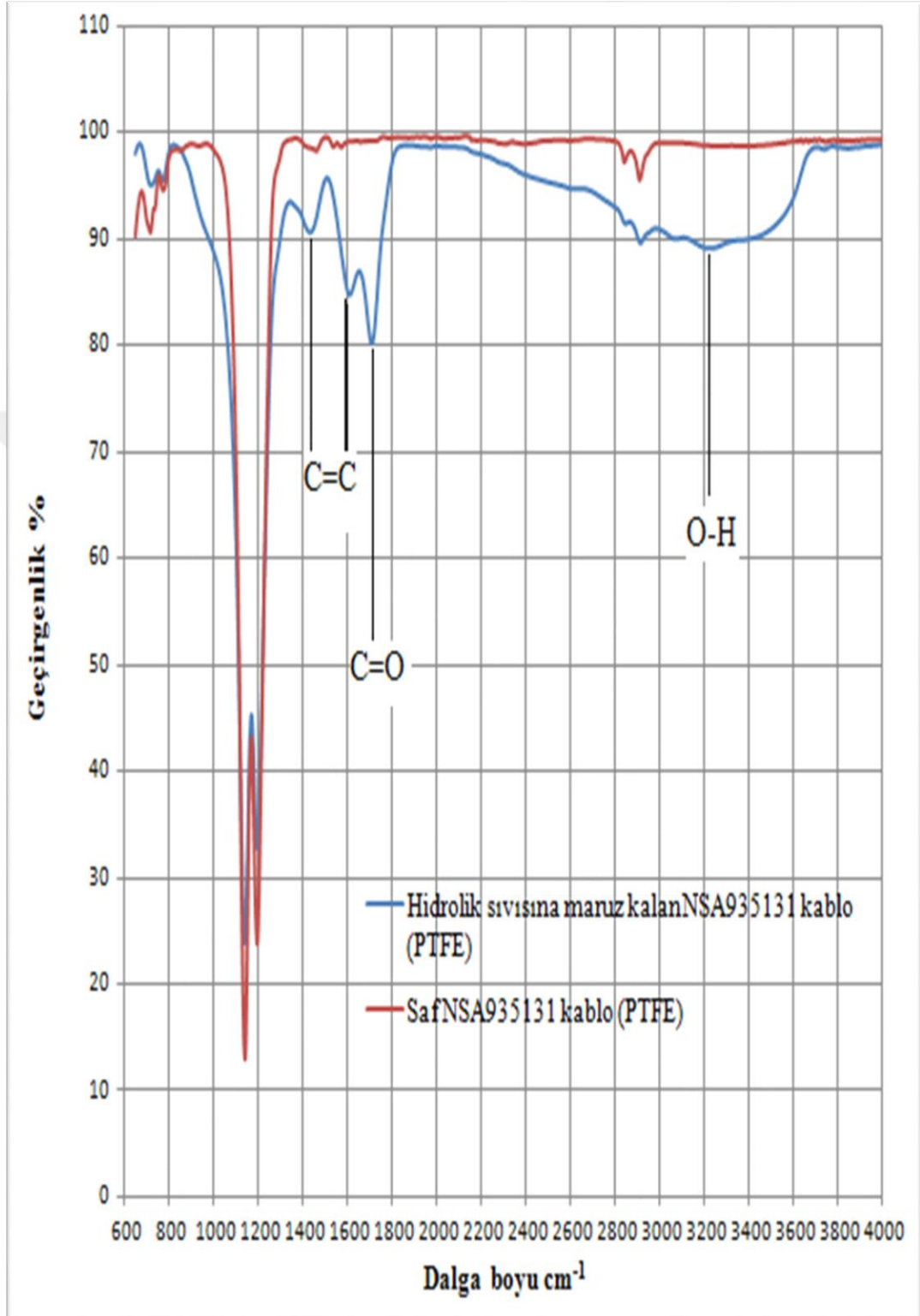


Şekil 3.25. De-icing sıvısına maruz kalan EN2267-008A140P kablo (PTFE).

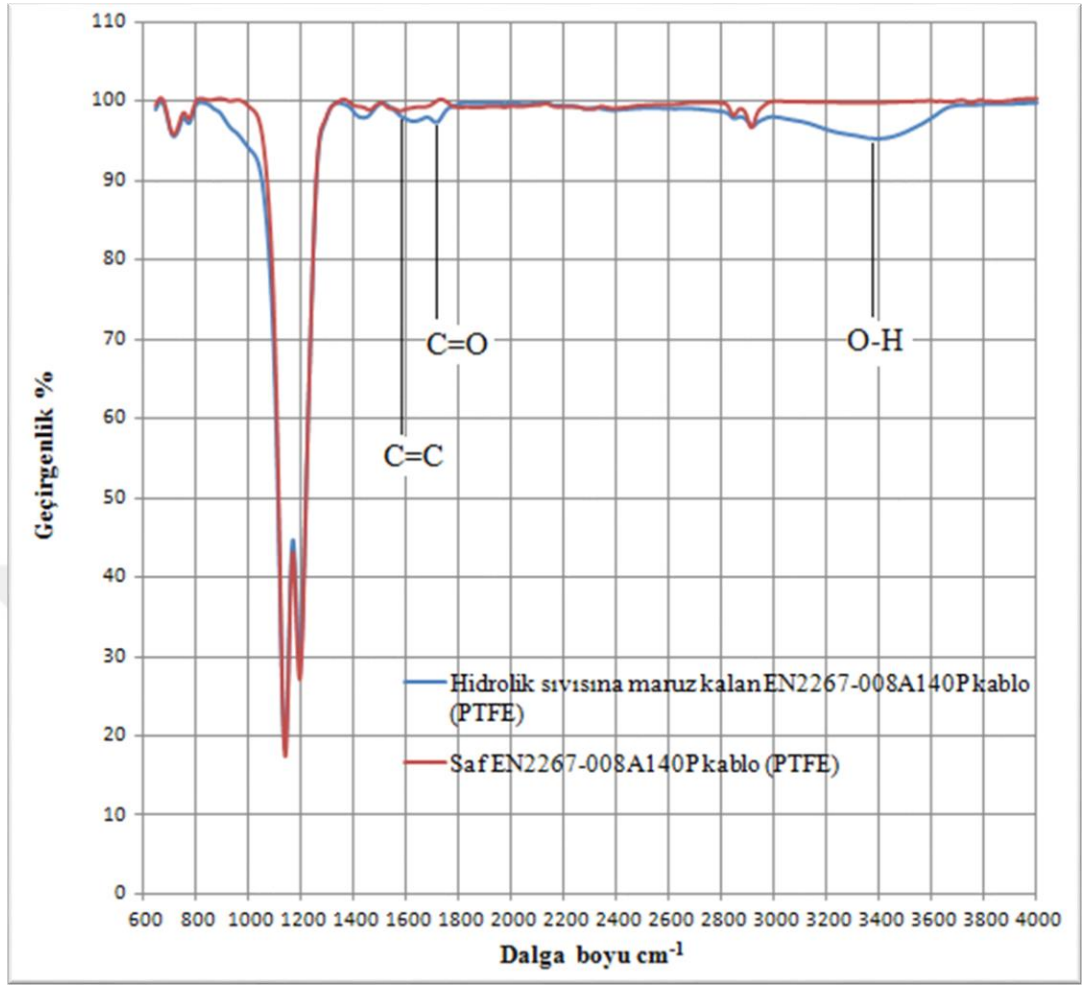
Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 'de de-icing sıvısına maruz kalmış olan PTFE kablo yalıtım malzemesine sahip sırasıyla NSA935131 kodlu kablo, EN2267-008A140P kodlu kablunun FTIR grafikleri gösterilmektedir.

Genel olarak her iki kablo türünde de de-icing sıvısının PTFE'nin kimyasal yapısını değiştirmedeği söylenebilir. Yani PTFE de-icing sıvısına karşı oldukça dayanıklıdır.

3.7.3. Hidrolik sıvısının PTFE kimyasal yapısına etkisi



Şekil 3.26. Hidrolik sıvısına maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE)



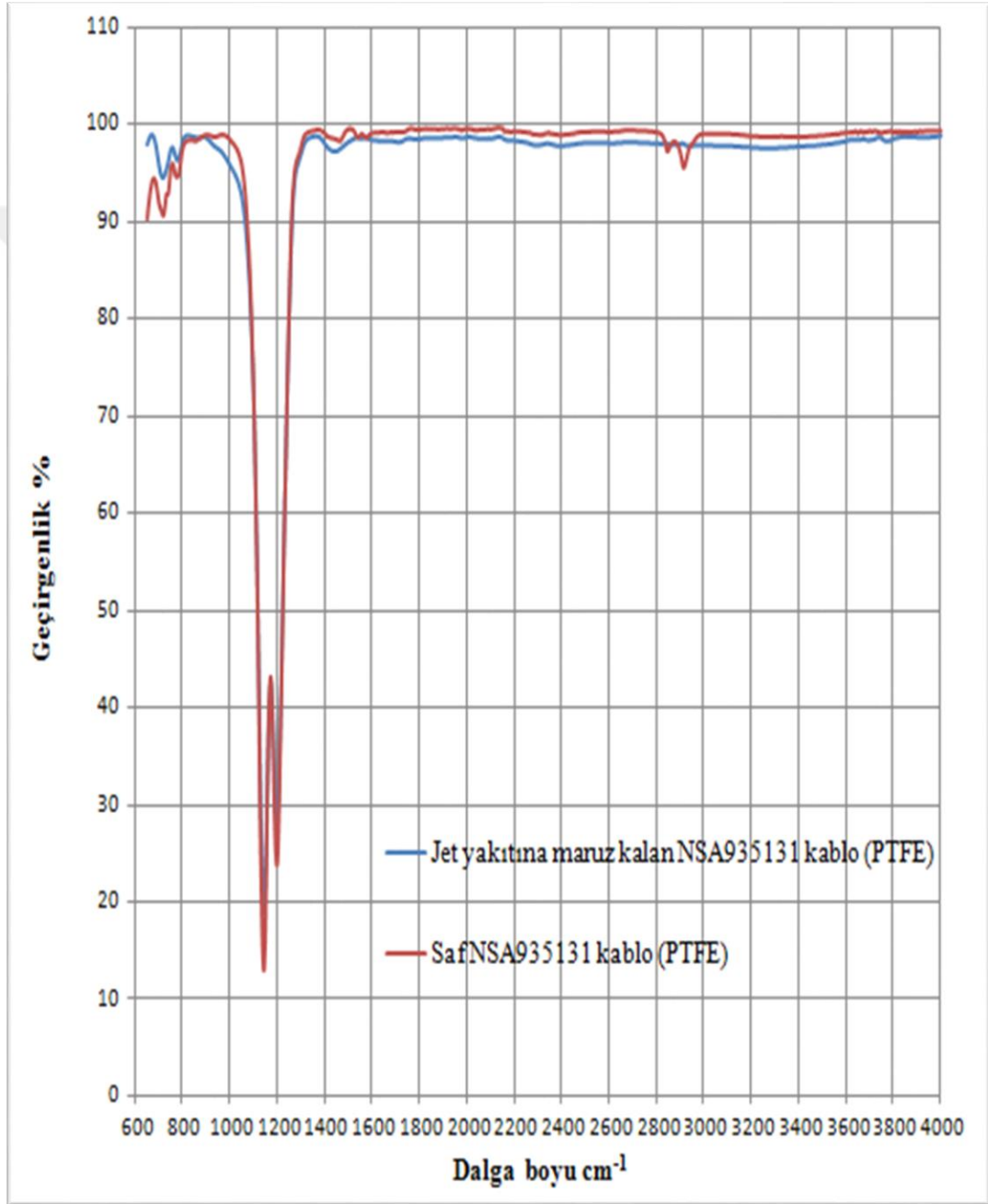
Şekil 3.27. Hidrolik sıvısına maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE)

Şekil 3.26 ve Şekil 3.27 'de hidrolik sıvısına maruz kalmış olan 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında PTFE kablo yalıtım malzemelerine sahip sırasıyla; NSA935131 kodlu kablonun ve EN2267-008A140P kodlu kablonun FTIR grafikleri görülmektedir.

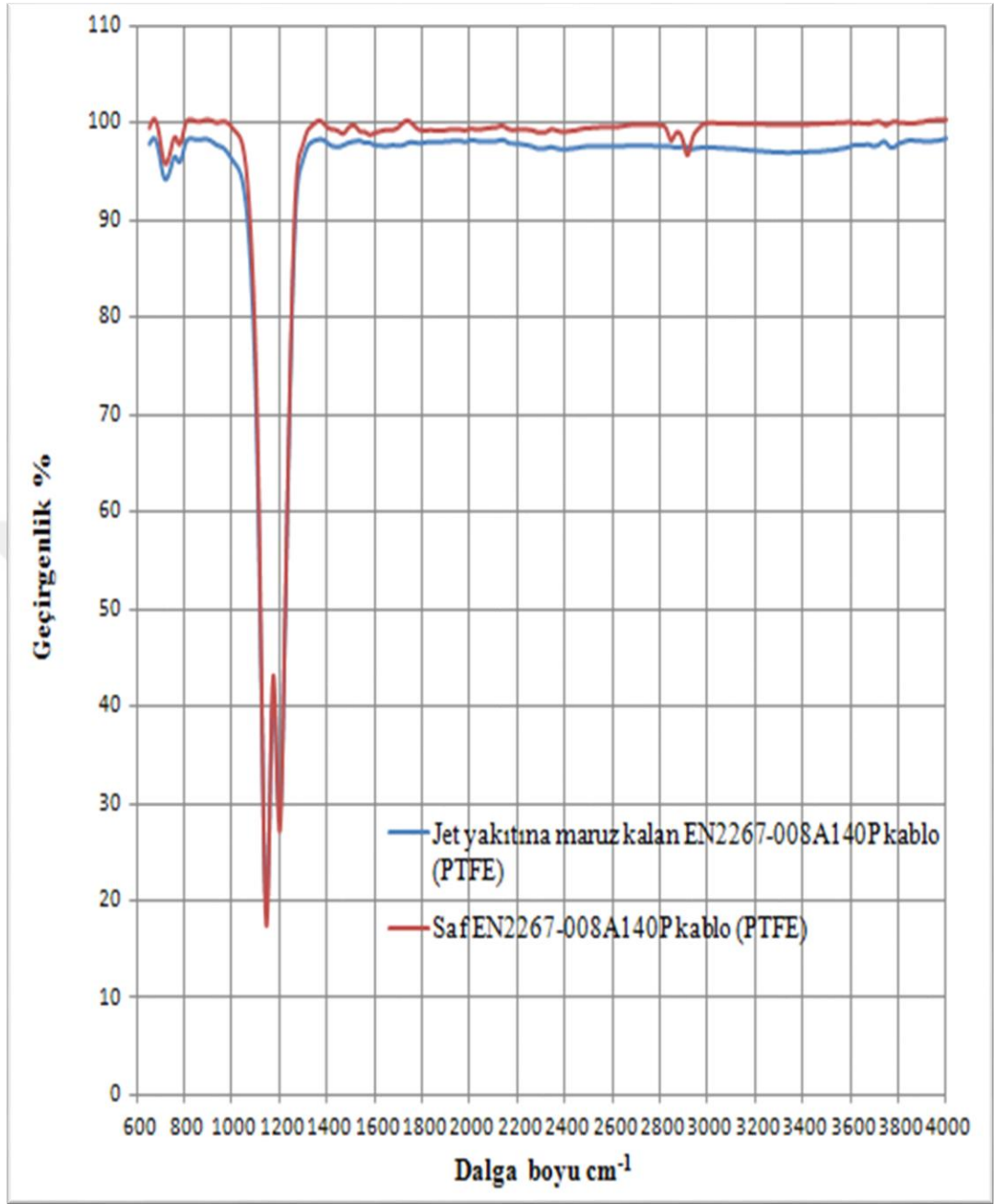
NSA935131 kodlu kablo değerlendirildiğinde hidrolik sıvısı PTFE malzemeyi oldukça etkilemiştir. Bu etki 4 sıvıya da maruz kalan aynı tip kablo ile benzerlik taşımaktadır. Bu 4 sıvı ile hidrolik sıvısının PTFE malzeme üzerindeki etkisini gösteren FTIR analizi karakteristikleri birbirine çok benzemektedir. Fiziksel etki olarak (yüzey erozyonu) hidrolik sıvısının 4 sıvının maruz kaldığı kabloya göre daha azdır. Bu etkiyi geçirgenlik özelliğindeki azalmayla ifade edebiliriz. Ancak EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) değerlendirildiğinde yine 4 sıvıya maruz kalan bu kablodaki etkilenme miktarıyla benzerlik taşımaktadır. 4 sıvıya maruz kalan bu kablo

için yapmış olduğumuz değerlendirmeye yakın bir değerlendirmeyi bu durumda da yapabiliriz. Ayrıca 1600 cm^{-1} C=C 1750 cm^{-1} civarlarında C=O ve $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ seviyelerinde oluşan gruplar NSA935131 kablosunda daha belirgin pikler oluşturmuştur.

3.7.4. Jet yakıtının PTFE kimyasal yapısına etkisi



Şekil 3.28. Jet yakıtına maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE)

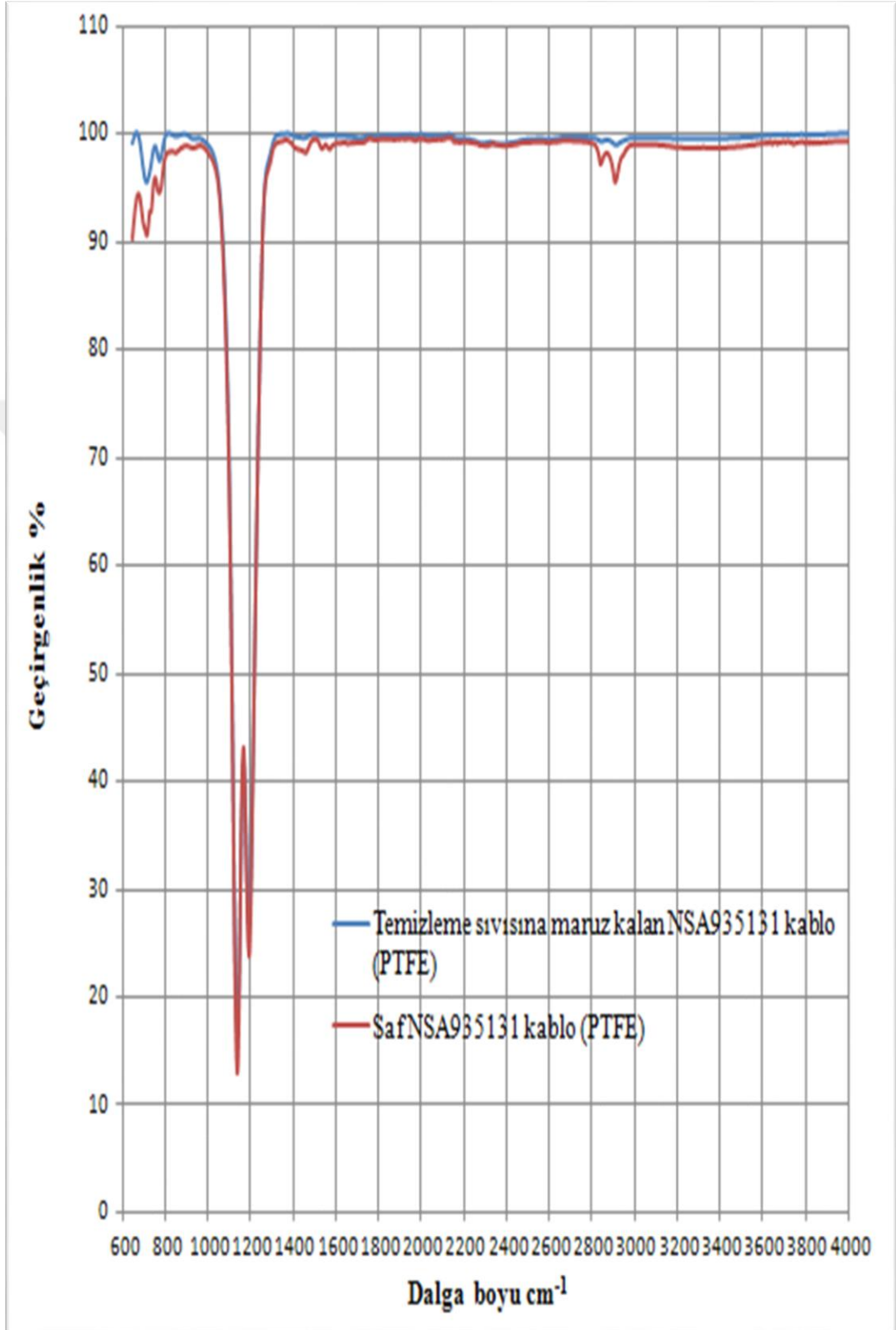


Şekil 3.29. Jet yakıtına maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE)

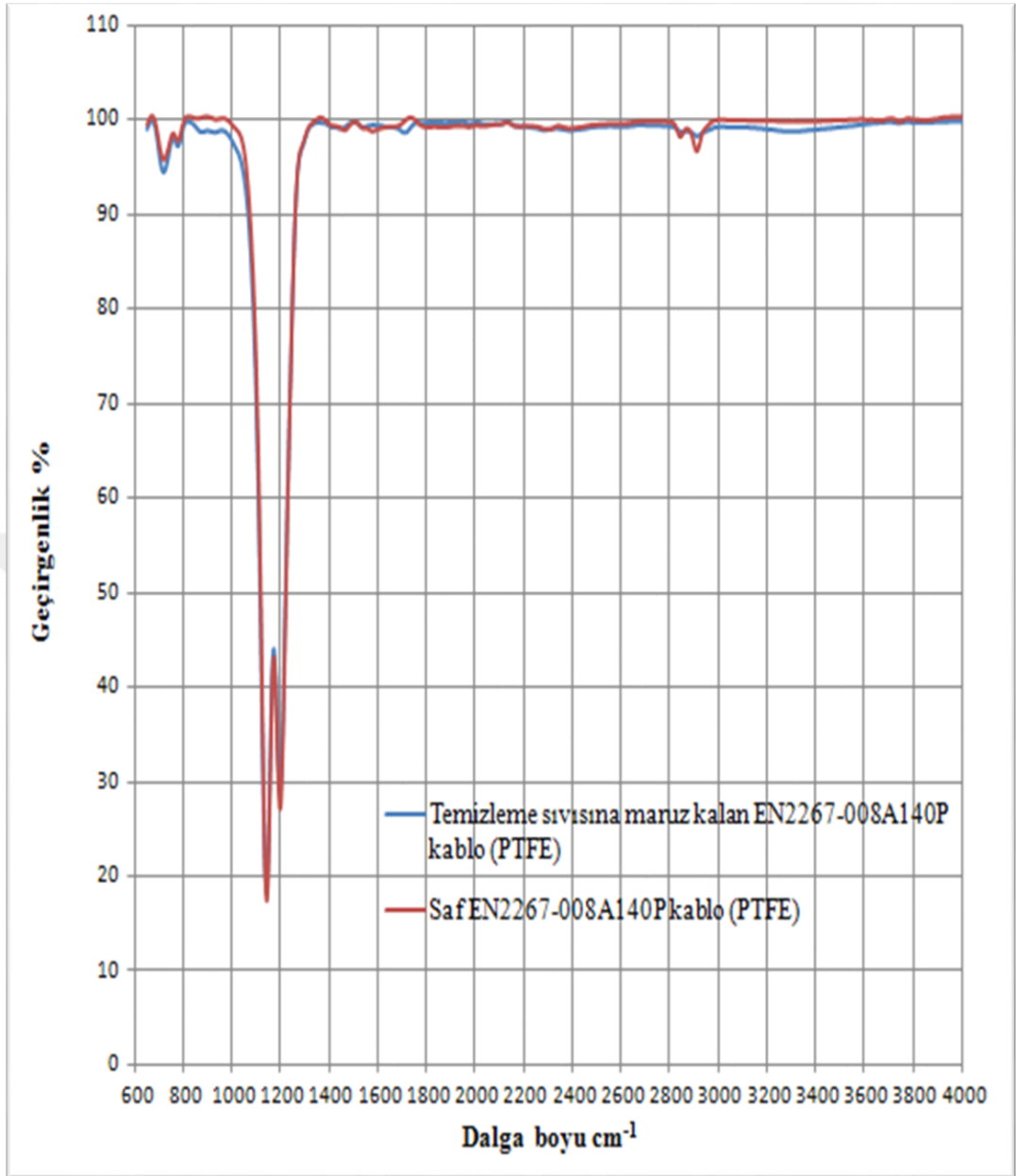
Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 'de jet yakıtına maruz kalmış olan 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında PTFE kablo yalıtım malzemelerine sahip sırasıyla; NSA935131 kodlu kablonun ve EN2267-008A140P kodlu kablonun FTIR grafikleri görülmektedir.

Genel olarak her iki kabloda da jet yakıtının PTFE kimyasal yapısını değiştirmedeği söylenebilir. Yani PTFE jet yakıtına karşı oldukça dayanıklıdır. Geçirgenlik değerinde küçük bir düşüş gerçekleşmiştir, yani malzeme yüzeyinde düşük de olsa bir erozyon etkisi gerçekleştirmiştir.

3.7.5. Temizleme sıvısının PTFE kimyasal yapısına etkisi



Şekil 3.30. Temizleme sıvısına maruz kalan NSA935131 kodlu kablo (PTFE)

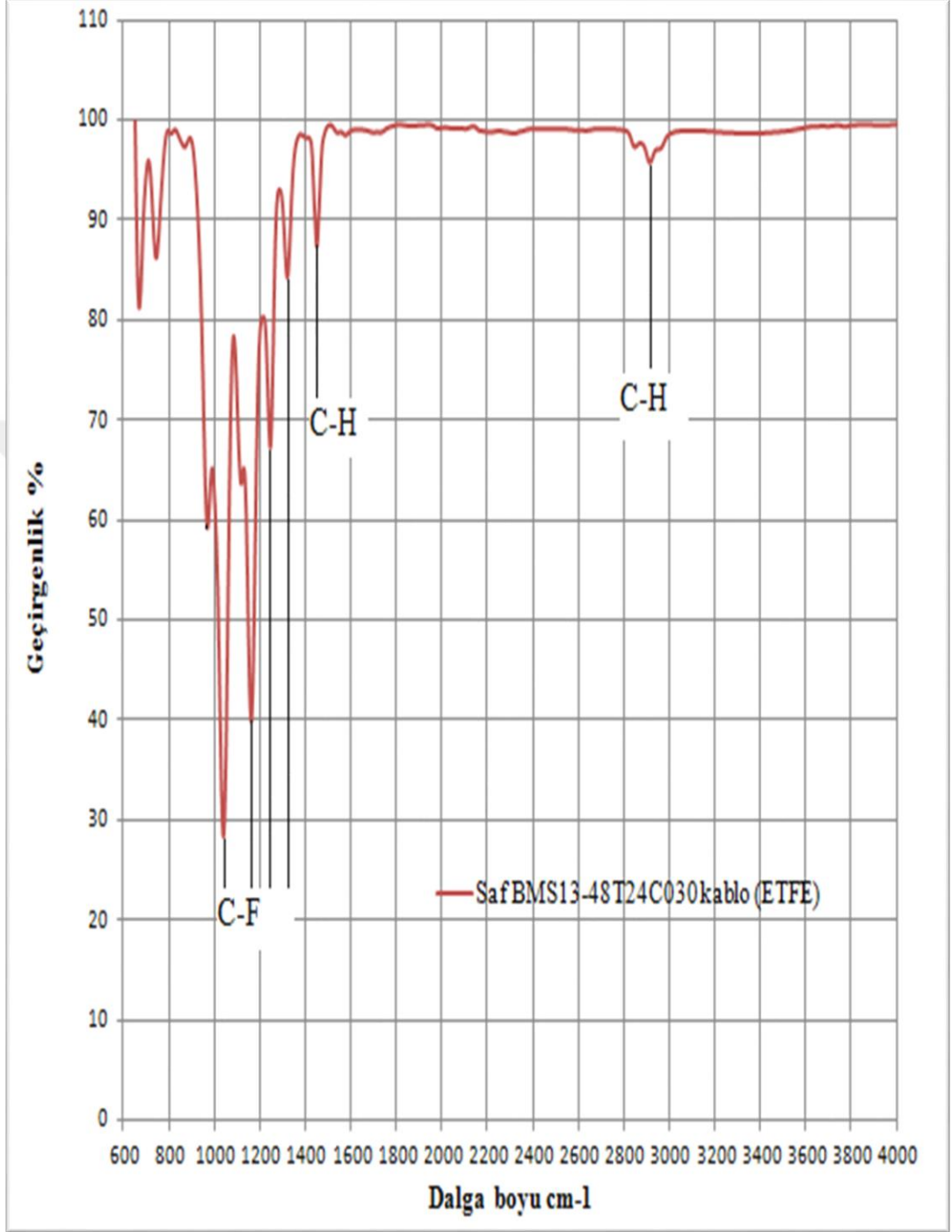


Şekil 3.31. Temizleme sıvısına maruz kalan EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE)

Şekil 3.30 ve Şekil 3.31 'de temizleme sıvısına maruz kalmış olan 1000 saatlik yaşlandırma sonrasında PTFE kablo yalıtım malzemelerine sahip sırasıyla; NSA935131 kodlu kablonun ve EN2267-008A140P kodlu kablonun FTIR grafikleri görülmektedir.

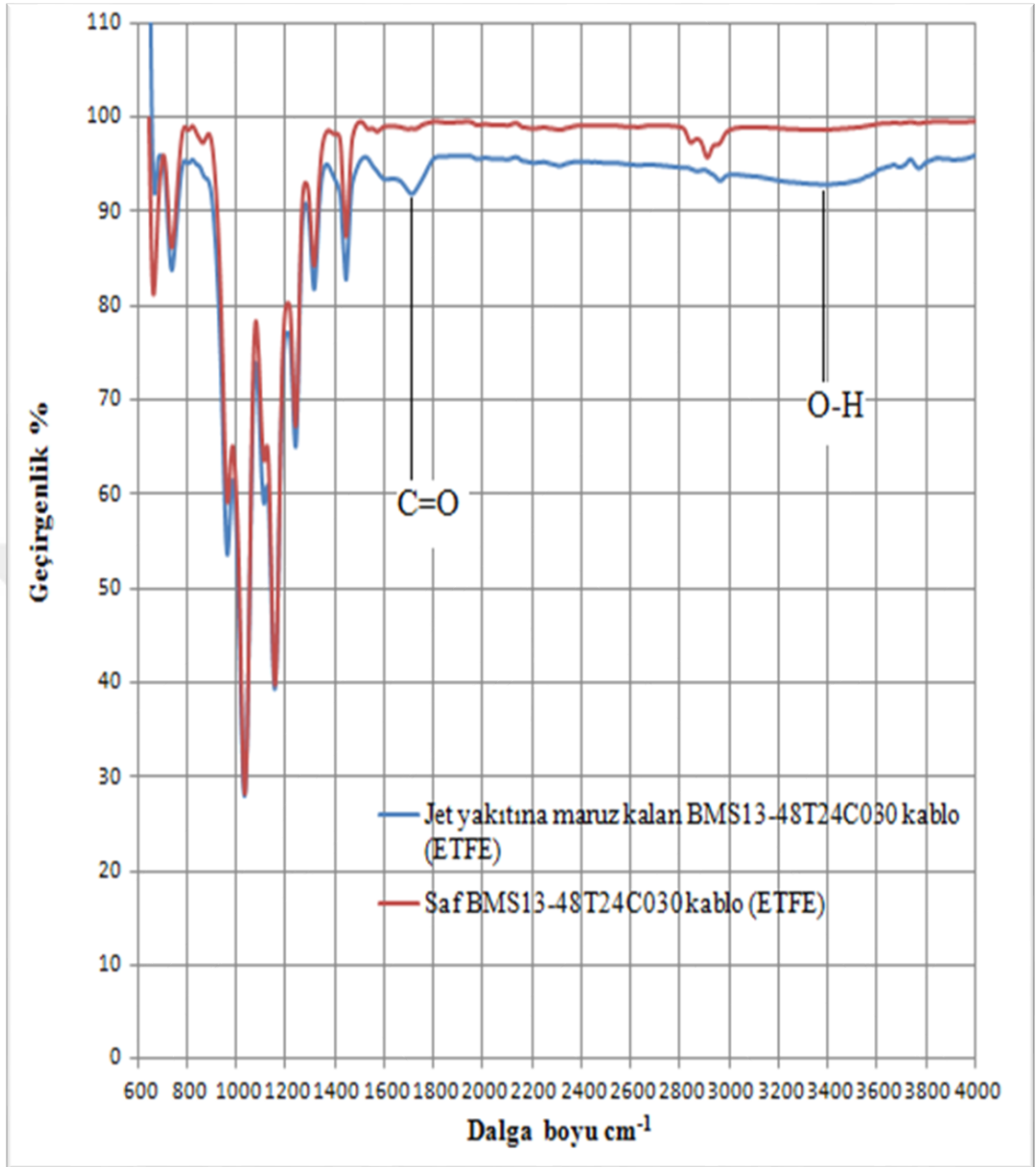
Genel olarak her iki kabloda da temizleme sıvısının PTFE kimyasal yapısını değiştirmedeği söylenebilir. Yani PTFE temizleme sıvısına karşı oldukça dayanıklıdır.

3.7.6. ETFE kablo yalıtım malzemenin genel sıvılardan etkilenmesi yorumu



Şekil 3.32. Saf BMS13-48T24C030 kodlu kablonun (ETFE) FTIR analizi

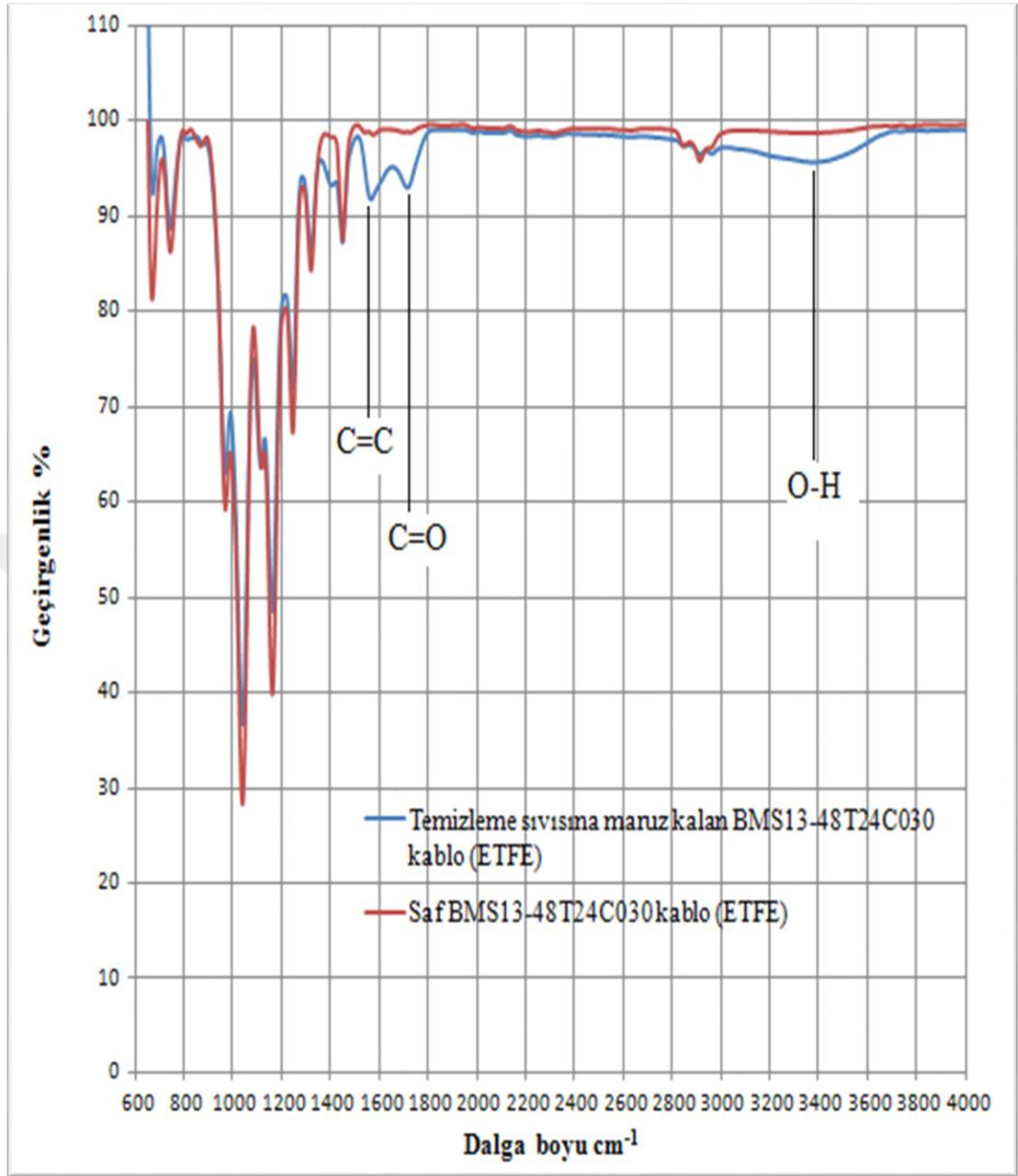
Şekil 3.32’de saf BMS13-48T24C030 kodlu kablonun herhangi bir yaşlandırma sürecine maruz kalmadan çekilmiş olarak FTIR’ının grafiği görülmektedir. Bu grafik ISZ kablo grubundan S kablosuna aittir.



Şekil 3.33. Jet yakıtına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablonun (ETFE) FTIR analizi

Şekil 3.33 BMS13-48T24C030 kodlu kablonun tüm yaşlandırma süreçlerinde sadece jet yakıtına maruz kalan kablonun FTIR grafiğidir.

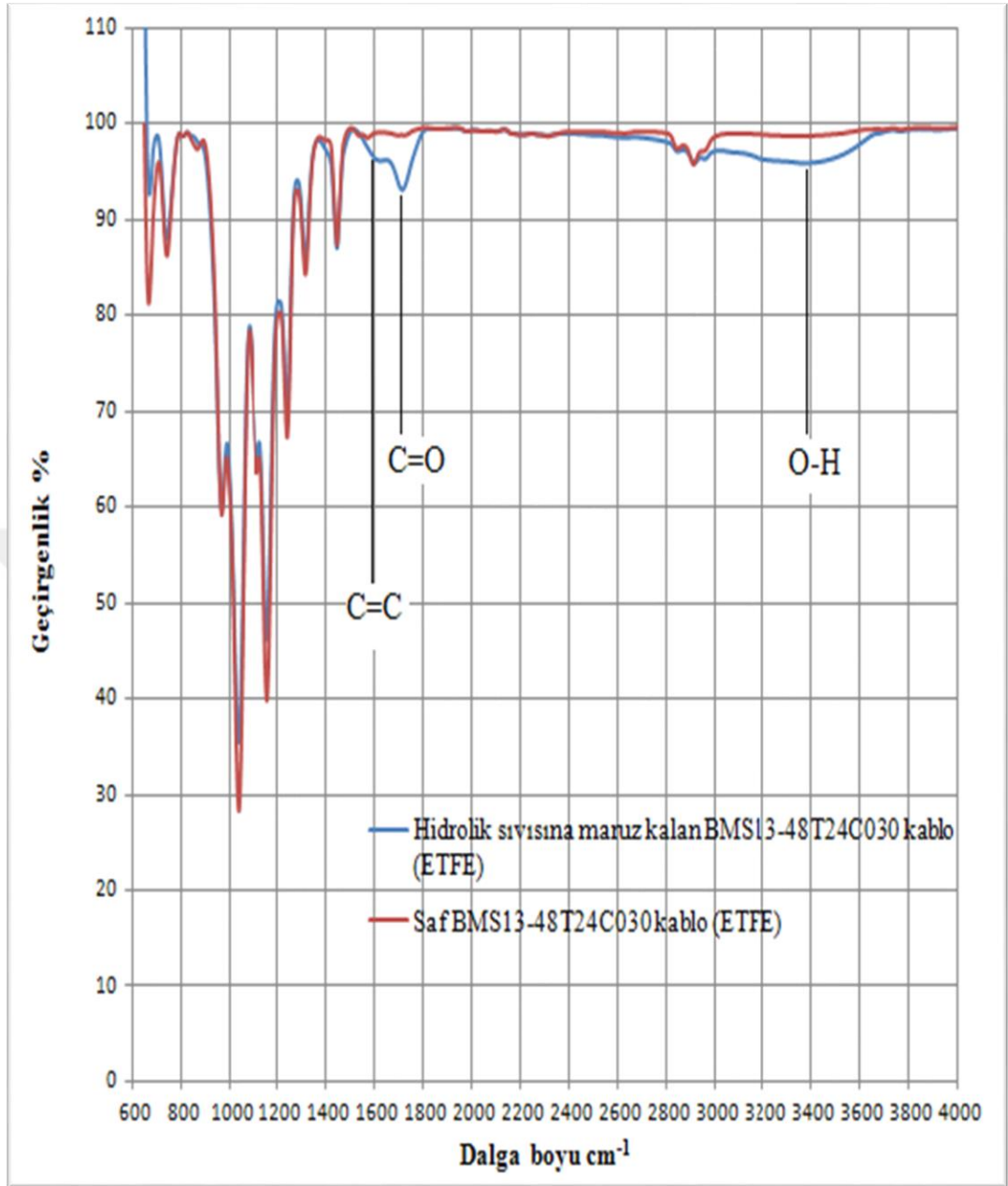
Bu grafikte geçirgenlik oranındaki zayıflama ile birlikte 1700 cm⁻¹ seviyelerinde karbonil 3000-3500 cm⁻¹ seviyelerinde hidroksil gruplarının oluşmuş olduğu söylenebilir.



Şekil 3.34. Temizleme sıvısına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablonun (ETFE) FTIR analizi

Şekil 3.34 BMS13-48T24C030 kodlu kablonun tüm yaşlandırma süreçlerinde sadece temizleme sıvısına maruz kalan kablonun FTIR grafiğidir.

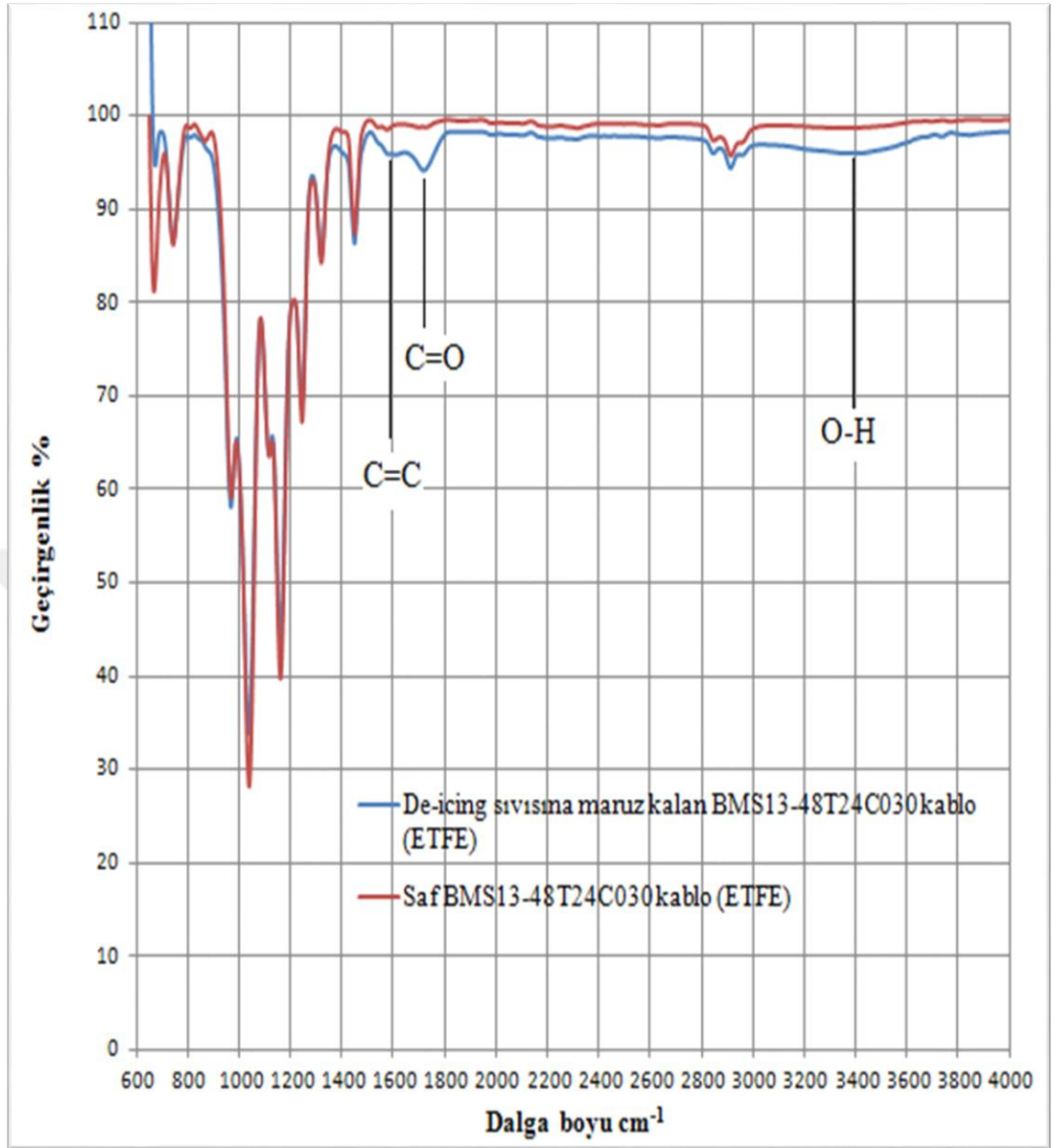
Bu grafikte jet yakıtına maruz kalan kablo ile benzer şekilde 1600-1800 cm^{-1} seviyelerinde karbonil bağları 3000-3500 cm^{-1} seviyelerinde ise hidroksil bağları oluşmuştur.



Şekil 3.35. Hidrolik sıvısına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablonun (ETFE) FTIR analizi

Şekil 3.35 BMS13-48T24C030 kodlu kablonun tüm yaşlandırma süreçlerinde sadece hidrolik sıvısına maruz kalan kablonun FTIR grafiğidir.

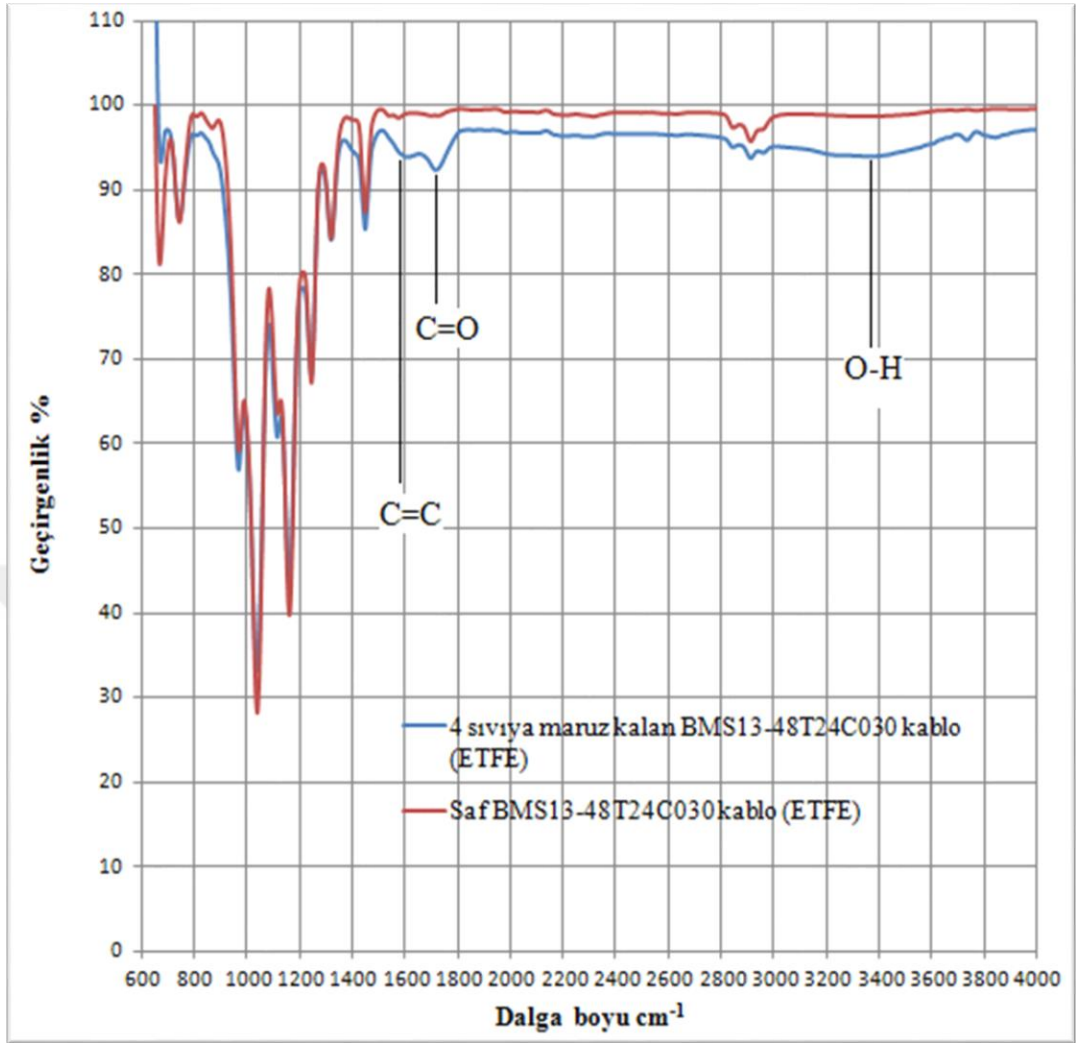
Saf FTIR eğrisi ile hidrolik sıvısına maruz kalan eğri kıyaslandığında benzer şekilde 1600-1800 cm⁻¹ seviyelerinde karbonil gruplarının ve 3000-3500 cm⁻¹ seviyelerinde ise hidroksil grupları ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.36. De-icing sıvısına maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablonun (ETFE) FTIR analizi

Şekil 3.36 BMS13-48T24C030 kodlu kablonun tüm yaşlandırma süreçlerinde sadece de-icing sıvısına maruz kalan kablonun FTIR grafiğidir.

Yukarıdaki grafiklere benzer şekilde ETFE kablo yalıtımı de-icing sıvısına maruz kaldığında $1600-1800 \text{ cm}^{-1}$ seviyelerinde karbonil gruplarının ve $3000-3500 \text{ cm}^{-1}$ seviyelerinde ise hidroksil grupları ortaya çıkmıştır.



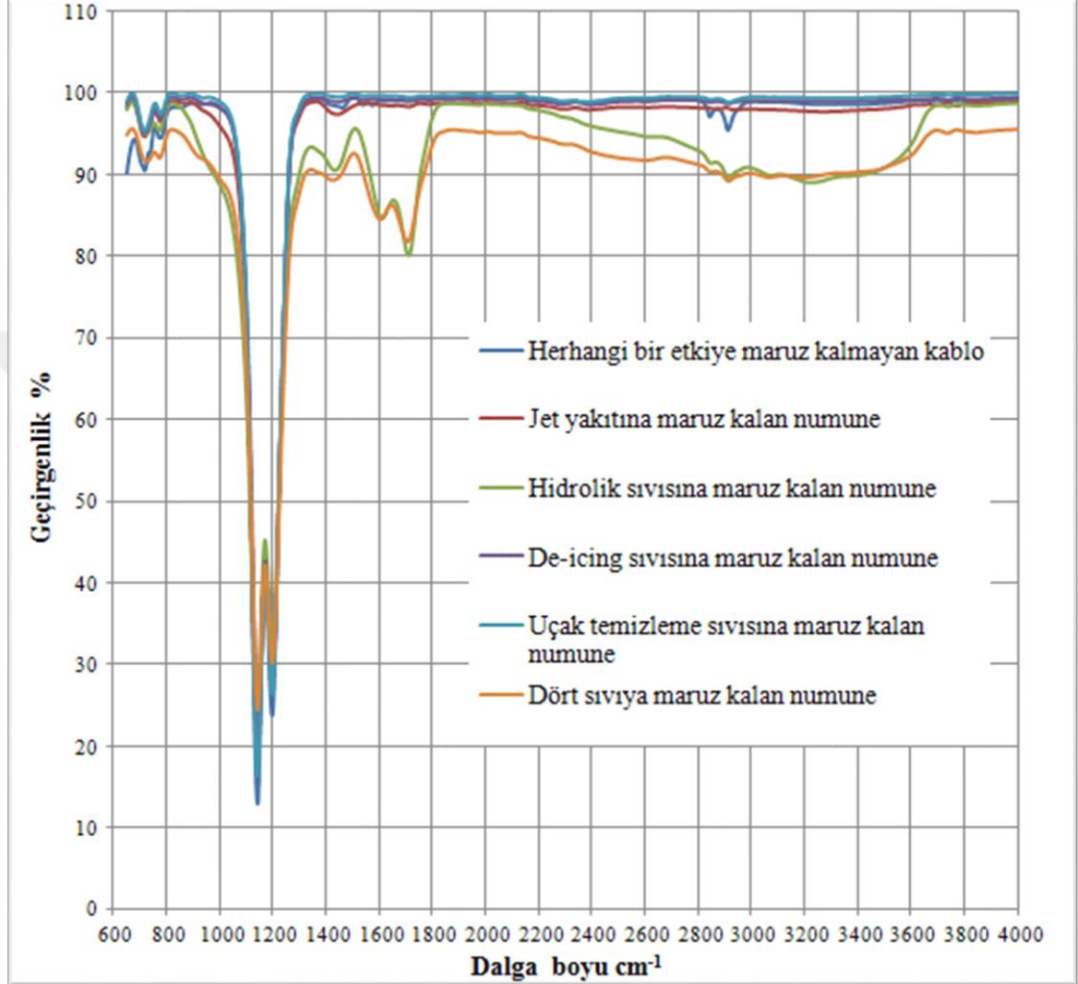
Şekil 3.37. 4 sıvı türüne de maruz kalan BMS13-48T24C030 kodlu kablonun (ETFE) FTIR analizi

Şekil 3.37 BMS13-48T24C030 kodlu kablonun tüm yaşlandırma süreçlerinde 4 sıvı türüne de maruz kalan kablonun FTIR grafiğidir.

FTIR sonuçları incelendiğinde genel olarak görülmektedir ki ETFE, tüm sıvılardan kimyasal olarak benzer şekilde etkilenmektedir. Bu etkilenme miktarının düşük olduğu söylenebilir. Geçirgenlik değerlerindeki düşüş miktarı incelendiğinde ETFE malzemenin bu sıvılar arasında fiziksel olarak (yüzey erozyonu) en çok jet yakıtından daha sonra 4 sıvısından olacak şekilde önemli ölçüde etkilendiğini, diğerleri için bu etkinin düşük olduğunu söyleyebiliriz.

3.7.7. Tüm kabloların FTIR sonuçlarının karşılaştırılması

Genel olarak tüm kabloların FTIR sonuçları incelendiğinde şu sonuçlar karşımıza çıkmaktadır;

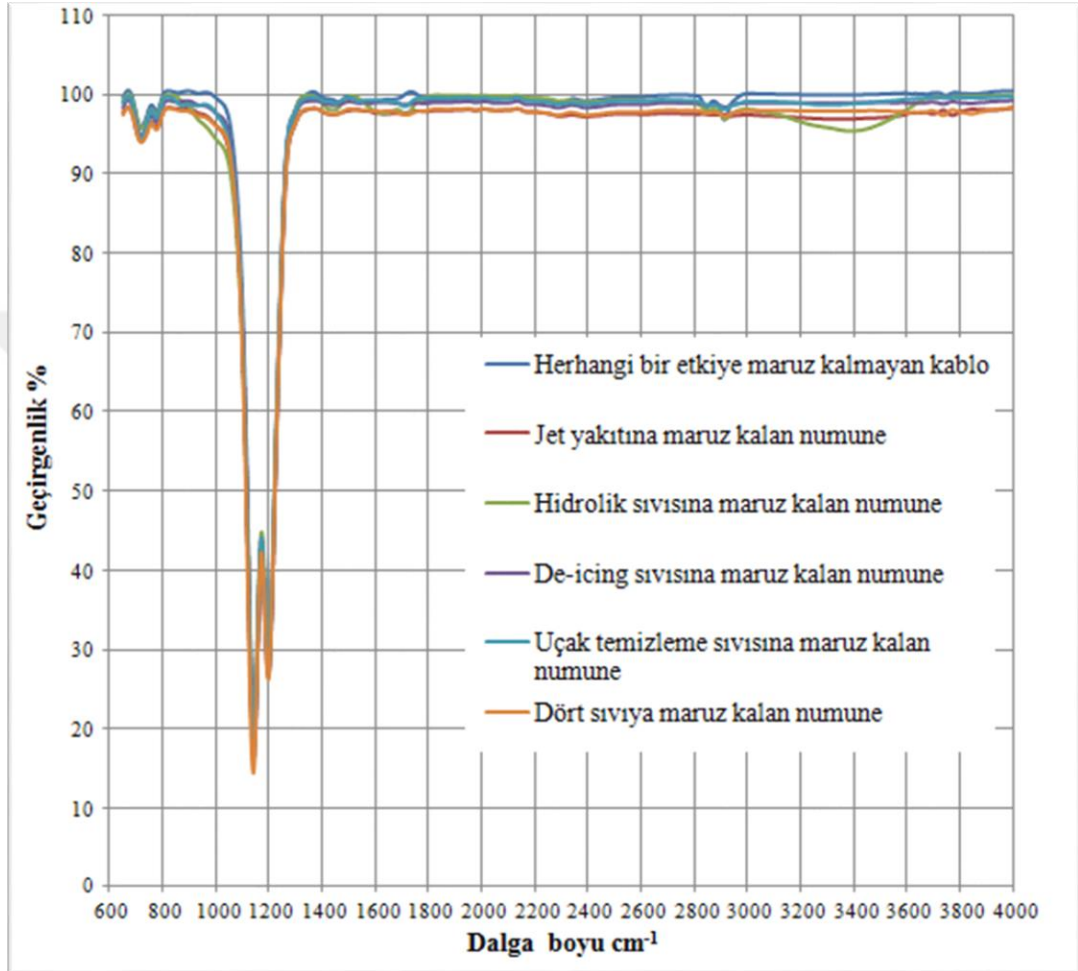


Şekil 3.38. NSA935131 kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri

Şekil 3.38 'de NSA935131 kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri kıyaslanmak üzere üst üste bindirilmiştir.

NSA935131 kablo yalıtımında bulunan PTFE'nin maruz kaldığı sıvıya göre sahip olduğu karakteristik piklerde azalmalar olmuştur. Bunun nedeni sıvıların etkisinden dolayı PTFE yalıtım malzemesi yüzeyi üzerinde yer alan CF bağlarının deformasyonu ve deflorunasyonu (flor kaybı) gösterilebilir [39]. Ayrıca bu kablo yalıtımının 4 sıvı türüne ve hidrolik sıvısına maruz kaldığı FTIR analizi grafiklerinde

hidroksil (-OH) bağında bir artma söz konusudur. PTFE kablo yalıtımı ile sıvılar arasındaki etkileşme sonucu hidrofilik grupların artmasına karşılık gelmektedir [39]. Ayrıca 1700 cm^{-1} düzeylerinde meydana gelen pikler hidrolik ve dört sıvıya maruz kalan kablo grubunda C=O bağlarının oluştuğunun göstergesidir [11].

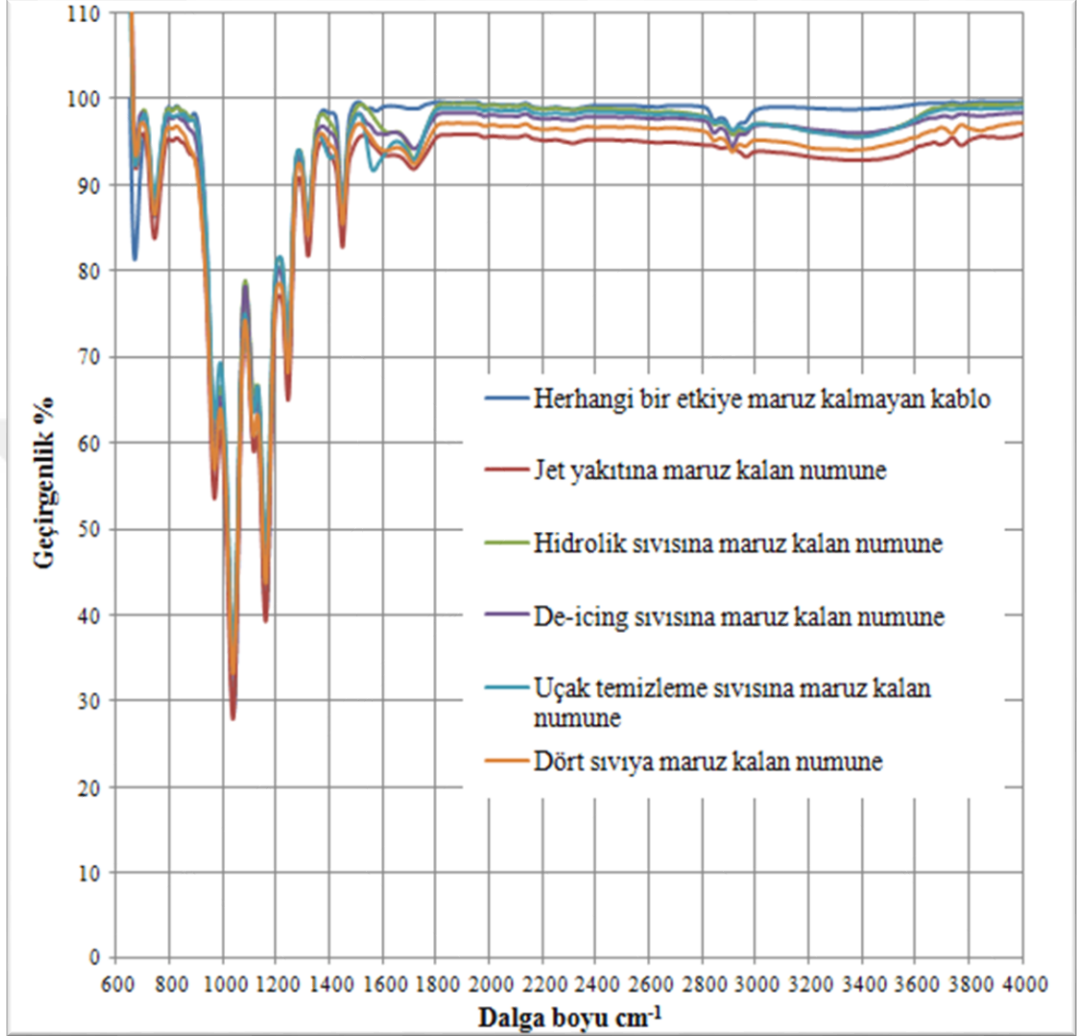


Şekil 3.39. EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri

Şekil 3.39 'de EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri kıyaslanmak üzere üst üste bindirilmiştir.

EN2267-008A140P kablo (PTFE)'nin FTIR sonuçlarının ortak değerlendirilmesi yapılmak gerekirse; diğer PTFE kablo ile benzer şekilde $1300-1000\text{ cm}^{-1}$ arasında karakteristik iki pik tespit edilmiştir. Fakat bu piklerde diğer kabloya göre çok fazla değişim yoktur. Ayrıca bu kablo hidroliğe maruz kaldığında ortaya çıkan FTIR analizinde -OH pikinin çok az arttığı görülmektedir. Bu FTIR analizi sonuçları

incelendiğinde saf EN2267-008A140P kablo (PTFE) yalıtımı saf NSA935131 kablo (PTFE) yalıtımına göre maruz bırakıldıkları koşullardan daha az etkilenmiştir.



Şekil 3.40. EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri

Şekil 3.40 'da BMS13-48T24C030 kodlu kablo (ETFE) yalıtımının tüm sıvılar için FTIR grafikleri kıyaslanmak üzere üst üste bindirilmiştir.

BMS13-48T24C030 kablo (ETFE) 'nin FTIR sonuçlarını değerlendirdiğimizde ise; 1400 – 800 cm^{-1} arasında güçlü CF_2 gruplarının varlığı tespit edilmiştir [40]. Tüm FTIR analiz şekilleri dikkatli incelendiğinde; bu bölgedeki piklerin şiddetinde değişim olduğu ve bu değişimin nedeni olarak da sıvılar ile kopolimerin etkileşime girdiği gösterilebilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda uçakla yapılan ulaşım trendinde son derece artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi hızlı ve güvenilirliği sürekli artıran bir ulaşım çeşidi olmasıdır.

Bu tez çalışmasının amacı uçak elektrik kablolarından alınan 3 tip kablonun yaşlanma karakteristikleri değerlendirilmiştir. Kablolarda yalıtım malzemesi olarak kullanılan PTFE (Politetrafloroetilen) ve ETFE (Etilentetrafloroetilen) malzemeler üzerinde fiziksel ve kimyasal olarak karşılaştırmalı deneyler yapılmıştır. Deneyde havacılıkta sıkça karşılaşılan sıvı gruplarından olan; jet yakıtı, hidrolik sıvısı, de-icing (buz çözme sıvısı) ve uçak temizleme sıvısının uçak kablolarına etkisi araştırılmıştır. Bu kablo tiplerinin seçilmesinin sebebi ticari uçaklarda en çok kullanılan kablo tiplerinden olmasıdır.

Kablo yalıtımlarının yaşlanmasında en önemli faktör sıcaklıktır. Standart Test Yöntemlerinin (ASTM D 3032) modifiye edilmiş bir tekniği olan hızlandırılmış yaşlanma teknikleri kullanılarak, diğer endüstriler tarafından kabul gören sıvıya maruz bırakma ve termal döngü teknikleri kullanılmıştır.

Deneylerden alınan sonuçlar FAA (Federal Havacılık Otoritesi)in dokümanları arasında kabul gören Aircraft Wiring Degradation Study ile benzer sonuçlar taşımaktadır.

- Yapılan testler sonucunda elde edilen verilerin analizlerinden sıcaklığın yaşlanmayı etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.
- Elde edilen sonuçlardan; her 250 saatlik yaşlanma sonrasında kablo yüzeylerinde kahverengi renk oluşumları ve kararma miktarları artmıştır. Kabloların esneklik özelliklerinde belirgin şekilde bozulmalar meydana gelmiştir.
- Kablo yalıtım malzemelerinden PTFE bulunan kablolarda sıvı emilimlerinden dolayı çok az miktar ağırlık artışı meydana gelmiştir.

- Kablo yalıtım malzemelerinden ETFE yalıtım malzemesinde ise; yaklaşık yüzde 1,35 civarında bir ağırlık azalması meydana gelmiştir.
- Alınan FTIR sonuçlarından her sıvı türünün kablo yalıtımları üzerinde farklı etkilerinin olduğu ortaya çıkmıştır. Hidrolik sıvısı ve 4 sıvı grubuna maruz kalan NSA935131 kodlu kablonun (PTFE) yalıtımında 1300-1800 cm^{-1} arasında ve 2400-3600 cm^{-1} arasında yüksek miktarda pikler ve salınımlar meydana gelirken EN2267-008A140P kodlu kablo (PTFE) yalıtımında aynı pikler görülmemiştir. Bu da benzer kablo yalıtımlarının özdeş yaşlanma koşullarında farklı yaşlanma miktarları olabileceğini göstermiştir.
- ETFE kablo yalıtımında ise tüm FTIR'lar analiz edildiğinde 1400-800 cm^{-1} arasında bulunan güçlü CF_2 gruplarının şiddetlerinde değişimlerin olduğu ve bu değişimlerin nedeni olarak da sıvılar ile kopolimerin etkileşime girdiği gösterilebilir.
- 4 sıvıya maruz kalan kablolar dikkate alındığında; fiziksel olarak etkilenmeleri açısından ETFE'nin daha uygun bir malzeme olduğu söylenebilir. Çünkü geçirgenlik değerlerindeki değişim ETFE malzemedeki daha azdır.(Bu yaklaşımda NSA935131kablo göz önünde bulundurulmuştur.)
- De-icing sıvısına maruz kalan ETFE ve PTFE kablolar kıyaslandığında; PTFE kablonun de-icing sıvısına ETFE'den daha dayanıklı olduğu söylenebilir.
- Hidrolik sıvısına maruz kalan ETFE ve PTFE kablo yalıtımları kıyaslandığında; fiziksel olarak etkilenme düzeyleri oldukça benzerdir fakat kimyasal açıdan etkilenme anlamında ETFE çok daha uygun bir malzemedir (Bu yaklaşımda NSA935131kablo göz önünde bulundurulmuştur.).
- Jet yakıtına maruz kalan ETFE ve PTFE kablo yalıtımları kıyaslandığında; kimyasal olarak bu sıvının iki kablo yalıtım türleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat fiziksel olarak incelendiğinde ise ETFE kablonun daha fazla etkilendiği yani yüzey erozyonu daha fazla gerçekleştiği çıkan sonuçlar arasındadır. Uzun süreli kullanımlarda ETFE malzeme daha fazla hasar görebilir.
- Temizleme sıvısına maruz kalan ETFE ve PTFE kablo yalıtımları kıyaslandığında; her iki malzeme de çok az miktarda etkilenmiştir. Fakat PTFE kablo yalıtımı bir miktar daha dayanıklı olduğu söylenebilir.
- Hidrolik sıvısına maruz kalan PTFE kılıflı kabloların uçakta bulunduğu bölgelerde planlı plansız yapılan bakımlar sırasında hidroliğe maruz kalma

seviyeleri kontrol altında tutulmalıdır. Bu kılıfa sahip kablo grupları bu sıvıdan uzak tutulmalıdır.

Tüm sonuçlar göstermiştir ki; termal etkilerle bir araya gelen kimyasal etkiler kablo yalıtımına zarar vererek kablo yapısını bozmaktadır. Fakat bu zarar verme oranı kablo yalıtımının maruz kaldığı kimyasala göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda kablonun zarar görme seviyesi kablo yalıtımında kullanılan polimere ve maruz kaldığı sıvıya göre değişiklik göstermektedir.



KAYNAKLAR

- [1] https://www.google.com/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=spoo&idim=world:Earth&hl=tr&dl=tr (Ziyaret tarihi : 07 Mayıs 2020).
- [2] <https://www.worldometers.info/world-population/> (Ziyaret tarihi: 07 Mayıs 2020).
- [3] <https://www.turizmajansi.com/haber/dunyada-bir-gunde-kac-kisi-ucaga-biniyor-h30886>, (Ziyaret tarihi: 07 Mayıs 2020).
- [4] <https://www.iata.org/en/iatarepository/publications/economicreports/passengerload-factor-rises-above-82-for-the-first-time/> (Ziyaret tarihi: 17 Mayıs 2020).
- [5] <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-passenger-monthly-analysis---oct-2019/> (Ziyaret tarihi: 17 Mayıs 2020).
- [6] <https://www.statista.com/chart/12393/2017-was-the-safest-year-in-the-history-of-air-travel/> (Ziyaret tarihi: 18 Mayıs 2020)
- [7] <https://news.aviation-safety.net/2020/01/01/aviation-safety-network-releases-2019-airliner-accident-statistics/> (Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2020)
- [8] Yongxing W.,Enyuan D.,Jiyuan C.,Jiyan Z.,Koenig D., Arc Tracking Properties of the Aging Wires in Aircraft, *2nd International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics*, ,Shenzhen China, 10-12 Dec. 2008
- [9] Uslu S., Dönmez K. , Geçmişten Günümüze Havacılık Kazalarının Sebeplerindeki Değişimler Üzerine İnceleme, *The Journal of Social Sciences*, DOI: 10.16990/SOBIDER.296
- [10] Çoruh N., Aras F,Kaya N. , Cığerci İ, Uçak Kablo Sisteminde Meydana Gelen Yaşlanma ve Bozulmaların Bakım Odaklı Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine*, 2019, **60** (694), 1-9
- [11] Kurek J., Bernstein P.R.,Etheridge M., LaSalle G.,McMahon R.,Meiner J., Turner N.,Walz M.,Gomez C., Aircraft Wiring Degradation Study, *Federal Aviation Administration* ,DOT/FAA/AR-08/2,1-93,2008

- [12] <https://www.aersale.com/media-center/aircraft-life-cycle-management> (Ziyaret tarihi : 22 Mayıs 2020).
- [13] https://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=1&LLID=21, (Ziyaret tarihi: 23 Mayıs 2020).
- [14] https://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=1&LLID=22, (Ziyaret tarihi: 23 Mayıs 2020).
- [15] Press V. L., Bruning A. M., “Advanced Risk Assessment Methods for Aircraft Electrical Wiring Interconnection Systems (EWIS),” *6th Joint FAA/DoD/NASA Conference on Aging Aircraft*, San Francisco, CA, Sep. 2002,
- [16] Qiang G., Novel Approach to Risk Assessment of Aircraft Electrical Wiring Interconnect System, *Journal of Aircraft*, DOI: 10.2514/1.C031288
- [17] Campbell F. J. , Flashover Failures from Wet-wire Arcing and Tracking, *NRL Memorandum Report* ,5508, Dec 17, 1984.
- [18] Bruning A. M., Campbell F. J., Aging in wire insulation under multifactor stress, *IEEE Trans. on Electrical Insulations*, DOI: 10.1109/14.237739.
- [19] Grzybowski S., Rakowska A., Thompson J. E., Aging of Polyethylene For Cable Insulation, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, DOI: 10.1109/TEI.1987.298934
- [20] Grzybowski S., Rakowska A., Thompson J. E., Examination of Ageing Process In Polyethylene Cable Insulation, *Conference Record of 1984 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Montreal, June 11-13, 1984.
- [21] Glass S. W. (Bill), Ramuhalli P., Fifield L.S., Prowant M.S., Dib G., Tedeschi J.R., Suter J.D., Jones A.M., Good M.S., Pardini A.F., Hartman T.S., Assessment of NDE for Key Indicators of Aging Cables in Nuclear Power Plants , *QNDE*, Minneapolis , July 2015.
- [22] http://eng.sut.ac.th/me/box/1_54/437306/ebooksclub.pdf (Ziyaret tarihi:13 Temmuz 2020).
- [23] <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/kablolarin-ham-maddeleri-ve-ozellikleri-nelerdir/21507#ad-image-0> (Ziyaret tarihi:14 Temmuz 2020).
- [24] https://www.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/AIR1715-AB-NSA935131_-issue1_oct_2010.pdf (Ziyaret tarihi:14 Temmuz 2020).
- [25] <https://www.sabkablo.com/ueruenler/kablolar/etfe-fep-pfa-kablolari.html>; (Ziyaret tarihi: 14 Temmuz 2020)

- [26] Can N., Aras F., Alekperov V.A., Altındal A., Investigation on Aging Mechanism of Polyester Under Combined Stresses, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, DOI: 10.1109/MEI.2016.7528988.
- [27] Özgen S., Uludağ Y., Körpe S.D., Development of De-icing and Anti-icing Solutions for Aircraft on Ground and Analysis of Their Flow Instability Characteristics, Yüksek Lisans Tezi ,Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 176772.
- [28] Garcia J.L., Hydraulic Fluids, Editors: Wexler P., *Encyclopedia of Toxicology*, 3 rd ed., Academic Press, Massachusetts, 951-952, 2014.
- [29] Sımayuç Ç., Çelik O., Dispersion Modelling of Jet Propellant 8 Spill in the Aerospace Industry, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020, 621610.
- [30] <https://www.eox-international.com/products/aircraft-cleaning/aircraft-cleaner-3258.html> (Ziyaret tarihi: 20 Temmuz 2020).
- [31] <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/79181> (Ziyaret tarihi: 23 Temmuz 2020).
- [32] https://www.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/EN2854-003_DG.pdf (Ziyaret tarihi: 24 Temmuz 2020).
- [33] <https://www.awcwire.com/part.aspx?partname=bms13-48t24> (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [34] Boeing; 737-800 Wiring Diagram Manuel, *The Boeing Company*, Chicago, 1997.
- [35] EADS, A300-600 Aircraft Wiring Manuel, *The Airbus Company*, France, 1970.
- [36] EADS, A320 Series Aircraft Wiring Manuel, *The Airbus Company*, France, 1987.
- [37] <http://ekinoksenergy.com/marina-ve-ucak-yakiti-ikmal-tesisleri.html> (Ziyaret tarihi: 27 Temmuz 2020).
- [38] Piwowarczyk J., Jedrzejewski R. , Moszynski D., Kwiatkowski K., Niemczyk A., Baranowska J., XPS and FTIR Studies of Polytetrafluoroethylene Thin Films Obtained by Physical Methods, *Polymers 2019*, DOI:10.3390/polym11101629.
- [39] Wang S., Li J., Suo J., Luo T., Surface modification of Porous Poly (Tetrafluoroethylene) Film by a Simple Chemical Oxidation treatment, *Applied Surface Science* , DOI: 10.1016/j.apsusc.2009.10.055 .

- [40] Lale Işikel Şanlı, Selmiye Alkan Gürsel, Synthesis and Characterization of Novel Graft Copolymers by Radiation-Induced Grafting, *Journal of Applied Polymer Science*, DOI: 10.1002/app.33419.
- [41] Todd C.N.Z., Understanding the Effects of Processing on the Properties of Perfluoroalkoxy (PFA), Yüksek Lisans Tezi, University of Bradford, Bradford 2016.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Aras F., **Koyutürk Y.**, Degradation and Aging of Aircraft Cables, *3.International Engineering Research Symposium*, Düzce Üniversitesi, Sakarya ,05-07 Eylül 2019



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Bulancak'ta doğdu. İlk, orta 8'e kadar öğrenimini İstanbul'da, lise sona kadarlık kısmını ise Giresun'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Elektrik Elektronik Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2016 yılında girdiği Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında mezun oldu. 2011-2014 yılları arasında MNG teknik,2014-2015 yılları arasında Türk Hava Yolları, 2015-2017 yılları arasında Borajet Havayollarında, 2017-2018 yılları arasında My Teknik, 2018'den itibaren hala Pegasus Teknik'te Uçak Bakım Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir.