

**ANTİBAKTERİYEL VE GÜÇ TUTUŞUR ÇOK FONKSİYONLU
NANOKOMPOZİT MALZEMELER GELİŞTİRİLMESİ VE HAVACILIK
SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ümit Yılmaz YILDIZ

DOKTORA TEZİ

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali Savaş KOPARAL**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mayıs 2019**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ümit Yılmaz YILDIZ'ın “Antibakteriyel ve Güç Tutuşur Çok Fonksiyonlu Nanokompozit Malzemeler Geliştirilmesi ve Havacılık Sektöründe Kullanılabilirliklerinin Araştırılması” başlıklı tezi 31/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Ünvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL

Üye : Prof. Dr. Mustafa TOMBUL

Üye : Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Üye : Doç Dr. Belgin KARABACAKOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Filiz BAYRAKCI KAREL

.....

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü

ÖZET

ANTİBAKTERİYEL VE GÜÇ TUTUŞUR ÇOK FONKSİYONLU NANOKOMPOZİT MALZEMELER GELİŞTİRİLMESİ VE HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KULLANILABİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ümit Yılmaz YILDIZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Teknolojileri Bilim dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2019

Danışman: Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL

(İkinci Danışman: Prof. Dr. Mustafa Erdem ÜREYEN)

2018 yılı itibariyle, yılda yaklaşık 4.3 milyar kişinin kullandığı havayolu taşımacılığı beraberinde birtakım epidemik sağlık risklerini de getirmektedir. Giderek artan bir sıklıkla karşımıza çıkan pandemik durumlar bu risklerin önemini ortaya koymaktadır.

Havayolu yolcu taşımada kullanılan uçakların kısıtlı yolcu alanları ve birçok ülkeye kısa sürede erişimi gibi etmenler, mikrobiyolojik kontaminasyonun önemini ortaya koysa da yeteri kadar çalışılmamış, küresel salgınlardaki rolü konusundaki araştırmalar da sınırlı kalmıştır. Tez çalışmaları kapsamında bu konu ile ilgili literatürde bulunan eksikliğe değinilmiş ve mikrobiyolojik potansiyelin detaylı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Risk etmenlerinin belirlendiği çalışmaların ardından bakteriyolojik risklerin önlenmesine yönelik çeşitli reçeteler hazırlanmıştır. Bu malzeme kompozisyonlarının, uçaklarda kabin içerisinde kullanılan ve yolcularla temas eden/temas etmesi muhtemel alanlara uygulanması da çalışma kapsamında yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Pandemizm, Nanokompozit, Antibakteriyel, Güç tutuşur, Havacılık

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ANTIBACTERIAL AND FLAME RETARDANT MULTIFUNCTIONAL NANOCOMPOSITE MATERIALS AND THE STUDY OF THEIR USABILITY IN THE AVIATION INDUSTRY

Ümit Yılmaz YILDIZ

Department of Environmental Engineering
Programme in Environmental Technologies

Anadolu University, Graduate School of Science Programs, May 2019

Supervisor: Prof. Dr. Ali Savaş KOPARAL
(Co-Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Erdem ÜREYEN)

The airline transportation, which has been used by nearly 4.4 billion people as of 2018, brings about various epidemic health risks. The pandemic situations which we are nowadays facing more frequently, reveal the importance of these risks.

Although factors such as the limited passenger space of the aircrafts used in airline transportation and the short arrival period to many countries set forth the importance of microbiological contamination, this subject has not been sufficiently studied and the studies regarding its role in global outbreaks have remained limited. In this thesis study, there has been a concentration in the literature void regarding this topic and it has been aimed to identify in details the microbiological potential. After the research in which the risk factors were determined, various formulas aiming at preventing bacteriological risks have been prepared. At the same time the application of these material compositions in areas used inside the aircraft cabins and areas which the passengers are /are likely to be in contact with, take place inside the research.

Keywords: Pandemism, Nanocomposite, Antibacterial, Flame retarder, Aviation

TEŞEKKÜR

Lisansüstü öğrenciliğim ve akademik kariyerimin başlangıcından itibaren her konuda desteğini, hoşgörüsünü ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini tüm içtenliğiyle paylaşan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ali Savaş KOPARAL’a

Öneri ve destekleriyle çalışmama katkıda bulunan Prof. Dr. Mustafa Erdem Üreyen’e

Lisansüstü eğitime başladığımdan beri her konuda yanımda olan, güler yüzü ve samimiyetini esirgemeyen, bana faydalı olabilmek için elinden gelen desteği daima veren, Dr. Öğr. Üyesi Filiz BAYRAKCI KAREL’e

Tez çalışmaları kapsamında bana destek olan arkadaşlarım Fadime ÖZMEN ve gerek sahada gerek laboratuvar da yapılan çalışmalarda hiçbir yardım isteğimi cevapsız bırakmayan Feyzullah GÜNDOĞAN’a

Bu güne kadar her durumda sevgileri ve her türlü destekleriyle yanımda olan, eğitim, saygı ve sevgi kavramlarının önemini anlamamı sağlayan, beni her zaman çok kıymetli hissettiren değerli ailem’e

ve

Hayatımla ilgili tüm konularda ve bu çalışma boyunca bütün zorluları benimle göğüsleyen, hayatıma girdiği günden beri ihtiyacım olan her konuda fedakârlıkla yanımda olan ve bu hayatta beni çok şanslı hissettiren sevgili eşim Boena YILDIZ’a

Teşekkür ve minnetlerimi belirtmek istiyorum.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ümit Yılmaz YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. MİKROBİYOLOJİK ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Mevcut Mikrobiyolojik Potansiyelin Belirlenmesi	12
2.2. Materyal Metot	16
2.2.1. ATP Biyoluminesans ölçümü ile biyomas tespiti.....	16
2.2.2. Koloni sayım yöntemleri	18
2.2.3. RLU (Relative light unit) ve CFU (colony forming unit) arasındaki ilişki.....	20
2.2.4. Mikroorganizma türlerinin moleküler tayin sistemiyle tespit edilmesi	21
2.2.5. Antibakteriyel etkinlik testleri (Tekstil).....	22
2.2.5.1. Örnek uygulamalar.....	22
2.2.5.2. ASTM E2149-13a	28
2.2.5.3. JIS L 1902:2015.....	29
2.2.5.4. AATCC100	30
2.2.5.5. EN ISO 20743	31
2.2.6. Antimikrobiyal test yöntemlerinin değerlendirilmesi.....	33

	<u>Sayfa</u>
2.2.7. Dayanım testleri.....	34
2.3. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar	34
2.3.1. Nicel (Kantitatif) çalışmalar	35
2.3.2. Farklı nicel (Kantitatif) çalışmaların karşılaştırılması	41
2.3.3. Nitel (Kalitatif) çalışmalar (Tür tayini-İndikatörler organizmaların seçimi).....	42
2.3.3.1. Moleküler tanılama sistemi (MDS) analiz sonuçları	44
2.3.3.2. İndikatör türler ve seçici besi ortamında yapılan tür tayini çalışmaları	47
3. MALZEME ÇALIŞMALARI	59
3.1. Uçaklarda Kullanılan Malzemeler.....	59
3.1.1. Metalik malzemeler	62
3.1.1.1. Demir içeren malzemeler	63
3.1.1.2. Demir içermeyen metaller	63
3.1.2. Metal dışı malzemeler	64
3.1.3. Kabin içi malzemeler.....	65
3.1.4. İç paneller (Kompozitler).....	69
3.1.5. Reçineler	73
3.1.5.1. Termoset (ısıt sertleşen) reçineler	73
3.1.5.2. Termoplastik reçineler	76
3.1.6. Güç tutuşur malzemeler.....	77
3.1.6.1. İnorganik güç tutuşur malzemeler	81
3.1.6.2. Organofosforlar	81
3.1.6.3. Azot esash güç tutuşurlar.....	82
3.1.6.4. Halojenler	82
3.1.6.5. Bariyer teknolojiler.....	82
3.2. Antibakteriyel ve Güç Tutuşur Malzemelerin Hazırlanması.....	82
3.2.1. Antibakteriyel ve güç tutuşur malzeme uygulanan prepreg plakalar ve yünlü kumaşların nihai mikrobiyolojik testleri	86
4. YANMA DAVRANIŞI ÇALIŞMALARI	90

	<u>Sayfa</u>
4.1. Materyal Metot	90
4.1.1. Dikey yakma.....	90
4.1.2. NBS duman Yoğunluğu Testi.....	93
4.1.3. OSU-HRR (Ohio State Üniversitesi kalorimetresi ısı salınım testi).....	94
4.2. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar	95
4.2.1. Uçaklarda kullanılan mevcut ticari koltuk kumaşlarının dikey yakma testleri.....	95
4.2.2. Kompozit malzemelerin dikey yakma (yanma uzunluğu) testleri	97
4.2.3. Kompozit malzemelerin NBS duman yoğunluğu testleri.....	103
4.2.4. Kompozit malzemelerin OSU-HRR ısı salım hızı testleri.....	113
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	124
KAYNAKÇA.....	129
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Deneysel çalışmaların temel basamakları	12
Tablo 2.2. ATP ölçüm cihazıyla farklı alanlardan alınan örnekler ve elde edilen RLU sonuçları (tablo ve grafik olarak)	35
Tablo 2.3. ATP ölçüm cihazıyla farklı alanlardan alınan örnekler ve elde edilen ortalama RLU sonuçları	36
Tablo 2.4. Farklı bölgelerden alınan örnekler için ortalama RLU değerleri.....	36
Tablo 2.5. Toplam canlı için (Aerobik count). Farklı bölgelerden alınan numunelerin RLU ve CFU ölçümü standart sapma değerleri.....	37
Tablo 2.6. Kabin içerisindeki numune alma bölgeleri (sünger kullanılarak) ve mikrobiyolojik yükleri.	39
Tablo 2.7. Kabin içerisindeki numune alma bölgeleri (sünger kullanılarak) ve mikrobiyolojik yükleri.	40
Tablo 2.8. Farklı numune alma bölgelerinden swab çubuklarıyla yapılan örneklemelerin Toplam canlı (aerobik) seçici besi ortamında elde edilen ortalama koloni sayıları.....	41
Tablo 2.9. İlk üç dilüsyon için cam yüzeyden elde edilen RLU değerleri (E. coli ve S. aureus için).....	42
Tablo 2.10. ISO 22196 metodu ile yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen koloni sayıları	43
Tablo 2.11. ISO 22196 metodu ile yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen koloni sayıları	43
Tablo 2.12. MDS analizi, F3 hücresi (tamponlanmış su içeren sünger ile alınan numune için) pozitif pik	45
Tablo 2.13. MDS analizi, C5 hücresi (tamponlanmış su içeren sünger ile alınan numune için) Salmonella için pozitif pik grafiği.....	46
Tablo 3.1. Kapsayıcı tasarım kriterleri şablonu	59
Tablo 3.2. İç panellerin tabi oldukları test ve kabul kriterleri.....	69
Tablo 3.2. (Devam)İç panellerin tabi oldukları test ve kabul kriterleri	70
Tablo 3.3. İdeal bir güç tutuşur malzemenin sahip olması gereken özellikler.....	79

Tablo 3.4. Epoksi ve tekstil ürünleri için kullanılan bazı güç tutuşur malzemeler.....	80
Tablo 3.5. ZnO ve CuO için eksenel değirmen öğütme parametreleri	80
Tablo 3.6. Antibakteriyel malzemenin prepreg yüzeyine uygulanma (kürlenme) parametreleri	86
Tablo 4.1. Benzoksazin içeren prepreg plakaların kürleme parametreleri.....	95
Tablo 4.2. Benzoksazin içeren prepreg plakaların kürleme parametreleri.....	95
Tablo 4.3. Farklı üreticilerin, uçak yolcu koltuklarında kullanılan ve çeşitli özelliklere sahip kumaşlarının dikey yakma sonuçları	97
Tablo 4.4. Kompozit katkı yüzdeleri (prepreg malzeme)	98
Tablo 4.4. (Devam) Kompozit katkı yüzdeleri (prepreg malzeme)	99
Tablo 4.4. (Devam) Kompozit katkı yüzdeleri (prepreg malzeme)	100
Tablo 4.5. Dikey yakma test sonuçları (prepreg malzeme), (K) ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen numuneleri göstermektedir.....	101
Tablo 4.5. (Devam) Dikey yakma test sonuçları (prepreg malzeme), (K) ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen numuneleri göstermektedir.....	101
Tablo 4.6. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 AP750 içeren örneği göstermektedir.....	104
Tablo 4.7. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 AP750 içeren örneği göstermektedir.....	104
Tablo 4.8. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F1 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen örneği, F2 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 AP750 içeren örneği göstermektedir.....	105
Tablo 4.9. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 AP750 içeren örneği göstermektedir.....	105

Tablo 4.10. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 AP750 içeren örneği göstermektedir.	106
Tablo 4.11. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 AP750 içeren örneği göstermektedir.	106
Tablo 4.12. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 AP750 içeren örneği göstermektedir.	107
Tablo 4.13. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 AP750 içeren örneği göstermektedir.	107
Tablo 4.14. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.	108
Tablo 4.15. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.	108
Tablo 4.16. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.	109
Tablo 4.17. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.	109
Tablo 4.18. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	110
Tablo 4.19. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36 içeren örneği göstermektedir. Test sırasında F2 nolu numune analizi 240 saniye	

sonunda sonlandırılmadığından sonuçlar diğer örneklere göre daha büyük farklılık göstermektedir.	110
Tablo 4.20. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	111
Tablo 4.21. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	111
Tablo 4.22. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	112
Tablo 4.23. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	112
Tablo 4.24. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	113
Tablo 4.25. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 IFR36 içeren örneği göstermektedir.	113
Tablo 4.26. A: %5 AP750 içeren numune test sonucu, B: %5 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	114
Tablo 4.27. A: %10 AP750 içeren numune test sonucu, B: %10 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	115
Tablo 4.28. A: %15 AP750 içeren numune test sonucu, B: %15 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	116
Tablo 4.29. A: %20 AP750 içeren numune test sonucu, B: %20 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	117
Tablo 4.30. A: %5 IFR içeren numune test sonucu, B: %5 IFR + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	118
Tablo 4.31. A: %10 IFR içeren numune test sonucu, B: %10 IFR + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	119

Tablo 4.32. A: %15 IFR 36 içeren numune test sonucu, B: %15 IFR 36 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	120
Tablo 4.33. A: %20 IFR 36 içeren numune test sonucu, B: %20 IFR 36 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.....	121
Tablo 4.34. A: %5 IFR36 + AP750 içeren numune test sonucu, B: %5 IFR36 + AP 750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.	122
Tablo 4.35. A: %10 IFR36 + AP750 içeren numune test sonucu, B: %10 IFR36 + AP 750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu	123
Tablo 5.1. ASTM 2149-13a Dinamik metot ile gerçekleştirilen 5 farklı kompozisyonda üretilen kumaş malzemelerinin sonuçları (Referans numune herhangi bir apre işlemi görmemiştir)	125
Tablo 5.2. ASTM 2149-13a dinamik metot ve JIS L 1902 test metotları ile gerçekleştirilen ve dört farklı kompozisyonda üretilen kumaş malzemelerinin antibakteriyel etkinlik test sonuçlarının karşılaştırılması.....	126

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kabin içi Mikrobiyolojik örnekleme gerçekleştirilen uçakların kalkış yaptığı ülkeler (Mapchart.net uygulaması kullanılarak hazırlanmıştır.).....	13
Şekil 2.2. ATP biyoluminesans ölçümünde gerçekleşen kimyasal reaksiyon ve ışık oluşumu	17
Şekil 2.3. ATP ölçümleri için kullanılan cihaz ve swab çubukları.....	17
Şekil 2.4. Yüzey numunelerinde kullanılan sünger ve pamuklu swab çubukları.....	20
Şekil 2.5. F3 hücresindeki Listeria pozitif analiz sonucu. LIS: Listeria, ECO: E. coli O 157, SAL: Salmonella	45
Şekil 2.6. C5 hücresindeki Salmonella pozitif analiz sonucu. LIS: Listeria, ECO: E. coli O 157, SAL: Salmonella	46
Şekil. 2.7. Ekim yapılan, negatif (A) ve pozitif (B) sonuçlu seçici E. coli petrifilm örnekleri	47
Şekil. 2.8. Ekim yapılan, pozitif sonuçlu seçici Staphylococcus petrifilm örneği.	50
Şekil. 2.9. Ekim yapılan, negatif (A) ve pozitif (B) sonuçlu seçici Listeria (EL) petrifilm örnekleri.	52
Şekil. 2.10. Ekim yapılan, pozitif sonuçlu seçici Salmonella petrifilm örneği.	53
Şekil 3.1. Boeing kabinleri içerisinde bulunan kaplama türleri ve yapıları	71
Şekil 3.1. (Devam) Boeing kabinleri içerisinde bulunan kaplama türleri ve yapıları ...	72
Şekil 3.1. (Devam) Boeing kabinleri içerisinde bulunan kaplama türleri ve yapıları ...	73
Şekil 3.2. CuO ve ZnO için Taramalı elektron mikroskopu görselleri (Zeiss evo 50, EHT=20kV, WD=13.0mm, Mag=40.00kv).....	84
Şekil 3.3. Nihai malzeme TGA sonuçları (%Kütle kaybı, ısı akısı, sıcaklık)	84
Şekil 3.4. Kürlleme sonrası prepreg (benzoksazin) malzemenin zon inhibisyon testi sonuçları (2×10^7 cfu/ml E. Coli, 150µl)	87
Şekil 3.5. Ref= Antibakteriyel malzeme ile kürlenmeyen referans malzemenin 1. dilüsyon PCA ortamı görseli, Abt= Antibakteriyel malzeme ile kürlenmiş prepreg malzemenin 1. dilüsyon PCA ortamı görseli	88
Şekil 4.1. IFR36+AP750-10 ve IFR36+AP750-10 (K) numunelerinin dikey yakma testi öncesi ve sonrası görselleri.	102

Şekil 4.2. AP750-2 ve AP750-2 (K) numunelerinin dikey yakma testi öncesi ve sonrası görselleri.	102
Şekil 4.3. IFR36-1 ve IFR36-1(K) numunelerinin dikey yakma testi öncesi ve sonrası görselleri. Örnekler yaklaşık olarak 30 saniye boyunca yanmaya devam etmiştir.....	103
Şekil 4.4. %5 AP750 ve antibakteriyel malzeme ilaveli %5 AP750 katkılı numunelerin yanma öncesi ve sonrası görselleri.	103
Şekil 4.5. Soldan sağa sırasıyla; %5 AP750 içeren test öncesi, %5AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %5 AP750 içeren test sonrası, %5 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri	114
Şekil 4.6. Soldan sağa sırasıyla; %10 AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %10 AP750 içeren test sonrası, %10 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri.....	115
Şekil 4.7. Soldan sağa sırasıyla; %15 AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %15 AP750 içeren test sonrası, %15 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri.....	116
Şekil 4.8. Soldan sağa sırasıyla; %20 AP750 içeren test öncesi, %20 AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %20 AP750 içeren test sonrası, %20 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri	117
Şekil 4.9. Soldan sağa sırasıyla; %5 IFR36 içeren test öncesi, %5 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %5 IFR36 içeren test sonrası, %5 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri	118
Şekil 4.10. Soldan sağa sırasıyla; %10 IFR36 içeren test öncesi, %10 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %10 IFR36 içeren test sonrası, %10 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri	119
Şekil 4.11. Soldan sağa sırasıyla; %15 IFR36 içeren test öncesi, %15 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %15 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri	120
Şekil 4.12. Soldan sağa sırasıyla; %0 IFR36 içeren test öncesi, %20 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %20 IFR36 içeren test sonrası, %20 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri.....	121
Şekil 4.13. Soldan sağa sırasıyla; %5 IFR36+AP750 içeren test öncesi, %5 IFR36 + AP 750 + Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %5	

IFR36+AP750 içeren test sonrası, %5 IFR36 + AP 750 +
Antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri 122

Şekil .14. Soldan sağa sırasıyla; %10 IFR36+AP750 içeren test öncesi, %10
IFR36+AP750 içeren test sonrası, %10 IFR36 + AP 750 +
Antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri 123

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünya’da teknolojinin hızla gelişmesi, ulaşım olanaklarının artması ile ulaşım için harcanan zamanın azalması büyük kolaylıkları da beraberinde getirmektedir. Havacılık bu anlamda en hızlı ve en güvenilir ulaşım şekli olarak yerini korumaktadır. Bu hız ve teknoloji, avantajlarının yanında bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Örneğin bir hava aracında yaşanan teknik bir soruna, yangına vb. müdahale edilmesi oldukça güçtür veya bir enfeksiyon hava taşımacılığı ile en uzak kıtalara bile çok kısa süre içerisinde ulaşabilmekte ve pandemizm halini alabilmektedir.

Hava ulaşımı gerek insan gerekse kargo taşınması konusunda adeta yeni bir çağı beraberinde getirmiştir. Bu sayede deniz aşırı bölgelere bile çok kısa sürede ulaşılabilir. Ancak son yıllarda yaşanan pandemizmelerin büyük kısmının bu yolla çok uzak noktalara dahi ulaşması beraberinde birtakım önlemlerin alınmasını gerektirmiştir.

Konu hava araçları olduğunda bir diğer önemli unsur kullanılan malzemelerin de çeşitli standartlara sahip olmasıdır. Bu anlamda en ciddi parametrelerden biri güç tutuşurluk fonksiyonudur.

Metal dışı tekstil, plastik, kompozit gibi birçok malzemenin hava araçlarında kullanılabilmesi için güç tutuşurluk fonksiyonuna sahip olması gerekir. Bu malzemerlerin standardizasyonu başta Federal havacılık kurulu FAA (Federal Aviation Administration) olmak üzere çeşitli kurumlar tarafından belirlenen standartlar dâhilinde kontrol edilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’ne göre her yıl enfeksiyon kaynaklı sağlık sorunlarından milyonlarca insan hayatını kaybetmekte ve milyarlarca dolar maddi kayıp yaşanmaktadır. Bu problemten yola çıkarak giderek ivmelenen bir hızla antibakteriyel malzeme ve dezenfeksiyon sistemleri geliştirilmektedir.

Sürekli değişimi veya detaylı dezenfeksiyon-sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmesi güç ve maliyetli olan hava araçlarında mikrobiyolojik kirlilik karşılaşılan önemli sorunlardan biridir. Özellikle uzun uçuşlarda ortam havası, yemek servisi, lavabo kullanımı vb. çok sayıda insan için küçük bir ortamda sağlandığından mikrobiyolojik maruziyet büyük sorunlara neden olmaktadır.

Mikrobiyolojik riskler dışında da uçuş güvenliğini tehdit eden birçok faktör bulunmaktadır. Hava araçlarında meydana gelen; yangın ve duman oluşumu, uçağa

yıldırım düşmesi, olumsuz hava koşulları (örneğin buzlu zemin, kar fırtınası vb.), yapısal kaynaklı hatalar, motor arızaları (kuşların sebep olduğu sorunlar, teknik sorunlar vb.), pist ile ilgili sorunlar, terörizm gibi birçok olumsuz durum uçuş güvenliği için risk oluşturmaktadır. Uçuş sırasında hava araçlarına çok kısıtlı bir müdahale imkânı olduğu düşünüldüğünde gerekli teknolojik, teknik ve güvenlik önlemlerinin uçuştan önce sağlanması ve kontrollerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu anlamda çalışmalar kapsamında uçaklarda kullanılan metal dışı malzemelerin bazılarının nanokompozit malzeme geliştirilerek antibakteriyel ve güç tutuşur nitelikli hale getirilmesi ve gerekli standartlar ile bu malzemelerin testlerinin gerçekleştirilmesi planlanmıştır.

Dünya bankası, Dünya Kalkınma verilerine göre 2017 yılı itibariyle Dünya genelinde 4 milyardan fazla insan hava taşımacılığını tercih etmiştir. Bu rakam Türkiye’de yaklaşık 100 milyon yolcu sayısı olarak belirlenmiştir. Ortalama bir uçuş süresi ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte, bulaşma için yeterli sürenin sadece dakikalar ile ifade edildiği bilinmektedir.

Küfler, bakteriler ve virüsler hava araçlarına yolcularla taşınabildiği gibi yolcu iniş ve binişlerinde hava ortamıyla da kabin içerisine ulaşmaktadır. Özellikle ticari yolcu taşımacılığı yapan uçaklar içerisinde kişi başına düşen ortam hacminin kısıtlılığı düşünüldüğünde patojenlerin insanlarla temas kurması kaçınılmaz bir hal almaktadır. Bu kontaminasyonun önüne geçmek için uçaklarda hava filtrasyon sistemleri mevcuttur. Ancak çeşitli çalışmalar hava filtrasyonunun, havanın hareketli faz olarak çok hızlı kontaminasyona sebep olabilmesi nedeniyle yeterli olmayacağını göstermektedir. Pasanen ve ark’a göre ortamda yeterli su/nem bulunduğunda küf sporlarının gelişimi mümkün hale gelmekte ve sonuçta filtrenin alt yüzeylerinden spor formları serbest kalabilmektedir. Dolayısıyla havalandırma sisteminin kendisinin mikroorganizma kaynağı halini aldığı çalışmalar ile gösterilmiştir.

2008-2009 yıllarında gerçekleştirilen bir çalışmaya göre 2008 yılı mart ve nisan aylarında yalnızca Meksika’dan havayolları ile taşınan 2,35 milyon yolcu 164 ülkede toplam 1081 farklı şehre yolculuk yapmıştır. Bu örnek bulaşma etmenlerinin ne kadar kısa sürede geniş bir coğrafyaya yayıldığını açıkça göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü, Dünya Sağlık Raporu’nda (2007) bulaşma hızı yüksek ve yaklaşık %11 mortalite oranına sahip SARS (atipik pnömani olarak kabul edilmektedir) ile ilgili olarak hava taşımacılığı ile bulaşması ve tüm şehirlere ulaşması muhtemel risk olarak bahsedilmiştir. Yine SARS ile ilgili olarak Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezi

havayoluyla bulaşan bu probleme karşı çeşitli Asya ülkelerine planlanan seyahatlerin ertelenmesini tavsiye etmiştir.

Planlanan çalışmalar, havayolu ulaşımı nedeniyle epidemik durumların pandemizm halini alması sonucu meydana gelen olumsuzlukların belirlenmesi, hava araçlarının iç ortam hijyeninin iyileştirilmesi ve muhtemel kontaminasyon risklerinin belirlenmesi konularını kapsamaktadır.

Özellikle son yıllarda yaşanan viral pandemik olayların küresel ölçekli zararları Dünya gündeminde ilk sıralarda yer almaktadır. Yapılan çalışmaların geneli, meydana gelen olumsuzlukların giderilmesi (sağlık sorunlarının tedavi edilmesi), küçük bir kısmı da kontaminasyonun durdurulması amacıyla karantina altına alma gibi faaliyetlere odaklanmıştır. Salgınların neden olduğu hastalıklar ve bu sağlık sorunlarından kaynaklanan mali harcamalar doğrudan veya dolaylı çok sayıda olumsuz durumu da beraberinde getirmektedir. Günümüzde hava araçlarında, özellikle ticari yolcu taşımacılığı yapan uçaklarda, iç ortam hava kalitesi mikrobiyolojik olarak yeterince değerlendirilmemiş, birtakım çalışmalar gerçekleştirilmiş olsa da geniş ölçekli ve detaylı bir değerlendirme bulunmamaktadır. Söz konusu çalışma ile Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığı bünyesinde yer alan uçakların mikrobiyolojik olarak potansiyel risklerinin belirlenmesi ve hijyen artırıcı çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Böylece daha önce gerçekleştirilmemiş olan ancak Dünya çapında büyük önem taşıyan hem yolcu güvenliği hem salgın kontrolü hem de hijyenik kabin ortamının sağlanması konularında özellikle risk etmenlerinin belirlenmesi ile ilgili olarak özgün bir çalışma gerçekleştirilmiş olunacaktır.

Colizzia ve ark'a göre hava ulaşım ağı (özellikleri gereği) küresel anlamda ortaya çıkan, özellikle SARS ve benzeri hava yoluyla bulaşan hastalıklardan sorumlu tutulmuştur. Hava kaynaklı kontaminasyonların büyük bir kısmını viral hastalıklar oluşturmaktadır. Viral salgınlar genelde mortalitesi düşük olsa da etkilenen vaka sayısının yüz milyonlara ulaşması hem ciddi maliyetlere yol açmakta hem de bu salgınların temel sağlık sorunlarından biri olmasına neden olmuştur. Viral hastalıklardan doğrudan etkilenmenin yanı sıra son yıllarda yaşanan kuş gribi salgınlarında olduğu gibi temel gıda unsurlarının da etkilenmesi söz konusudur. Milyonlarca kanatlının itlaf edilmesi veya enfeksiyon kaynaklı ölmesi sonucunda da büyük bedeller ödenmek durumunda kalınmıştır. Ayrıca kuş gribine neden olan virüsün konakçıdan insana bulaşması H5N1 türevi ile mümkün olmuş ve bu soruna Dünya çapında önlem alınmasını gerekli kılmıştır.

Aynı dönemlerde (2009 yılında) H1N1 virüsünün de kolaylıkla insana geçtiğinin anlaşılması aşı çalışmalarını zorunlu kılmış ve birçok ülkede bu virüse karşı çeşitli önlemler alınmıştır.

Kabin ortamı ile ilgili olarak yapılmış ve kapsamlı olarak kabul edilecek çalışmalardan biri Federal Havacılık Kurulu (FAA) ve Delta hava yolları ortaklığı ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bakteriyel kaynaklı enfeksiyonlara sebep olan tehlikeli 2 türün kabin içerisinde bulundukları yer ve hayatta kalma süreleri araştırılmıştır. Çalışma organizması olarak Metisilin dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) ve *Escherichia coli* O157 H7 serotipi bakteriler kullanılmıştır. Sonuçlar iç ortam hijyeninin ne kadar önemli olduğunun vurgulanması açısından çarpıcı bilgiler içermektedir. Buna göre; MRSA'nın koltuk ceplerinde 168 saate kadar hayatta kalabildiği, E. coli O157 H7 serotipi bakterilerinin ise kol yaslama kaplama malzemeleri üzerinde 96 saate kadar hayatta kalabildiği anlaşılmıştır. Bu sebeplerle, koltuklar, pencere ve perdeler, uçak içi eğlence sistemi ekranları, kolçak, lavabolar, dahili koltuk servis tepsileri, baş üstü bagaj gözleri, halılar, dergiler-broşürler, yan paneller gibi kabin içerisindeki hemen hemen her yüzey, alan ve ortam potansiyel riskler taşımaktadır. (Vaglenov, 2014, s. 75)

Kabin içerisine beslenen taze havanın zorunlu olarak kısıtlı tutulması (yakıt tüketimi vb.), birim hacimde çok sayıda kişinin bulunması, kabinin kapalı bir ortam olması, uçak içinin çok detaylı ve farklı malzemelerden imal edilmesi, kabin içerisinde besin maddesi bulunması ve en önemlisi farkında olan veya olmayan ancak taşıyıcı durumda olan yolcuların seyahat etmesi nedeniyle çeşitli dezenfeksiyon-filtrasyon tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde ticari yolcu taşımacılığı sebebiyle meydana gelen kontaminasyonlar ile ilgili olarak çeşitli çalışmalara teorik olarak ve kısıtlı bir biçimde yer verilmiştir. Bu çalışmalar genelde istatistiki modellemelere dayanmaktadır. Çalışmalar kapsamında farklı rotalardan gelen uçakların iç ortamından farklı tekniklerle numuneler alınacak böylece kontaminasyon kaynağı hakkında bilgi sahibi olunabileceği için verimli, ekonomik ve hedefe yönelik önlemlerin alınmasının yolu açılacaktır.

Metal dışı tekstil, plastik, kompozit gibi birçok malzemenin hava araçlarında kullanılabilmesi için güç tutuşurluk fonksiyonuna sahip olması gerekir. Bu malzemelerin standardizasyonu başta Federal havacılık kurulu FAA (Federal Aviation Administration) olmak üzere çeşitli kurumlar tarafından belirlenen standartlar dâhilinde kontrol edilmektedir.

Çalışma kapsamında hava araçlarında kullanılan metal dışı malzemelere güç tutuşur ve antibakteriyel özellik kazandırılması ve bu malzemelerin güç tutuşurluk ve antimikrobiyal etkinlik analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Havayolu taşımacılığı ve Kontaminasyon Riskleri:

Her yıl havayoluyla 1 milyardan fazla kişi seyahat etmektedir. Hava yolculuğunun, gelişmekte olan bulaşıcı hastalıkların yayılımını etkileyebileceği birkaç önemli yol bulunmaktadır.

- Enfeksiyonlar, uçaklara (kabin içerisine) yakın temas ve büyük damlacıklar yoluyla yayılabilmektedir (Mangili and Gendreau, 2005, s. 989).
- Şiddetli akut solunum yolu sendromu (SARS) durumunda olduğu gibi küçük partiküllü aerosoller yoluyla, enfeksiyonlar hava yoluyla yayılırlar (Olsen vd., 2003, s. 2416).,
- Uçaklarda kontamine olmuş gıda maddeleri patolojik durumların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Eberhart-Phillips, 1996, s. 9)
- Uçak enfekte (bulaşma) olma riski bulunan bir hastalığı sıtmadan etkilenen sivrisinekler gibi vektörlerle taşıyabilir. Bununla birlikte, küresel sağlık için belki de en büyük tehdit, bulaşıcı hastalığı olan bir kişinin 24 saat içinde neredeyse dünyanın herhangi bir yerine uçaklar sayesinde seyahat edebilme kabiliyetidir (Pavia, 2007)

SARS salgını döneminde, semptomatik SARS hastası olan kişilerin tespiti amacıyla yolcu taşıyan uçaklarda (40 farklı sefer için) risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulaşmanın, 40 uçuştan 5'inde olduğu düşünülmektedir. 4 uçuşta, veriler hastanın sırasında oturan kişiler arasında, büyük damlalarla (aerosol olarak) yayılmayla birlikte, az sayıdaki şüpheli enfeksiyonun meydana geldiğini göstermiştir. Bununla birlikte, Hong Kong'dan Pekin'e yapılan 1 uçuşta, 120 yolcu ve mürettebatın 22'sinde bulaşma olduğu düşünülen enfeksiyonun hava yoluyla yayıldığı öngörülmektedir (Olsen vd., 2003, s. 2416). Birçok ticari uçakta, havadaki küçük parçacıklara maruz kalmayı sınırlayan dikey hava akımı ve yüksek verimli partikül hava (HEPA) filtreleri kullanılmaktadır. Ancak, HEPA filtreleri veya filtre fonksiyonlarının test edilmesi için herhangi bir yönetmelik bulunmamaktadır (Council, 2002).

Uçaklarda belirli patojenler için farklı yayılma yollarının epidemiyolojik araştırmalarının yapılması gerekmektedir. Standardizasyonda HEPA filtrelemeyi gerektiren ve daha iyi el hijyen yöntemleri sağlanmasını içeren potansiyel müdahalelerin etkinliğinin de incelenmesi gerekmektedir. Çözüm olarak, modelleme, karmaşık sistemleri anlamada ve belirsizlik alanlarını belirlemede çok yararlı olabilecektir, ancak

bunların yerine, dikkatli bir epidemiyolojik ve biyolojik soruşturma yapılmalıdır (Pavia, 2007).

Bir uçağın çevresel kontrol sistemi (ECS), düşük basınçlı dış havayı ve kabin basıncını seyir irtifasında rahat bir seviyede tutmak için kabin içine göndermektedir. En düşük kabin basıncı ABD Federal Havacılık Yönetmeliği 25 (FAR 25) tarafından belirlenmiş olup, basınçlı kabinler ve bölmeler kullanılacak maksimum çalışma durumunda, normal çalışma koşullarında uçağın yüksekliği 8000 ft' den fazla olmayan bir kabin basınç yüksekliği sağlamak üzere donatılmış olmalıdır (Wang and Orsi, 2013, s. 199).

FAA' ye göre sınır 8000 ft (2440 m) 75,2 kPa' lık bir kabin basıncına karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, kabin basıncı, deniz seviyesindeki 101,3 kPa'dan maksimum sertifika irtifası olan 75.2 kPa' ya kadar değişebilmektedir. Tipik kabin irtifaları, uçağın uçuş profiline bağlı olarak 5500-7000 ft' tir. FAR 25'e göre ayrıca havalandırma sisteminin, mürettebat üyelerinin görevlerini gereğinden fazla rahatsızlık duymadan veya yorgunluk hissetmeden yerine getirmek ve makul yolcu konforu sağlamak için, hava koşullarının yeterli miktarda kirlenmemiş hava temin edecek şekilde tasarlanması gerekir. Normal çalışma koşullarında, havalandırma sistemi her bir yolcunun başına en az 0.25 kg / dakika temiz hava içeren hava akımına sahip olmalıdır (McMullen and Freitag, 2015, s. 1345).

Yüksek irtifalarda seyir halindeyken, dış hava çok daha az miktarda nem içermektedir. Kabin içerisindeki nemin ana kaynakları buharlaşma ve terlemedir. Bir anlamda, içerideki havanın nem oranı insan faktörlerinden meydana gelmektedir. Seyir irtifalarında tipik olarak %14-19 bağıl nem (RH) oranı görülmektedir. Bu tür RH değerleri daha önceki dönemlerde yolcu taşımacılığı amacıyla kullanılan uçakların kabinlerinde “rahat” kabul edilen seviyelerin altındaydı. Bu sebeplerden dolayı hava kalitesi ve düşük nem seviyeleri havacılıkta uzun yıllar endişe kaynağı olmuştur (Eberth, 1880, s. 58).

Prensip olarak, kabin havası uygun nemlendirme ekipmanı kullanılarak daha yüksek seviyelerde nemlendirilebilir, ancak bu, yoğunlaşma ve ardından gövde korozyonu gibi problemlere sebep olabilmektedir (Hardy, 1999, s. 293).

Düşük bağıl nemin enfeksiyona veya diğer sağlık etkilerine duyarlılığın artması ile ilişkili olduğuna dair bir kanıt olmamasına rağmen, yolcular ve mürettebatın göz

duyarlılığı, deri ve mukoza zarı kuruluğu vb. şikayetlerde bulundukları görülmektedir (FDA/CFSAN, 2008).

Diğer çalışmalar, yolcuların ve kabin ekibinin, uçak kabinindeki havayı çok kuru bulduğunu göstermektedir. Kaşıntılı veya tahriş olmuş gözler, kuru veya tıkalı burunlar ve cilt kuruluğu gibi semptomların kuru havadan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Heymann, Alcamo and Heymann, 2006).

Daha uzun uçuşların daha fazla semptom oluşturduğunu gösteren 3630 yolcuyu kapsayan bir başka çalışmada ise burun mukoza kuruluğu birincil şikayet olarak tespit edilmiştir (Fàbrega and Vila, 2013, s. 308).

Bazı araştırmalar ise iç hava neminin çok önemli bir faktör olmadığını göstermektedir. Çeşitli laboratuvar çalışmalarına göre, iç hava kirleticilerinin de kuruluk hissi gibi semptomların görülmesine sebep olabileceği gözlemlenmiştir (Dodd, Aldsworth and Stein, 2017).

Uçak kabinine taze hava temini ile yeterli nem arasında doğal bir çatışma söz konusudur: Nemi yükseltmek için kabin içindeki dış havanın akışını azaltmak, kirleticilerin konsantrasyonunu arttırmaktadır (McMullen and Freitag, 2015, s. 1345).

Çevresel Kontrol Sistemi (ECS):

- Dış hava kaynağı sistemi: İklimlendirme biriminin ana havalandırma sistemi, soğutulmuş basınçlı taze dış havanın kabin içerisine uygun şekilde beslenmesini sağlıyor.
- Egzoz sistemi: Kabin havasının tahliyesi, kabinin her iki yanında yerden geçen kanallar vasıtasıyla gerçekleşmektedir.
- Devridaim sistemi: Kabinden çıkan hava dışarıya veya farklı bir ortama transfer edilir veya taze dış hava ile karıştırılmadan önce yüksek verimli bir partikül tutucu hava (HEPA) filtresi ile devridaimi yapılır.

Deneyisel çalışmalar için fiziksel ölçümler aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

Kabin ve havalandırma sistemi, 4-6 dakikalık aralıklarla kontrol, ölçüm ve kayıt için sensörler ve enstrümantasyon ile donatılmıştır.

- Kabinin toplam hava akışı, dış hava akışı ve diğer ortamlara gönderilen akış oranı ölçülmüştür.
- Kabinin içindeki hava nispi nemi ve sıcaklığı ölçülmüştür.
- Kabin panelleri (pencere ve pano altı) ve kabini çevreleyen hava sıcaklığı arasındaki yüzey sıcaklıkları değerlendirilmiştir.

- Kabin içi basıncı ölçülmüştür.

İlave olarak:

- Beş farklı noktada 5 dakikalık aralıklarla örneklenen CO₂ konsantrasyonları: Dış hava, kabin hava besleme, kabin hava tahliyesi ve diğer ortamlardaki ölçümlerden meydana gelmektedir.
- Dokuz uçucu organik bileşik (VOC) için her koşulda iki şer kez gaz kromatografisi /kütle spektroskopisi (GC-MS) kullanılarak çalışılmıştır. Dokuz VOC (formaldehit, asetaldehit, propionaldehit, aseton, metil etil keton, etanol, metanol, izopren ve toluen) hem dış hava kaynağında hem de kabin tahliye havasında izopren ve toluen için 60 dakika, diğer numune alma noktaları için 120 dakika örnekleme yapılarak belirlenmeye çalışılmıştır. İlk sonuçlar elde edildikten sonra sadece sınırlı sayıdaki numune için çalışmalar sürdürülmüştür (McMullen and Freitag, 2015, s. 1345).

Bilim insanları ve sağlık uzmanları hastane kaynaklı enfeksiyonlarla (HAI) ilgili yaptıkları çalışmalarda mikropların toplu halde bulundukları yerler olarak yüzeylerin önemine inanmışlardır. 1960'lı yıllarda yayınlanan makalelerde, hastalık epidemiyolojisinde yüzeylerin rolünü gösteren kanıtlar sunulmuştur (Tortora vd. 2008)

Fakat daha yakın zamana kadar bunun için belirgin kanıtlar bulunamamıştır (Long, Pickering and Prober, 2012).

Stafilokok, özellikle de metisilin dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) en büyük ilgiyi görerek medyanın da dikkatini çekmiştir. Çeşitli çalışmalarda bu mikroorganizmanın hastane ortamındaki mikrobiyal kontaminasyonu ve mikropların etkili oluş süresi incelenmiştir.

Yüzeyler, mikroplar için tutunma ortamı gibi davranabilmekte ve temastan sonra enfeksiyonun yayılmasına yol açabilmektedir. Kanıtlar gösteriyor ki, hastane ortamındaki ortak yüzeyler/ürünler patojenik mikroplarla kolayca kontamine olabilmektedirler. Böyle bir yüzeye temas edildikten sonra eller (eldivenli veya eldivenli olmayan durumda) bu organizmalarla kontamine olabilmektedir.

Hastanelerde yapılan çalışmalarda potansiyel olarak zararlı olan mikropların bulunduğu yüzeyler; oda kapı kolları, steril olması ambalajlar, paspaslar, odalardaki kumaşlar ve plastikler, sağlık çalışanlarının kalemleri, klavyeler ve musluklar, stetoskoplar ve telefonlardır.

Yüzeylerde patojenlerin canlı kalma süreleri ve yüzeylerden ele patojenlerin bulaşmasına dair kanıtları birleştiren invitro hastane ortamı, MRSA gibi hastane dışı

patojenler için bir üreme-yerleşme yeri olarak görülebilmektedir. Yüzey kirlenmesi ile hastane içi enfeksiyonlar arasında da bir bağlantı kurulabilmektedir. Örneğin MRSA, bir yüzey üzerinde kurursa yaklaşık 9 haftaya kadar veya plastik bir laminant yüzey üzerinde 2 güne kadar hayatta kalabilmektedir.

Sıcaklık, nem, güneş ışığına maruz kalma koşullarında bu sürelerde küçük değişiklikler meydana gelmektedir.

Hava araçları içerisindeki ortam düşünüldüğünde mikroorganizmaların bir kişiden diğer kişiye ulaşmasının birçok yolu olduğu anlaşılmaktadır (Long, Pickering and Prober, 2012).

Bunlar;

- Temas yoluyla (deri),
- Mukoza ile,
- Üst solunum yolu ile,
- Ağız yolu ile,
- Gastrointestinal yol ile olmak üzere temelde 5 şekilde meydana gelmektedir.

Tipik bir ticari yolcu uçağında kabin içerisindeki risk faktörleri, Kısıtlı oturma alanı, temas ile kontaminasyon, çevresel patojenler, düşük nem oranı ve kişisel sağlık sorunlarıdır. Kabin içerisindeki düşük nemli ve kontamine havanın solunum yolu ile mukozayı kurutması ve patojenleri taşıması sonucunda özellikle viral hastalıklarda ciddi bir transfer mümkündür. Bunlara ek olarak uçuş süresi özellikle kıtalararası yolculuklarda inkübasyon süresi için yeterli olmaktadır.

Menejit *Neisseria meningitidis* bakterisinin neden olduğu ve yaşamı tehdit edebilen bir hastalıktır. Menenjit hastalığı solunum sekresyonu (salgıları) teması ile bulaşmaktadır ve yüksek mortaliteye sahip bir sağlık sorunu olması nedeniyle büyük tehlike taşımaktadır.

Tüberküloz *M. Tuberculosis* den kaynaklanan kronik bir sağlık sorunudur. Hava taşımacılığında rapor edilen az sayıda vaka olmasına rağmen meydana getirdiği sağlık sorunları düşünüldüğünde önemsenmesi gereken bir hastalık olduğu anlaşılmaktadır.

SARS koronavirüsün neden olduğu yüksek mortaliteye sahip bir pnömani olarak tanımlanmaktadır. Solunum yolları ile meydana gelen salgıların (damlacıkların) doğrudan veya dolaylı olarak diğer bireylere ulaşması ile bulaşmaktadır.

Dünya’da en geniş yayılım gösterebilen ve hemen hemen her insanın etkilendiği grip özellikle hava yolculuklarında kolaylıkla bulaşabilmekte ve konu ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Grip ile ilgili olarak pandemik durumların temel sebeplerinden birisi hava taşımacılığıdır.

2. MİKROBİYOLOJİK ÇALIŞMALAR

Dünya genelinde her yıl milyarlarca insanın havayolu taşımacılığını tercih etmesi, binlerce kilometrelik mesafelerin saatler içinde geçilebilmesi beraberinde bir takım riskleri de getirmektedir. Epidemik durumların yayılarak pandemizm haline gelmesi, yüzbinlerce insanın ve diğer milyonlarca canlının yaşamını yitirmesine, her yıl yüz milyarlarca dolarlık maliyete ve çeşitli biyogüvenlik risklerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

2016 yılına kadar yalnızca H1N1 patojeni nedeniyle dünya genelinde 575.400 kişi yaşamını yitirmiştir. Mevsimsel influenza türleri de ortaya çıktıkları anda birçok kıtada eş zamanlı olarak milyonlarca insana havacılık faaliyetleri nedeniyle bulaşabilmektedir. Son dönemde yapılan araştırmalar kabin içerisinde hijyen koşullarının sağlanmasının önemini vurgulamaktadır. Bu amaçla ICAO, WHO ve IATA gibi kurumlar 2006 yılından beri çeşitli önlemlerin alınması ve bu önlemlerin gereklilik haline gelmesi için faaliyetlerini devam ettirmektedir.

Geçtiğimiz yıl itibariyle, havayolu taşımacılığını tercih eden yolcu sayısının yaklaşık dört milyar olduğu düşünüldüğünde, kabin içerisinde meydana gelmesi muhtemel kontaminasyonların önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu amaçla çeşitli antimikrobiyal malzemeler geliştirilmiş ve bu ürünler yalnızca havacılık sektöründe değil tüm alanlarda geniş kullanım alanı bulmuştur. Özellikle nanoteknoloji alanındaki gelişmelerle bakteristatik ve bakterisidal malzemelerin etkinliği artmış ve ürün spektrumu genişlemiştir.

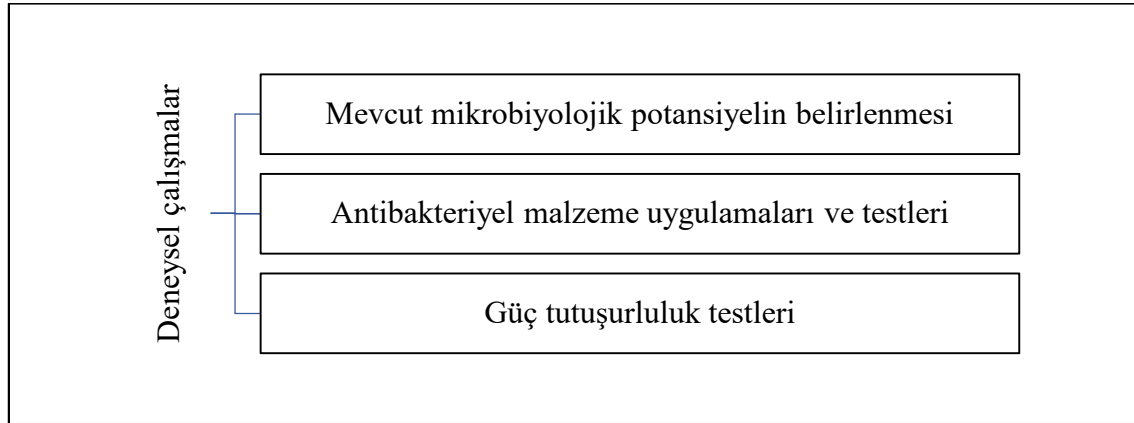
Tez çalışmaları kapsamında antibakteriyel özelliğe sahip güç tutuşur nanokompozit malzeme(ler) geliştirilmesi ve havacılık sektöründe kullanılabilirlikleri çalışılmıştır. Bu kapsamda öncelikle farklı rotalardan gelen uçaklarda, kabin içerisindeki mikrobiyolojik potansiyel belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler ışığında hedef indikatör/patojen türlere uygun reçeteler hazırlanmış ve karakterizasyon testleri yapılmıştır. Geliştirilen kompozisyonlar kabin içerisinde toplam yüzey alanının büyük kısmını oluşturan ve yolcuya mikroorganizmaların taşınmasında vektör görevi gören kompozit malzeme ve kumaş alanlara uygulanmıştır. Son olarak, havacılık endüstrisinde kabin içerisi için en önemli yönetmeliklerden biri olan FAA (Federal Aviation Administration) FAR 25.853 gereklilikleri kapsamında, hazırlanan epoksi prepreg malzemeler ve yünlü kumaşlar için; Isı salınımı, duman yoğunluğu ve dikey yakma testleri yapılmıştır.

Mikrobiyolojik çalışmalar kapsamında çok sayıda numune alınarak istatistiksel olarak çalışma sonuçlarının gerçek potansiyeli daha fazla yansıtması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yaklaşık 200 uçaktan, 5 binin üzerinde numune alınmıştır.

2.1. Mevcut Mikrobiyolojik Potansiyelin Belirlenmesi

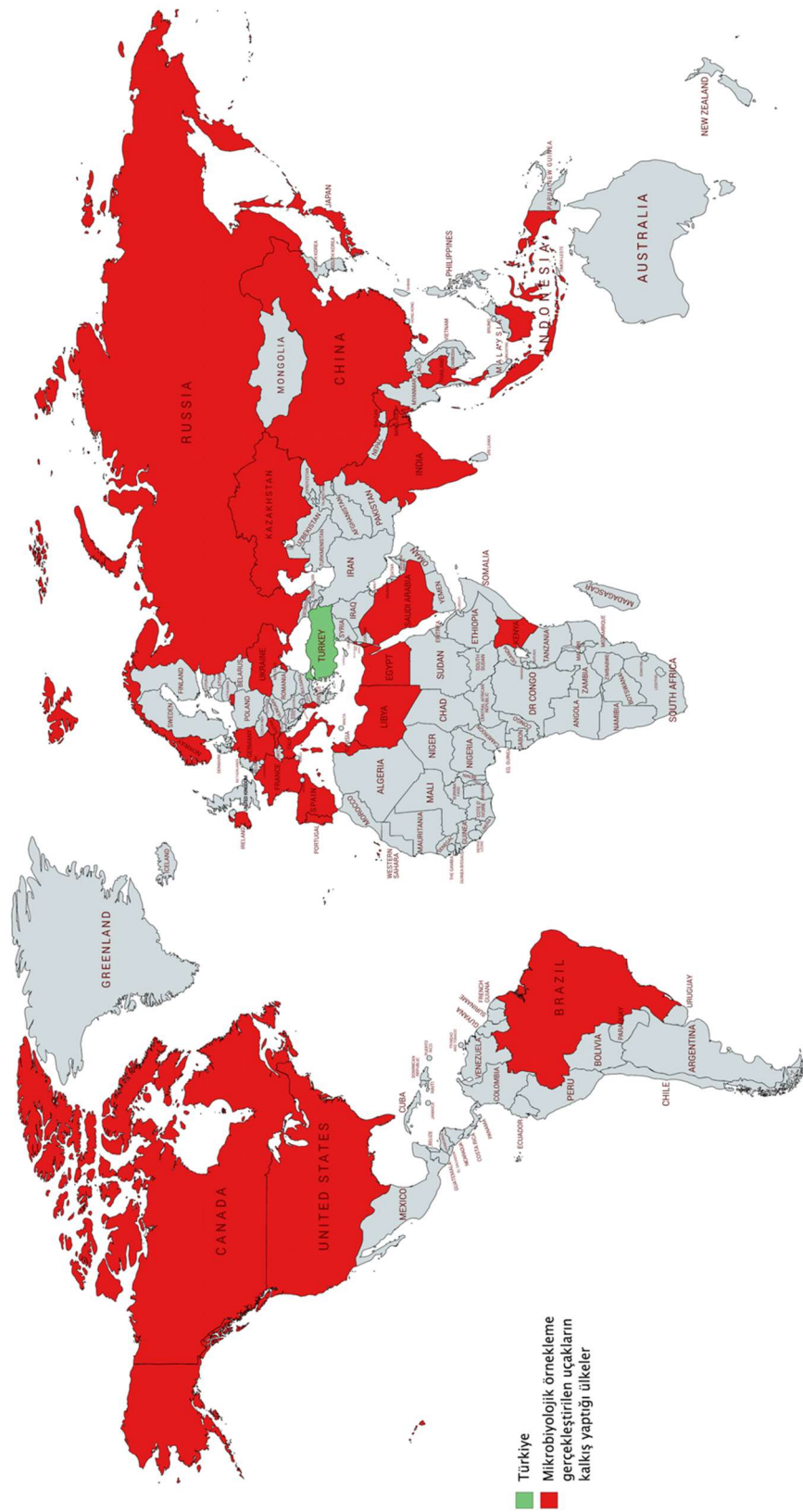
Tez çalışması temel olarak 3 ana başlık altında toplanmaktadır.

Tablo 2.1. *Deneysel çalışmaların temel basamakları*



Çalışmalar kapsamında öncelikli olarak henüz iniş yapmış ve temizlik ekibi çalışmaları başlamayan yolcu uçaklarında kabin içerisinden mikrobiyolojik örneklemeler yapılmıştır. Tercih edilen uçaklar büyük oranda dış hatlardan gelen uçaklardan seçilmiş ve mümkün olduğu kadar çok yüzeyden örnek alınmaya çalışılmıştır. Coğrafi bölge ve patojen miktarı/türü tespitinin yapılmasının ardından kabin içerisinde büyük oranda kullanılan kompozit kaplama malzemesinin (prepreg) kürlenme işlemi için kullanılacak olan antimikrobiyal malzeme hazırlanmıştır. Numune alınan uçakların geldiği ülkeler Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.

Belirli oranlarda (ihtiyaca göre) hazırlanarak bakteriyel inaktivasyonu en üst düzeyde tutacak şekilde oluşturulan reçetenin hazırlanmasının ardından, kürlenme işlemi olmaksızın antibakteriyel olduğu düşünülen malzemenin zon inhibisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Kürlenme işlemi için kullanılacak nihai ürünün elde edilmesi sonrasında çeşitli karakterizasyon testleri de gerçekleştirilerek prepreg malzemesine uygulanmış ve Federal Havacılık Düzenlemeleri, Kısım 25’te belirtilen testlere uygunluk testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1. Kabin içi Mikrobiyolojik örnekleme gerçekleştirilen uçakların kalkış yaptığı ülkeler (Mapchart.net uygulaması kullanılarak hazırlanmıştır.)

Mikrobiyolojik tespit yöntemleri, geleneksel yöntemler ve diğer yöntemler olarak temel olarak 2 grup altında incelebilmektedir. Geleneksel yöntemler temel olarak koloni veya hücre sayımına veya sıvı ortamdaki bulanıklığına (NTU) dayanmaktadır. Kültürel sayım yöntemleri çeşitli metotlarla gerçekleştirilebilmektedir. Belirli bir hacimde mikroorganizmanın bulunduğu sıvı örneğin katı besi ortamı yüzeyine yayılması ile gerçekleştirilen sayım yayma yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu metot ile küçük hacimlerde inokülasyon yapılabilmesi numunenin temsil yeteneğini azalttığından çok sayıda örnekleme yapılmalıdır. Yöntem ayrıca kontaminasyon olasılığı görece yüksek olduğundan aseptik koşulların yeterince sağlanmış olması bir zorunluluktur. Dökme plak yönteminde ise belirli hacimde mikroorganizma içeren çözeltinin henüz sıvı haldeki besi ortamına katılmasından aktarılması (≈ 45 °C sıcaklığa kadar) ve karıştırılması olarak tanımlanabilmektedir. Yayma yapılmadan küçük hacimli bir örneğin katı besi ortamında damlatılması ve besiyerinin örneği emmesi sonucu birkaç cm çapında sayım yapılarak mikroorganizma sayısının belirlendiği yöntem damlatma yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu metot yaygın bir kullanımı olmamakla beraber tez çalışmaları kapsamında da tercih edilmemiştir. Bunun yerine birkaç farklı prensibe dayalı yöntem kullanılarak tür ve sayı belirlemeleri yapılmıştır.

Mikrobiyal unsurların metabolik aktivitelerinin belirlenerek ölçülmesi, bulundukları ortamın elektriksel iletkenliğiyle ilgili olduğundan ortam impedansının saptanması ile düşük hücre sayılarına kadar belirleme yapılabilir.

Maliyet ve zaman konusunda neredeyse en avantajlı yöntem olan mikroskopik sayım yöntemleri yaşayan hücreleri, inaktive olmuş hücrelerden ayıramaması sebebiyle birtakım dezavantajlara sahiptir. Mikroorganizmaların boyutları düşünüldüğünde birçok mikroorganizmanın sayımı neredeyse imkânsız olduğundan, kan hücreleri ve maya hücreleri gibi büyük yapıların sayılması için daha uygun bir yöntemdir. Thoma ve Howard lamı gibi bölümlere ayrılmış yüzeylerde ışık mikroskopu kullanılarak sayım yapılmaktadır.

Diğer sayım yöntemleri, membran kullanılarak, florometrik olarak, nükleik asit tanınması ile akış sitometrisi gibi analitik metotlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Mikroorganizmaların nitelik ve nicelik olarak belirli bir yüzey ve ortamda tespit edilmeleri amacıyla birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar, temel olarak doğrudan ve dolaylı yöntemler olarak literatürde geniş yer bulmakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisi bu anlamda da birçok ilk barındırmaktadır.

HACCP (Kritik Kontrol Noktaları ve Risk Analizleri / Hazard Analysis and Critical Control Point) kavramı ilk olarak 1960'lı yıllarda Birleşik Devletler Uzay Programı kapsamında, Pillsbury şirketi, NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi/National Aeronautics and Space Administration), Birleşik Devletler Ordusu ve Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri Uzay Laboratuvar Proje Grubu tarafından gıda güvenliği metodolojisi olarak ortaya çıkmıştır. Bu metodoloji 2001 yılında FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi/U.S. Food and Drug Administration) tarafından yayınlanan Food Code isimli bildiride “Gıda ürünlerinin güvenliğinin belirlenmesindeki en etkili ve verimli yol” olarak tanımlanmıştır.

Kabin içerisinde yiyecek-içecek servisinin olması, çok sayıda yolcunun kısıtlı bir alanı kullanmak durumunda kalması, uluslararası uçuşlarda coğrafi olarak bazı bölgelerden daha fazla mikroorganizma ile kontaminasyon risklerinin bulunması sebebiyle örneklemeler kabin içerisinde çok sayıda noktadan yapılmıştır. Bu alanlar;

- Koltuklar
- Güneşlikler
- Yan duvar kaplamaları
- Uçak içi eğlence ekranları
- Havalandırma kanalları
- Kapı kolları
- Mutfak alanı
- Servis tepsileri
- Pencereler
- Emniyet kemerleri
- Kol dayama bölgesi
- Dergiler
- Tuvalet
- Kokpit
- Koltuk cepleri

Olarak belirlenmiştir.

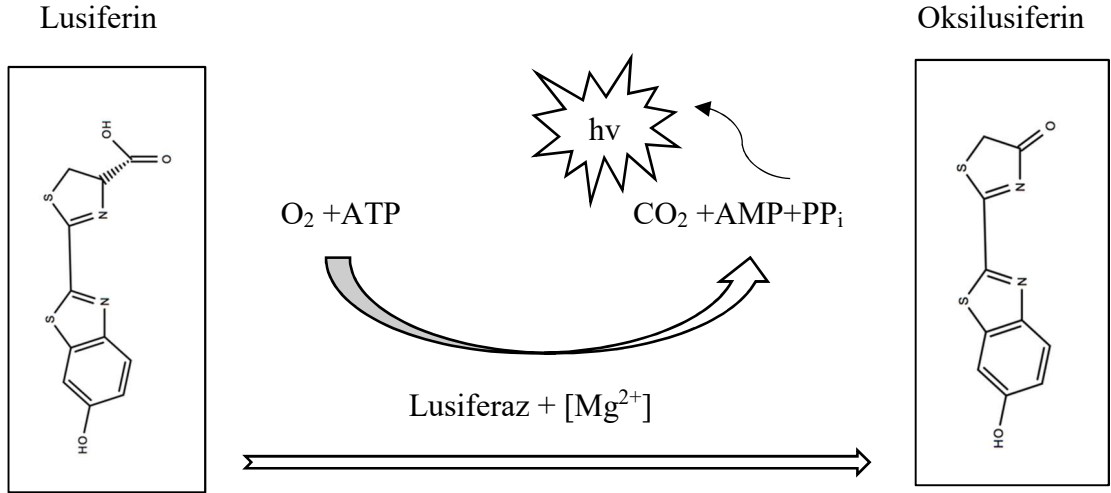
2.2. Materyal Metot

Kabin içerisindeki mikroorganizmaların nitel ve nicel analizlerinin gerçekleştirilmesi için ATP (Adenozin trifosfat) biyoluminesans ölçümü, swab çubukları ile belirtilen noktalardan alınan örneklerin seçici besi ortamlarına inokülasyonu, bazı gıda patojenlerinin belirlenebilmesi için MDS (Molecular Detection System/Moleküler Tanılama Sistemi) yöntemleri uygulanmıştır.

2.2.1. ATP Biyoluminesans ölçümü ile biyomas tespiti

Hızlı mikrobiyolojik tanı yöntemleri, mikroorganizmaların biyokimyasal reaksiyonlarının seçici besi ortamlarında izlenebilmesi, hücrelerin immünolojik özelliklerinin belirlenmesi, genetik olarak saptanması gibi metotlarla gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında ATP biyoluminesans ölçümü tercih edilmesinin sebebi sahada en kolay ve en hızlı sonuç alınabilecek yöntem olmasıdır. Bu yöntem temel olarak oksijenli ortamda, lusiferinin ATP ile katalizör olarak lusiferaz enzimi ve Mg^{2+} varlığında meydana gelen reaksiyon ile ışık oluşumu ve bunun ölçümüne dayanmaktadır. (McElroy, 1951, s. 547-557) Bu yöntem ile yaklaşık olarak 10^{-12} g/ATP hassasiyetle ölçüm gerçekleştirilebilmektedir. Bu da yaklaşık 1 ATP' nin oluşturabileceği ışık miktarına karşılık gelmektedir.

ATP nin yeryüzündeki tüm canlılar için yaşamsal bir bileşen olması ve hücrenin ölümü ile ortamdan hızlı bir şekilde yok olması, onun çok küçük sayıdaki canlı hücrelerin dahi tespit edilmesi için kullanılabilmesini sağlamıştır. ATP, metabolik reaksiyonlarda neredeyse her zaman kullanılan bir enerji kaynağıdır. ATP ilk olarak lusiferaz enzimini substrat olan lusiferine bağlamaktadır. İkinci aşamada ise tepkimeyi yürüten enerji, genel olarak ışıma reaksiyonlarında olduğu gibi oksidasyondan kaynaklanmaktadır. Reaksiyon; $Lusiferin + Lusiferaz + ATP + Mg^{2+} \rightleftharpoons Lusifeiladenilat - lusiferaz + pirofosfat$ $Lusifeiladenilat - lusiferaz + O_2 \rightleftharpoons Lusiferaz + oksilusiferin + AMP + Işık + CO_2$ Şeklinde ifade edilebilir. Reaksiyon şematik olarak şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. ATP biyoluminesans ölçümünde gerçekleşen kimyasal reaksiyon ve ışık oluşumu

Çalışmalar kapsamında ATP biyoluminesans ölçümleri için 3M™ Clean-Trace™ Luminometre cihazı ve 3M™ Clean-Trace™ yüzey swab çubukları kullanılmıştır.



Şekil 2.3. ATP ölçümleri için kullanılan cihaz ve swab çubukları

Yüzeylerden numune, düz bölgelerden 10cmx10cm boyutunda bir alan içerisinde alınmış, düz olmayan alanlarda ise 10 saniye boyunca örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Tüpün içerisine alınan swab çubuğu yaklaşık 5 saniye çalkalanıp ATP ölçüm cihazının içerisine alınmıştır. Sonuçlar uçağın geldiği yer (bazı uçaklarda), numune alım noktası ve RLU (relative light unit, bağıl ışık birimi) olarak kaydedilmiştir.

HACCP tabanlı sistemler, Kodeks Alimentarius komisyonu tarafından belirtilen uluslararası onaylanmış prensip ve kurallara uygundur. Kritik kontrol noktaları, gıda ürünlerinin hazırlanmasında, üretilmesinde, paketlenmesinde ve servis edilmesinde karşılaşılabilecek tehlike noktalarını ifade etmektedir. Uçaklarda yolcular için

yiyeceklerin hazırlandığı mutfak (galley) alanlarının bu kapsamda değerlendirilmesi gerekmektedir. Kabin içerisinde yiyecek malzemelerinin hazırlandığı bu bölgelerde polisakkarit yapıda biyofilm oluşması temizleme sürecini uzatmakta ve mikroorganizmaların inaktive edilme başarısını azaltıcı bir etkiye neden olmaktadır.

Bildirilen gıda kaynaklı salgınlar büyük oranda yüksek sıcaklıkla ilişkilidir. Gıda malzemelerinin hazırlanması ile ilgilenen kişilerin hijyen koşullarına uyum sağlayıp sağlamaması da bu riskleri beraberinde getirebilmektedir. Bu anlamda ATP sistemleri HACCP kapsamında gıda üretim, dağıtım vb. süreçlerde ATP ölçüm yöntemini sıklıkla tercih etmektedir. Analizlerin anlık olarak alınabilmesi, doğruluk konusundaki dezavantajlarının şimdilik önüne geçmekte ve tercih edilmektedir. Koloni oluşturan formların sayımı gibi genel mikrobiyolojik çalışmalar deneysel doğruluklarının yüksek olmasına rağmen, inkübasyon sürelerine, cihazlara, çeşitli ekipmanlara, çok miktarda sarf malzemeye ve nitelikli iş gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu durum, hızlı ve hassas ölçüm metotlarının kullanmasını zorunlu kılmaktadır.

Geleneksel mikrobiyolojik sayım metotları (Aerobik sayım metotları) görsel bir doğrulama ile sonuçlandırılan testlerdir. Laboratuvarlarda yaklaşık olarak 24-48 saatlik bir çalışma süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre büyük oranda mikroorganizmaların gözlenebilecek büyüklükte koloni oluşturmaları için gereken süre olarak açıklanabilmektedir. ATP ölçümüyle koloni sayım yöntemlerinden farklı olarak virüs gibi farklı nitelikteki mikroorganizmaların varlığı da izlenebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalarda, ortamdaki gıda kirliliğinden kaynaklı ATP ölçümleri, potansiyel mikrobiyolojik kontaminasyonun da ölçüleceği şeklinde yorumlanmıştır. Ancak gerçek anlamda mikroorganizma sayısından ciddi sapmalara neden olabilmesi nedeniyle, anlık risk analizinin gerçekçi olmadığı konusunda da çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

ATP ölçümü ilk denemelerde, numune alma noktaları olarak ifade edilen tüm bölgelerde gerçekleştirilirken, sonraki çalışmalarda genelde servis tepsileri, mutfak alanı ve lavabolarda ölçümler yapılmıştır.

2.2.2. Koloni sayım yöntemleri

Mikroorganizmaların kantitatif olarak belirlenmeleri için koloni sayım yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle tekstil ve plastik ürünlerinin antibakteriyel etkinliğinin sayısal olarak belirlenebilmesi amacıyla çeşitli standartlar bulunmaktadır. Tüm standartlar malzemenin özellikleri, indikatör organizmanın türü, inkübasyon

sıcaklıkları gibi parametreler dikkate alınarak uygulanmaktadır. Havacılık endüstrisinde kullanılan malzemeler çok çeşitli ve birbirinden farklı özelliklere sahip olduğundan mevcut standart metotlar sistem etkinliğini reel olarak en fazla gösterecek şekilde güncellenmelidir. Çalışmalar kapsamında ASTM 2149-13 ve JIS L 1902 antibakteriyel etkinlik izleme metotları değerlendirilmiş ve malzeme türüne göre uygun geliştirmeler gerçekleştirilmiştir. Temel olarak neredeyse tüm antibakteriyel-antimikrobiyal etkinlik ölçüm analizleri; incelenecek malzeme, gaz, sıvı veya aerosol gibi bir mobil faz ve deney mikroorganizmasına ihtiyaç duymaktadır. Bunun dışındaki farklılıklar genel olarak, uygulama ve/veya inkübasyon süresi, indikatör mikroorganizma türü/serotipi, deneye alınan malzeme boyutu/ağırlığı, inoküle edilen sıvı hacimleri gibi değişkenlerden meydana gelmektedir.

Geleneksel mikrobiyolojik sayım metotlarından olan koloni sayım yöntemleri, genelde mikroorganizma sayısının belirli oranlarda seyreltilmesi ile besi ortamına ekim yapılarak belirlenmektedir. Tez çalışmaları kapsamında indikatör besi ortamlarına kabin içerisinden alınan örnekler seyreltilerek veya doğrudan inoküle edilmiştir.

Bakteri veya küf hücrelerinin(sporlarının) sayımında kullanılan en basit metot, örneğin 1mL veya gramında bulunan koloni oluşturan birimlerin (CFU) tespit edilmesidir. Bunun incelenecek örnek için belirli bir seri dilüsyon hazırlanmaktadır. Hazırlanacak dilüsyon örneği sayısı mikroorganizma yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Numunelerden katı besi ortamına ekim yapılmasının ardından inkübasyon süresi başlamaktadır. Sayım yapılacak petrillerdeki koloni sayılarının istatistiksel doğruluğu arttırmak amacıyla 30 ila 300 birim arasında olanlardan tercih edilmesi gerekmektedir. Sonrasında sayım yapılarak ilk örnekteki mikroorganizma miktarı hesaplanmaktadır.

Çalışmalar kapsamında mikrobiyolojik örneklemeler sahada yapıldığı için 1ml, 5ml ve 10ml hazır çözelti içeren swab örnekleyiciler kullanılmıştır. Böylece dilüsyon çözeltileri hazırlanırken meydana gelen kontaminasyon riski de büyük ölçüde azaltılmıştır. Bunun dışında yüzey örneklemeleri için kullanılan numune alma süngeri ise 10 ml'lik tamponlanmış peptonlu su veya aynı hacimde nötralize çözelti içerden ürünler ile gerçekleştirilmiştir. Hava örnekleme cihazında kullanılan jelatin membranlar için 90 ml lik seyreltme sıvısı içeren şişeler kullanılmıştır. Ancak güvenlik engellerinden dolayı kabin içerisinde hava örnekleme işlemi gerçekleştirilememiştir.



Şekil 2.4. Yüzey numunelerinde kullanılan sünger ve pamuklu swab çubukları

Yolcu uçakları kabin içerisinde gerçekleştirilen testler sırasında takip edilen indikatör mikroorganizmalar; *Esherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, çevresel *Listeria*, *Salmonella sp.*, toplam canlı (aerobik), koliform ve maya küf olarak belirlenmiştir (İndikatör seçimi detaylı olarak açıklanacaktır).

2.2.3. RLU (Relative light unit) ve CFU (colony forming unit) arasındaki ilişki

Herhangi bir yüzeyde bulunan mikroorganizma türleri ve sayısı çeşitli mikrobiyolojik yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. En çok kullanılan yöntemlerden biri olan canlı koloni sayımı ile test edilen yüzey alanı başına koloni oluşturan birin sayısı bulunabilmektedir. ATP ölçümleri ise Adenozin trifosfat'ı diğer biyolojik ATP kaynaklarıyla birlikte ele almaktadır. Dolayısıyla numune alınan bölgedeki temizlik ölçüsü olarak RLU'dan söz edilebilmektedir. RLU ve CFU değerleri birbirinden farklı test yöntemleri kullanılarak belirlendiğinden, çevresel bir yüzeyi test ederken CFU ve RLU cinsinden benzer bir sonuç yakalamak mümkün değildir. Ancak, çalışmalar sırasında mevcut kirliliğin saptanması için, ortamdaki kirliliğin mikroorganizma üremesine katkı sağlayabileceği düşünülerek ATP ölçümü de gerçekleştirilmiştir.

Ayçiçek ve ark.'a göre kirli yüzeylerde ATP sonucu, CFU sayım yöntemlerine göre daha yüksek oranda bir kirlilik varlığını ifade ediyorken, temiz yüzeylerde CFU sayımlarının benzer bir davranışta olduğu ve RLU sonuçlarından daha yüksek rakamlara ulaşıldığı gözlenmektedir (RLU' nun CFU cinsinden ifade edilmesi durumunda). (Ayçiçek, Oğuz ve Utku, 2006).

Enterobacteriaceae'yı oluşturan büyük ve en önemli cinslerden biri olan gram negatif basiller genellikle tek mikroorganizmadan koloni oluşturabilmektedir

(kümeleşmeyi teşvik eden herhangi bir durum olmadığı durumlarda). Klinik anlamda önemli olan koksı yapıda mikroorganizmalar ise (*Streptococcus* ve *Staphylococcus*) ayrı ayrı yumaklar veya zincirler halinde çoğalabilmektedir. Bu anlamda her bir koloniyi oluşturan hücre sayılarının 20'ye kadar ulaşması mümkündür. Bu durum ATP ve CFU verilerinde sapmalara neden olabilmektedir. Örneğin hücre sayısının önemli olduğu ATP ölçümü ile 10^4 değeri alınmasına rağmen gerçekte oluşturduğu koloni sayısı 10^3 olabilmektedir. Farklı türlerin sayısı, Lag fazı, logaritmik büyüme fazı ve durağan faz gibi mikroorganizma büyüme evreleri de ölçüm sonuçlarını etkileyebilmektedir.

Biyolüminesans yöntemi, gıda, sağlık endüstrisinde, çevresel hijyen tespitinde, dezenfeksiyon ve temizlik etkinliğinin belirlenmesi gibi konularda kullanılmaktadır. Bu kapsamda ATP ölçümüne dayalı yapılan bu analizler, yöntemin önemli sınırlamaları nedeniyle yaygın olarak uygulanamamaktadır. Özellikle sağlık kurumlarında yüzey temizliğinin değerlendirilmesinde ATP tabanlı metotların tercih edilmemesi, yüzeylerde/ortamlarda beklenen mikroorganizma sayısının çok düşük olmasıdır. Az sayıdaki mikroorganizma biyolüminesans sinyaline dönüşecek ATP miktarını da sınırlayacağından yüksek doğrulukla çalışma yapılamayacaktır.

Tez çalışmaları kapsamında yan paneller gibi göreceli olarak temiz bölgelerden ve mutfak gibi biyomas miktarı daha fazla olan bölgelerden alınan numunelerin RLU ve CFU değerlerinin karşılaştırılması da çalışılmıştır.

2.2.4. Mikroorganizma türlerinin moleküler tayin sistemiyle tespiti edilmesi

Moleküler tanılama sistemleri yüksek özgüllük, verimlilik ve hızlilik ile nükleik asit sekanslarının izotermal amplifikasyonunda kullanılmaktadır. Nükleik asitlerin türe özgü bölgelerindeki biyolüminesans etkilerinden faydalanılarak tanı koyma anlamında doğruluğu oldukça yüksek bir analiz metodudur. Sistem etkili, özgül, basit bir nükleik asit amplifikasyon tekniği olarak bilinen ve literatürde geniş yer bulan döngü aracılı izotermal dna amplifikasyonu (LAMP) ve biyolüminesans tespiti prensibiyle çalışmaktadır.

Polimeraz zincir reaksiyonunda (PCR) DNA'nın kopyalanması döngülerle sınırlı olacak şekilde gerçekleşmektedir. Ortamda inhibitörlerin bulunması PCR sürecindeki etkinliği engelleyebilmektedir. Bu durum eksik amplifikasyon ürünlerine dolayısıyla hedef organizmanın saptanmasına engel olmaktadır. Denatürasyon basamağında süreç birçok inhibitörün müdahalesine açık hale gelmektedir. Ayrışma olmaksızın sürekli tek

sıcaklıkta gerçekleşen LAMP, PCR yöntemine göre bu anlamda daha güvenli olarak analiz sonuçları vermektedir. Analizler için 3MTM marka moleküler tanılama sistemi (MDS) cihazı ve indikatör kitleri kullanılmıştır.

Çalışmalar kapsamında uçak kabinlerinde bulunan mutfak alanlarındaki düz yüzeylerden alınan numunelere standart uygulama yönteminin çalışmaya uygun olarak geliştirilmesiyle MDS analizleri gerçekleştirilmiştir. İndikatör olarak *Listeria*, *Salmonella*, *E. coli* O157 gıda patojenleri tercih edilmiştir.

2.2.5. Antibakteriyel etkinlik testleri (Tekstil)

Kabin içerisinde mikrobiyolojik kontaminasyonların ortaya çıkmasında önemli etkenlerden biri de uçak koltuklarıdır. Bu amaçla koltuk kumaşlarında çeşitli antibakteriyel uygulamalar çalışılmaktadır.

Yolcu uçakları koltuklarında genellikle yünlü kumaş veya deri malzemeler tercih edilmektedir. Bu durum hem yanma dayanımını arttırmakta hem de dayanıklılık anlamında avantaj sağlamaktadır.

Yünlü kumaşlar ve bu kumaşlara uygulanan antibakteriyel uygulamalar uzun süredir çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu malzemeler ürüne uygun standart metotlarla test edilmekte ve en az %99 oranında (genellikle) mikroorganizma giderimine sahip olmaları beklenmektedir.

2.2.5.1. Örnek uygulamalar

Çalışmada üç farklı mordanla boyadıkları %100 yünlü kumaşları *Chamaecyparis lawsoniana* (Lawson yalancı servisi)'dan ekstrakte ettikleri doğal boya ile boyamışlardır. Elde edilen kumaşların antibakteriyel testlerini ASTM 2149 metoduna göre gerçekleştirmişlerdir. Antibakteriyel aktivite tespit edilmemiştir Kılınç vd., 2015).

Söz konusu çalışmada, yüne εPL'yi kovalent bağ yaptırarak antibakteriyel aktivite elde etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla, farklı bağlama yaklaşımları denenmiş ve dayanıklı fonksiyonelleştirme elde edilmeye çalışılmıştır. 1:1 ribana 230 g/m² örme %100 yünlü kumaş kullanılmıştır. Antibakteriyel testler ASTM 2149-10 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Başlangıçtaki bakteri konsantrasyonu 1,5-3,0x10⁵ CFU/ml olacak şekilde ayarlanmıştır. Testler *E.coli* ve *S.aureus* bakterilerine karşı gerçekleştirilmiştir. Kabul edilebilir antibakteriyel aktivite için en az %60 azalma olması gerektiği ön kabul olarak alınmıştır. Her iki bakteriye karşı da yıkama dayanımı olan (5 ve 20 yıkamaya)

antibakteriyel etki elde edilmiştir. Yıkamada kullanılan non-iyonik yüzey aktif maddenin de antibakteriyel aktivite üzerinde etkisi olduğunu bulmuşlardır (Kaisersberger-Vincek vd., 2017).

Doğal bir antibakteriyel madde olan kapsaisini yünlü kumaşlara sol-jel yöntemi ile kaplamışlardır. Kaplanmış kumaşların antibakteriyel özellikleri, AATCC ve ASTM E2149-01'e göre *Escherichia coli*'ye karşı değerlendirilmiştir. Kontrol grubu (kapsaisin içermeyen sol-jel kaplı kumaş) ile karşılaştırıldığında, kapsaisin kaplı kumaş, 37 °C'de 24 saat inkübasyondan sonra belirgin bir şekilde antibakteriyel aktivite göstermiştir. Çalışmada yıkama sonrası antibakteriyel aktivite de test edilmiştir. Sol-gel kaplama yöntemi ile kapsaisinin kaplanmış kumaşın yıkama dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Genus capsicum'dan türetilmiş renksiz bir kristalli bileşik olan kapsaisin (N-vanillyl-8-methyl-6-(E)-noneamide) şili biberinin aktif bileşenidir. Kapsaisinin kimyasal yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Kapsaisin, ağrıyı ileten bir nörokimyasal olan P- maddesini azaltır ve sonuç olarak duyuusal sinir uçlarını paradoksik bir antinosiseptif etkiyle duyarsızlaştırır. Bu nedenle, normalde, periferik nöropati, herpes ve artrit ağrısını hafifletmek için paradoksik bir tahriş azaltıcı ve topikal analjezik olarak kremlerde kullanılır. Son zamanlarda, kapsaisin antibakteriyel özelliğe de sahip olduğu bulunmuştur.

Kapsaisin için teknelerde kirlenme önleyici, tarımda pestisit ve kablolarda hayvan ısırıklarına karşı kullanımı gibi uygulama önerileri bulunmakla beraber endüstriyel anlamda bir kullanımı yoktur. Tekstil ürünleri ile ilgili ise herhangi bir uygulama alanı bulunmamaktadır. Bu çalışmada, silika matriks kapsaisini kapsülleyerek sol jel yöntemi ile yünlü kumaşa kaplama amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmada 245 g/m² interlok boyanmamış yünlü kumaş kullanılmıştır (sıra sayısı 12, çubuk sayısı 10). Cilde temas edecek örme kazakların kumaşlarında çekmezlik bitim işlemi kullanıldığından lif aşamasında klor-Hercosett ® çekmezlik bitim işlemi uygulanmıştır.

Çalışma kapsamında hazırlanan silika sol jel içerisinde farklı oranlarda kapsaisin (TIPC, CAS, %99 saflıkta) çözölmüştür. 0,01 ve 0,04 mol/l konsantrasyonlar hazırlanmıştır. Bunlar ağırlıkça %1,1 ve %3,7 kapsaisine eşittir. Etanol ile yıkanan yünlü kumaşlar (20x20 cm) 30 ml'lik sol jel solösyonuna daldırılmıştır. 15 dakika bekletildikten sonra pick up %100 olacak şekilde fulardan geçirilmiştir. 48 saat sererek kurutma yapılmıştır. Uygulama hem kapsaisin içeren hem de içermeyen sol jel solösyonları ile

gerçekleştirilmiştir. Antibakteriyel aktivite testleri ilk olarak E.coli bakterisine karşı AATCC Parallel Streak Method'a göre yapılmıştır. Daha sonra ASTM 2149 metoduna göre de test gerçekleştirilmiştir. Temas süresi olarak 4, 6 ve 18 saat seçilmiştir. FTIR analizlerinde 1655 cm⁻¹ piki amid gruplarından kaynaklanmaktadır.

Buna göre kumaş yüzeyindeki kaplamanın $\text{—}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{—}$ kısımlarını içerdiği tahmin edilmiştir. Bu da kapsaisinden gelmektedir. Yıkamadan sonra da bu pikler kaybolmamıştır. Bu da kapsaisinin yıkama dayanımı olduğunu göstermektedir. Bunun sebebinin silikada bulunan küçük gözeneklerin (2 nm'den küçük) kapsaisin moleküllerinin yıkama sırasında hızla salınmasını engellemesinin olduğu belirtilmiştir (Liu vd., 2012).

Bu çalışmada gümüş nanopartiküllerin deri ile temas etmelerinin tehlikeli olması nedeniyle bir polimer içerisine yerleştirilmelerinin yan etkilerini azaltacağını ifade ettikleri çalışmalarında çok fonksiyonlu ligand gibi davranan gümüş nanopartikülleri yün lifinin içinde sentezlemişlerdir. Biyolojik bir lipit olarak lesitin, gümüş iyonlarının yüne difüzyonunu arttırmak ve nano gümüş uygulanmış yünün sitotoksitesite etkilerini azaltmak için kullanılmıştır. Lesitin varlığı, nano gümüş salınım oranını azaltarak spesifik öldürücü katsayının (specific coefficient of lethality) azalmasına neden olur. Yün üzerinde sentezlenen gümüş nanopartiküllerin ekstre edilmiş çözeltisi, L929 fibroblast hücrelerinin morfolojisini de değiştirmemiştir.

Yün lifleri, farklı yüklü organik veya inorganik madde türlerine bağlanabilen asidik amino asitlerin yan zincirinde polar ve iyonize edilebilir gruplar içerir. Bu eşsiz özelliğin varlığı, onları metal iyonlarının seçimli bağlanması için ideal kılmaktadır. Bu nedenle, çok işlevli ligandlara sahip yün lifi, metal nanopartiküllerini oluşturmak için uygun bir alan olabilir. Bu çalışmada, kalıcı özellikte yün liflerinin içinde gümüş nanopartikülleri sentezlemek amaçlanmıştır. Lesitin, sulu fazda lipozom oluşturan yüzey aktif biyolojik lipidlerdir ve antibakteriyel maddenin sitotoksitesitesini azaltan ilaç taşıyıcı sistem olarak kullanılırlar. Bu çalışmada, lesitin yün liflerine gümüşü aktarmak ve stabilize etmek için kullanılmıştır. gümüş nano tanecikleri ile yüklü yünün sitotoksitesitesini düşürmek ve stabilize etmek için kullanılmıştır.

262 g/m² bezayağı dokuma yünlü kumaşlar ilk olarak non-iyonik deterjan ile yıkanmıştır. Gümüş nitrat lesitin süspansiyonu 1:40 banyo oranında 1 saat süreyle 25 °C'de uygulanmıştır. Gümüş konsantrasyonu 400 ppm, Lesitin/gümüş oranları da 0, 0.2, 1 ve 2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Kumaşlar indirgeme ajanı banyosuna alınmıştır

banyo oranı 1:60, işlem süresi 20 dak). İndirgeme ajanı konsantrasyonu yün tarafından absorbe edilen tüm Ag⁺ iyonlarının Ag'ye indirgenmesi için yüksek tutulmuştur. Buna ilave olarak indirgeme ajanının fazla olması daha fazla nuclei oluşturur bu da daha küçük gümüş nanopartikül oluşmasını sağlar. Kumaşın rengi kahverengiye dönmüştür.

Gümüş miktarı su soğutmalı aksenel plazmalı ICP-OES ile belirlenmiştir. Bulunan gümüş nanopartiküllerin miktarını bulmak için her örneğin su içeriğini hesaplamak gerekli olduğundan bu sistem gereklidir. Yaklaşık 0.5 g kumaş numuneleri porselen kroze içine konulur ve 1 saat boyunca 105 °C'de kurutulur. Daha sonra desikatörlerde soğutulur ve tartılır. Bundan sonra, kurutulmuş yün numuneleri içeren krezeler kapaklı olarak fırında yakılır. Sıcaklık 1 saat içinde 25 °C'den 650 °C'ye çıkarılır ve 2 saat süreyle 650 °C'de yakma işlemine devam edilir. Yanmış örnekler desikatör içinde soğutulur ve kül ağırlığı kaydedilir. Son olarak, porselen kaplara 1 ml sıcak konsantre nitrik asit ilave edilerek gümüşün çözülmesi için 1 saat beklenir. Hacim, distile su ile 10 ml'ye tamamlanır ve Ag içeriği ICP-OES ile ölçülür. Ölçümler her örnek için 3 kez tekrarlanarak ortalamaları rapor edilir.

Antibakteriyel aktivite ilk olarak agar difüzyon testi ile belirlenmiştir. Bu test AATCC 147-2004'ün modifiye edilmiş bir versiyonudur. İnhibasyon zonu ölçülmüştür. Kantitatif test ise AATCC 100-2004 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.

Dairesel örnekler (çap = 4.8 ± 0.1 cm) hazırlanır. Her bir örnek ayrı ayrı steril 250 ml'lik Erlenmeyer şişesine yerleştirilir, 1 ml bakteriyel süspansiyonla (10⁷ CFU / ml) inkübe edilir ve alüminyum folyo ile kaplanır. Uygun maruziyet süresinden sonra (0, 0.5, 1, 2, 4 ve 6 saat), %1 sodyum tiyosülfat (Na₂S₂O₃), %0,6 sodyum tiyoglikolat (HSCH₂COONa) ve %0.1 polisorbata 80 (w/v) içeren 100 ml yıkama solüsyonu kalan antibakteriyel etkiyi nötralize etmek için inoküle edilmiş örneklerle ilave edilir ve 25 °C'de 30 dakika karıştırılır. Toplam bakteri sayısı, seri seyreltme ile ve caso-agar ortamı kullanılarak pour plate metodu ile belirlenir. İşlem görmüş örneklerin bakterisidal ve bakteriyostatik antibakteriyel etkinliği aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır:

$$K\%(\text{Bactericidal efficiency}) = \frac{A - B}{A} \times 100$$

$$R\%(\text{Bacteriostatic efficiency}) = \frac{C - B}{C} \times 100$$

(2.1)

A: 0. Temas süresinde işlem görmemiş test numunesinden (kontrol numunesi) elde edilen bakteri sayısı,

B: 6 saat temas süresinden sonra işlem yapılmış yünlü kumaş numunesinden sayılan bakteri sayısı

C: 6 saat temas süresinden sonra kontrol örneğinden sayılan bakteri sayısıdır.

Spesifik öldürme katsayısı (specific coefficient of lethality) Chick-Watson eşitliği kullanılarak hesaplanır:

$$\frac{dN}{dt} = -KC$$
$$\ln \frac{N}{N_0} = -K Ct \quad (2.2)$$

N: t zamanında çözeltinin mililitresi başına CFU sayısıdır

N₀: testin başlangıcındaki çözeltinin mililitresi başına CFU sayısıdır

C: yün kumaşta sentezlenen gümüş nanopartikül konsantrasyonu

K: Spesifik öldürme katsayısıdır.

Çalışmada kullanılan lesitin oranı arttıkça bağlanan gümüş miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Hiç lesitin kullanılmayan numunede %60,73 olan bağlanma verimliliği %2 lesitin kullanıldığında %68,48'e çıkmıştır. Antibakteriyel aktivite lesitin oranı arttıkça düşmüştür. Lesitin gümüş salınım hızını düşürdüğünden bu sonuç ortaya çıkmıştır. Öte yandan lesitin oranı arttıkça yıkama dayanımı da artmıştır (Barani vd., 2012).

Bu çalışmada araştırmacılar biyokimyasal indirgeme metodu ile gümüş nanopartikül sentezlemiş ve yünlü kumaşlara uygulamışlardır. Gümüş nitrattan sentezlenen gümüş nanopartiküller için nar kabuğundan ekstrakte edilen boya, indirgeme ajanı olarak kullanılmıştır.

Punica granatum L. (nar) Punicaceae ailesine aittir ve önemli miktarda tanen içerir. Pomegranate peel (nar kabuğu) içindeki ana renklendirici madde, N-metil-granatonin alkaloid formunda bulunan granatonin'dir. Ek olarak, flavonoid ve tanenlerin bolluğu ile nar kabuğu ekstraktının yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak nar kabuğu tozlarından boya ekstrakte edilmiştir. Gümüş nitrat solüsyonu ve boya solüsyonu farklı oranlarda pH 8'e ayarlanarak karıştırılmışlardır. Yünlü kumaşlar önce nonyonik yüzey aktif madde ile işleme sokulmuştur. Gümüş

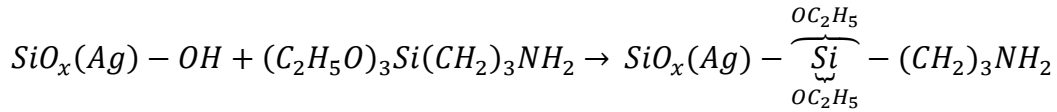
nanopartikül solüsyonunu pH değeri HNO₃ ile 5'e düşürülmüştür. Yünlü kumaşlar solüsyon ile 24 saat muamele edilmiştir. pH ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Kumaşların antibakteriyel testleri ATCC 100-2004 metoduna göre yapılmıştır. Solüsyondaki boya oranı arttıkça gümüş kapsüllendiğinden salınım oranı da düşmektedir. En iyi sonuç boya/Ag oranı=0,1'de elde edilmiştir (Boroumand vd., 2015).

Bu çalışmada plazma ışımasıyla aktive edilen yün lif yüzeylerine gümüş yüklü SiO₂ nano-antibakteriyel ajan uygulanması çalışılmıştır.

Antimikrobiyal etkinliğin ölçülmesinde indikatör olarak *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* mikroorganizmaları kullanılmıştır.

Yün ipliklerinin yüzeyine antibakteriyel malzemenin bağlanabilmesi için plazma ışıması yöntemi tercih edilmiştir. Bu süreçle yün yüzeylerindeki peptit zincirlerinden hidrojenin ayrılması gerçekleşmektedir.

Argon plazma ışıması gerçekleştirildikten sonra antibakteriyel malzeme ile kürlenmeden önce yün lifleri, yüzeyde oksit ve peroksit grupların oluşması için havaya maruz bırakılmıştır. Kütleme sırasında meydana gelen reaksiyon aşağıdaki gibidir.



Antibakteriyel etkinliğin ölçümü için, 0,75gr yün lifi 250ml'lik şişelere konulmuş 70ml PBS (fosfat tamponlu salin) çözeltisinde 1-2 x10⁴ cfu/mL bakteri kültürü hazırlanmıştır. 25°C de 300 rpm koşullarında 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon öncesi ve sonrasında numunelerden inokülasyon için 1er mL örnek alınmıştır.

Kütleme sonrasında malzeme üzerinde SiO₂ ve gümüş analizi EDS analizi ile tespit edilmiştir.

Nano SiO₂ malzeme içerisindeki gümüş oranının ICP-AES ile yapılan analizlerde kütlece %0.8 olduğu anlaşılmıştır.

Malzemenin antibakteriyel içerikle kürlenmesi için hazırlanan çözeltideki etken madde miktarının ve temas süresinin artması durumunda mikroorganizma inaktivasyonunun da orantılı şekilde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında çalışmada yıkanma dayanımları nihai ürün için araştırılmıştır. Ancak hiçbir örnekte log1'den (%90) fazla mikrobiyolojik inaktivasyon bulunmamaktadır (Xu vd., 2007).

2.2.5.2. ASTM E2149-13a

Bu çalkalamalı metot, dinamik temas koşulları altında bir bakteri süspansiyonunda, salınım yapmayan antimikrobiyal tekstiller için niceliksel bir test yöntemidir. Bu metot gözenekli veya gözeneksiz malzemelerin antibakteriyel etkinliklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, işlem görmemiş bir kontrol örneği ile karşılaştırılarak yüzdesel veya logaritmik azalma hesaplanmaktadır. Mümkün olsa da, bu yöntemde tekstillerin antibakteriyel etkinliği için sınır değerler belirtilmemiştir.

ASTM E2149-13a'ya göre, tekstil ürünlerinin antibakteriyel etkinliği *E. coli* (ATCC 25922) bakterisi kullanılarak belirlenir, ancak diğer uygun mikroorganizmalar da kullanılabilir. Bir antibakteriyel tekstil numunesi ve işlem görmemiş bir kontrol numunesi, bakteriyel bir çözelti içine yerleştirilir ve bir çalkalayıcı ile bir saat boyunca maksimum devirde çalkalanır. Alternatif temas süreleri, ürünün son kullanımına bağlı olarak kullanılabilir. Bakteri çözeltisinin konsantrasyonu başlangıçta (tekstil ile teması olmadan) ve temas süresinden sonra belirlenir. 18-24 saat 35 °C'deki inkübasyon süresinin ardından bakteri azalma yüzdesi hesaplanır. Antibakteriyel etkinliğe ek olarak, olası bir antimikrobiyal malzeme salınımı da tespit edilir.

Yöntem 1: Yalnızca inoküle edilmiş olan ve işlem görmemiş kontrol numunesinin yer aldığı şişelerden yapılan ekimlerde mikroorganizma sayısı farkının %15'ten az olması durumunda veya kontrol numunesinin bulunmaması halinde;

İşlem görmüş numunedeki (A) mikroorganizma miktarı doğrudan inokülasyon yapılmış şişeden (B) belirlenen temas süresi sonucunda yapılan ekim sonuçları ile karşılaştırılır. Sonuç Logaritmik (Log₁₀) veya % olarak ifade edilir.

$$\text{Azalım / Giderim} = \% \left(\frac{CFU}{mL} \right) = \frac{B-A}{B} \times 100$$

$$\text{Logaritmik (Log}_{10}\text{) Bakteri giderimi} = \text{Log}_{10}(B) - \text{Log}_{10}(A) \quad (2.3)$$

Yöntem 2: Yalnızca inokülasyon yapılmış şişe ve işlem görmemiş şişe arasındaki mikroorganizmanın sayısal farkının %15'ten fazla olması durumunda hesaplama işlem görmüş (A) ve işlem görmemiş (C) numune kıyaslanarak gerçekleştirilmektedir. Buna göre hesaplama aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\text{Azalım / Giderim} = \% \left(\frac{CFU}{mL} \right) = \frac{C-A}{C} \times 100$$

$$\text{Logaritmik (Log}_{10}\text{) Bakteri giderimi} = \text{Log}_{10}(C) - \text{Log}_{10}(A) \quad (2.4)$$

2.2.5.3. JIS L 1902:2015

Japon standartlarından JIS L 1902, antibakteriyel tekstil ürünlerinin etkinliklerinin ölçülmesinde sıklıkla tercih edilen yöntemler arasındadır. Bu metot, AATCC 100 metodu ile prensip olarak benzer olsa da deneysel anlamda birtakım farklılıklar içermektedir. En önemli farklılık olarak deneyde daha düşük besin miktarının kullanılması ve daha az transfer kontaminasyonları belirli ölçüde engelleyebilmekte ve metot ile deneysel doğruluk kontrol edilebilmektedir.

Metot ile indikatör olarak *Staphylococcus aureus* (MRSA dahil) ve *Klebsiella pneumoniae* bakterileri kullanılmaktadır ancak standart, *E. coli* veya *P. aeruginosa* mikroorganizmalarının da kullanılabileceğini belirtmektedir. Çalışmada *E. coli* tercih edilmiştir.

Numuneler 0,4 gr ağırlığında (tek parça) üç adet işlem görmüş ve altı adet işlem görmemiş örnek olacak şekilde kesilmiştir. Tercihe bağlı olan deney öncesi sterilizasyon işlemi tüm metotlarda olduğu gibi uygulanmıştır. Tüm numuneler hazırlanan kültür çözeltilisi ile 0,2 ml hacminde kontrollü olarak kontamine edilmiştir. Her bir örnek ayrı ayrı steril kapaklı şişelere alınmış daha sonra 37 ° C'de 18 saat inkübasyona bırakılmıştır. Bu aşamada üç adet işlem görmemiş numuneye inkübasyon öncesi 20 ml tamponlanmış su ilave edilerek vortex cihazında 5x5sn karıştırılmış ve 3 dilüsyon alınarak ekim yapılmıştır. Geriye kalan numunelere de inkübasyon süresi sonunda aynı işlem uygulanmıştır. Canlı kalan bakteri sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$M = P \times 20 \quad (2.5)$$

M: Canlı kalan bakteri sayısı (Şişedeki toplam koloni oluşturan birim: cob/20mL)

P: mL’de sayılan mikroorganizma sayısı

20: Karıştırma öncesi ilave edilen tampon çözelti hacmi (mL)

Sonuçlara göre mikroorganizma giderimi logaritmik ve % olarak değerlendirilmiştir.

2.2.5.4. AATCC100

Bu test metodu tekstil ürünlerinin (gözenekli yapıdaki) antibakteriyel etkinliklerinin ölçülmesi amacıyla kullanılan referans yöntemler arasındadır.

Analize alınacak numuneler dokuma yoğunluğu veya ağırlığa bakılmaksızın 4,8 cm (± 0.1 cm) çapında daireler şeklinde kesilip hazırlanmaktadır. Her numune için steril, 250 mL'lik kapaklı erlen kullanılmalıdır. Metot hidrofili özellikli tekstil ürünlerine uygulanabilmektedir. 1mL (± 0.1 mL) kültür çözeltisinin tamamını emebilecek kadar numune kullanılmalıdır. Bu durumda eğer 1 numune yeterli olmazsa rapor edilmek şartıyla daha fazla sayıda numune de kullanılabilir. Aynı malzemeden imal edilmiş ancak antibakteriyel bitim işlemi yapılmamış kumaş örneği kontrol numunesi olarak kullanılmaktadır.

Numunelerin inoküle edilmesinin ardından $t=0$ anında tüm örneklerle (bitim işlemi görmemiş kontrol numunesi, işlem görmüş test numunesi ve inokülasyon yapılmamış test numunesi) 100 mL ($\pm 0,1$ mL) nötrale tampon çözelti ilave edilmelidir. Bu işlemin ardından şişeler 1 dk boyunca aralıksız olarak çalkalanıp 3 serilik dilüsyonları (10^0 , 10^1 , 10^2) hazırlanmaktadır. Tüm dilüsyonlar kısa süre içerisinde katı besi ortamına transfer edilmektedir.

Yöntem ile inkübasyon koşulları $37\pm 2^\circ$ C ve 18-24 saat olarak belirlenmiştir. Bakterisidal etkinliğin daha net anlaşılabilmesi için ilave şişelerde farklı temas süreleri çalışılabilmektedir.

İnkübe edilmiş şişeler için de benzer şekilde 100 mL($\pm 0,1$ mL) nötrale tampon çözelti ilave edilip 3 seri dilüsyon ekimi gerçekleştirilmektedir. Tüm petriler $37\pm 2^\circ$ C'de 48 saat inkübasyona bırakılmalıdır.

Bakteri sayısı mL başına koloni oluşturan birim olarak değil (cfu/mL) şişelerdeki örnek başına mikroorganizma sayısı olarak hesaplanmaktadır. Hiç bakteri tespit edilmemesi durumunda (10^0 dilüsyon için) sayı <100 olarak kabul edilmelidir. Mikroorganizma giderimi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\frac{100(B-A)}{B} = R \quad (2.6)$$

R: % giderim

A: İnoküle edilmiş, antibakteriyel bitim işlemi yapılmış numunelerden inkübasyon süresi sonunda yapılan ekimlere göre petrilerde tespit edilen bakteri sayısı.

B: İnoküle edilir edilmez nötralize çözelti ilave edilen numunelerden yapılan ekimler sonucu tespit edilen bakteri sayısı (t=0 anında).

Etkinlik değerinin hesaplanmasında farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Örneğin İnoküle edilmiş ancak bitim işlemi uygulanmamış şişelerde tespit edilen bakteri sayısının (C) daha fazla olması durumunda;

$$\frac{100(C-A)}{C} = R \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanır.

AATCC 100 metodu genel kabul gören referans yöntemler arasında olmasına rağmen örneklerin sürekli besin ihtiva eden ortamlarda bulunması, analiz boyunca birden fazla sayıda ortam değiştirmeleri nedeniyle sonuçlarının güvenilirliği tartışılmaktadır. Nitekim, JIS L 1902 metodu ile karşılaştırılmış aynı numune sonuçlarının analizi gerçekleştiren kişilere göre değişebildiği çalışmalarda yer almaktadır. Deney için kullanılan numunelerin hidrofobik özelliğine sahip olması durumunda da bakteri inaktivasyon etkisi ölçülememektedir. Ancak uygun numuneler ile hassas bir çalışma yapılması durumunda bakteriyostatik etki ve bakterisidal etki doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir.

2.2.5.5. EN ISO 20743

Bu standart, tamamen farklı deney düzenekleri ile *S. aureus* (ATCC 6538) ve *K. pneumoniae* (ATCC 4352)'ye karşı tekstil malzemesinin antimikrobiyal etkinliğinin kantitatif olarak değerlendirilmesi için kullanılabilen üç adet nispeten karmaşık yöntemlerden (challenge tests) oluşmaktadır. Antibakteriyel tekstil malzemesinin özelliğine bağlı olarak, kullanıcı en uygun yöntemi belirler. Antibakteriyel etkinlik için sınır değerleri, her üç yöntem için de tanımlanmıştır.

Absorbsiyon Yöntemi

Bir bakteri süspansiyonu, küçük bir şişeye koyulan tekstil numunelerine (altı antibakteriyel ve altı kontrol numunesi, her biri 0.4 g) pipetlenir ve daha sonra şişe kapatılır. Bunlar 37 °C'de 18-24 saat inkübe edilir. Üç tekstil numunesi üzerindeki bakteri konsantrasyonları, başlangıçta ve temas süresinden sonra belirlenir.

Transfer Yöntemi

Besi agar plakaları, bir bakteri süspansiyonu ile inoküle edilir ve tüm yüzeyi ıslattıktan sonra sıvı çıkarılır. Altışar adet antibakteriyel tekstil ve kontrol numunelerinin her biri 38 mm'lik bir çapa sahip olan disk şeklinde kesilir. Bu numuneler inoküle edilmiş agar plakalarına yerleştirilir ve üzerlerine 200 g'lık bir çelik silindir ağırlık koyulur. Bundan sonra numuneler (üçer adet) aşılannmış taraf petri kabına bakacak şekilde yerleştirilir. İnkübasyon, iklimlendirme kabininde 18-24 saat 37 °C'de gerçekleştirilir. Tekstil numunelerindeki bakteri konsantrasyonları, başlangıçta ve temas süresinden sonra belirlenir.

Baskı Yöntemi

Bu yönteme göre, bakteriler bir membran filtresine yerleştirilir ve 60 mm çapında antibakteriyel tekstil ve kontrol numunesi üzerine özel bir cihaz ile basılır. Bundan sonra, numuneler, bir aşı agar plakasının kapağı içinde inoküle edilmiş yüzü aşağı bakacak şekilde yerleştirilir. İnkübasyon, 1–4 saat 20 °C'de ve %70 bağıl nemde gerçekleştirilir. Tekstil numunelerindeki bakteri konsantrasyonları, başlangıçta ve temas süresinden sonra belirlenir.

Antibakteriyel tekstil ve kontrol numunesi üzerinde kalan bakteri miktarı başlangıçta ve temas süresinden sonra sayılır, antibakteriyel etkinlik "A" aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$A = (\log C_t - \log C_0) - (\log T_t - \log T_0) = F - G \quad (2.8)$$

A: antibakteriyel etkinlik;

F: kontrol kumaşındaki bakteri büyümesi için değer ($F = \log C_t - \log C_0$);

G, antibakteriyel kumaş üzerinde bakteri büyümesi için değer ($G = \log T_t - \log T_0$);

$\log C_t$ ve $\log T_t$, 18–24 saat inkübasyondan sonra üç örnekten yapılan bakteri sayımının aritmetik ortalamasının logaritması ($\log C_t$, kontrol kumaşı; $\log T_t$, antibakteriyel kumaş); $\log C_0$ ve $\log T_0$, inokülasyondan hemen sonra üç örnekten yapılan bakteri sayımının aritmetik ortalamasının logaritması ($\log C_0$, kontrol kumaşı; $\log T_0$, antibakteriyel kumaş).

A değerinin, 2 den küçük veya eşit olması yetersiz, 2(dahil)-3(dahil) arasında olması önemli, 3'ten büyük olması güçlü etkinlik olarak değerlendirilmektedir.

2.2.6. Antimikrobiyal test yöntemlerinin değerlendirilmesi

Antimikrobiyal tekstillerin etkinlik testleri vazgeçilmez olmakla birlikte, şu anda mevcut olan yöntemlerin büyük bir dezavantajı vardır: kullanışlılık veya pratiklik eksikliği. Tüm bu yöntemler, yüksek bağıl nem altında veya nemli besin maddesi ile temas halinde antimikrobiyal malzemelerin optimum etkinlik koşullarını simüle etmektedirler. Ancak, sportif faaliyetler dışında bu şartlar, normal olarak, tekstillerin giyilmesi, kullanılması veya prosesler sırasında meydana gelmez. Bu nedenle, tekstiller antimikrobiyal olarak kabul edilebilir, ancak pratik kullanım veya çevresel koşullar altında yüksek oranda antimikrobiyal etki yoktur veya hiç antibakteriyel etki yoktur (Smith and Williams, 2010). Diğer bir problem ise, tekstil malzemesine uygulanan antimikrobiyal malzemelerin her test yönteminde aynı antimikrobiyal etkiyi göstermemesidir. Bu nedenle farklı yöntemlerin karşılaştırılabilmesi konusu netlik kazanmamıştır.

Antimikrobiyal tekstiller, örneğin enfeksiyon kontrolü, yara iyileşmesi veya koku kontrolü için faydalı olmak amacıyla çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bir antimikrobiyal tekstilin piyasaya sürülmesi gerekiyorsa, çok fazla husus dikkate alınmalıdır. Tekstilin amaçlanan kullanımına bağlı olarak, cilt güvenlik testleri, antimikrobiyal etkinlik testleri veya kayıtlılık ihtiyacı olmaktadır.

Farklı uygulama olanakları ve pazarlama stratejileri nedeniyle, müşterilerin hangi tekstil ürünlerinin antimikrobiyal işlem gördüğünü veya etkili ve güvenli olduklarını anlaması çok zordur. Bu durum antimikrobiyal etkinlik testi için çok farklı yöntemler olması nedeniyle daha da güçleşir. Farklı değerler (örneğin, inhibisyon alanı, yüzde azalma veya log azalma) sonucunda, alan dışından bir kişinin tekstil ürünlerinin antimikrobiyal etkilerini değerlendirmesi veya karşılaştırması çok zordur.

Gelecekte, antimikrobiyal etkinlik için gerçek kullanım koşulları ve tekstil ürünlerinin gelecekteki uygulamalarının simüle edildiği daha pratik testler geliştirilmelidir. Bu, belirli bir tekstilin antimikrobiyal etkinliği için daha güvenilir sonuçlar sağlayacaktır. Ayrıca, uzun sürede cilt florasına etkilerinin incelenmesi ve dayanıklılık testleri için standart yöntemlerin de geliştirilmesi gereklidir. Bu iyileştirmeler, piyasadaki çeşitli antimikrobiyal tekstil ürünlerinin karşılaştırılabilirliğini ve müşteriler için şeffaflığı beraberinde getirecektir.

Tüm deneysel çalışmalar sonucunda, numunelerdeki antibakteriyel etkinliğin değerlendirilmesi için günümüzde gözenekli yapıda, sıvı fazda vb. birçok malzeme için

gerekli olan log2 veya %99 bakteri inaktivasyonu dikkate alınmıştır. Bunun dışında, deneysel çalışmalarda kullanılan birçok yöntem hangi düzeyde bakteri gideriminin yeterli olduğunu açıklamamaktadır. Bu ölçü malzemenin maruz kaldığı koşullar, başlangıç bakteri derişimi, dayanıklılığı, yapısı gibi parametreler göz önünde bulundurularak belirlenebilmektedir. Ancak literatürde çoğu çalışmayla, standart metotlar doğrudan değil deneye alınan malzemenin antibakteriyel/antimikrobiyal etkinliğini en üst düzeyde ölçme imkanı sağlayacak şekilde kullanmayı tercih edilmiştir.

2.2.7. Dayanım testleri

Tüketicilerin açısından, antimikrobiyal tekstillerin etkinliğinin tekstilin tüm ömrü boyunca devam etmesi beklenir. Antimikrobiyal tekstillerin dayanıklılığı, diğer hususların yanında antimikrobiyal uygulama yöntemine, stabilite/tüketim ve antimikrobiyal malzeme konsantrasyonuna bağlıdır. Antimikrobiyal konsantrasyonun tekstil üzerindeki azalması, sonuçta etkinlik kaybına yol açmaktadır.

Antimikrobiyal tekstillerin dayanıklılığını değerlendirmek için antimikrobiyal etkinlik belirli sayıda yıkama ve/veya depolama sürelerinden sonra test edilmelidir. Bunun için antimikrobiyal etkinlik dayanıklılık testlerinin başında ve sonunda belirlenir. Antimikrobiyal aktivite önemli ölçüde azalırsa, antimikrobiyal tekstilin düşük dayanıklılığı gösterilmiş olacaktır.

Yıkama dayanıklılığı testi ile ilgili olarak, tekstilin gelecekteki uygulamasına, örneğin iş giysisine (DIN EN ISO 15797) veya genel kullanıma (DIN EN ISO 6330) bağlı olarak uygun bir yıkama işlemi seçilmelidir. Genel olarak, antimikrobiyal aktivite değişimi 50 yıkamadan sonra değerlendirilmektedir. Depolama stabilitesi testi ile ilgili olarak, üreticinin gerçek zaman (örneğin 25 ° C; %60 nem; 12–36 ay) veya hızlandırılmış yaşlandırma (örn. 40 ° C; %75 nem; 3–9 ay) arasında seçim yapması gerekmektedir.

Şu ana kadar dayanıklılık testi için herhangi bir standart (veya en azından standartlaştırılmış) direktif bulunmadığı için üreticiler, yıkama sayısı, depolama koşulları veya kalan antimikrobiyal aktivite verileri gibi terimleri tanımlamak zorundadırlar. Bu nedenle farklı üreticilerin dayanıklılık testleri sonuçları karşılaştırılamamaktadır.

2.3. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar

Yolcu uçağı kabinleri içerisinde birçok farklı yüzeyden ATP ölçümü yapılarak mikroorganizma varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Beklenildiği gibi hem koloni

oluşturan analizler hem de ATP ölçümüne dayalı ölçümler için yapılan örneklemeler arasında büyük farklılıklar saptanmıştır.

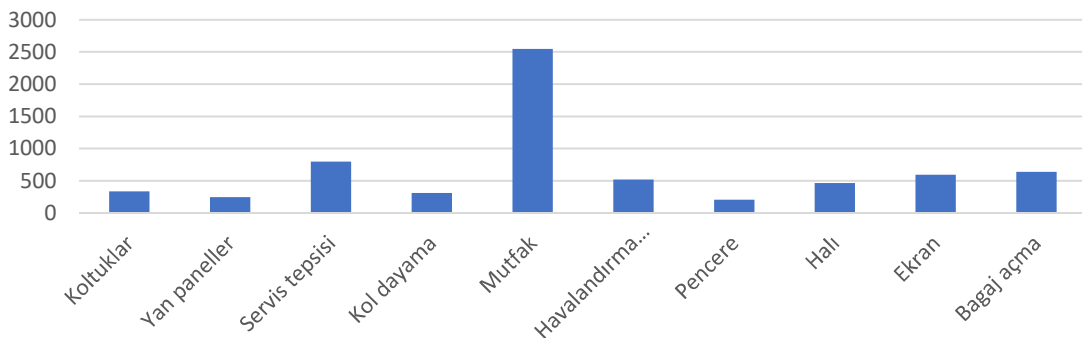
2.3.1. Nicel (Kantitatif) çalışmalar

Farlı örnekleme alanlarından yapılan, Relative Light Unit (RLU) cinsinden mikroorganizma biyomas değerleri tablo 2.2.'deki gibidir.

Tablo 2.2. ATP ölçüm cihazıyla farklı alanlardan alınan örnekler ve elde edilen RLU sonuçları (tablo ve grafik olarak)

Numune alanı	Servis tepsi	Mutfak	Ekran	Bagaj açma	Koltuklar (Deri)
RLU Değerleri	417	380	1376	2500	1154
	507	2703	167	1350	746
	531	4636	240	744	562
	663	776	350	250	1107
	385	4458	694	175	725
	702	7500	745	405	432
	415	484	510	317	1869
	1491	3314	958	128	857
	2216	2816	1083	710	604
	956	1967	248	218	1396
	1609	2244	334	515	2002
	278	3171	513	652	643
	567	1864	715	738	1217
	1010	2076	688	585	432
	719	841	590	286	926
	326	1493	287	611	1265
RLU(ort)	799,5	2545,2	593,6	636,5	996,1

RLU (ort)



Diğer alanlardan alınan numunelerin ortalama RLU değerleri tablo 2.3.'deki gibidir.

Tablo 2.3. ATP ölçüm cihazıyla farklı alanlardan alınan örnekler ve elde edilen ortalama RLU sonuçları

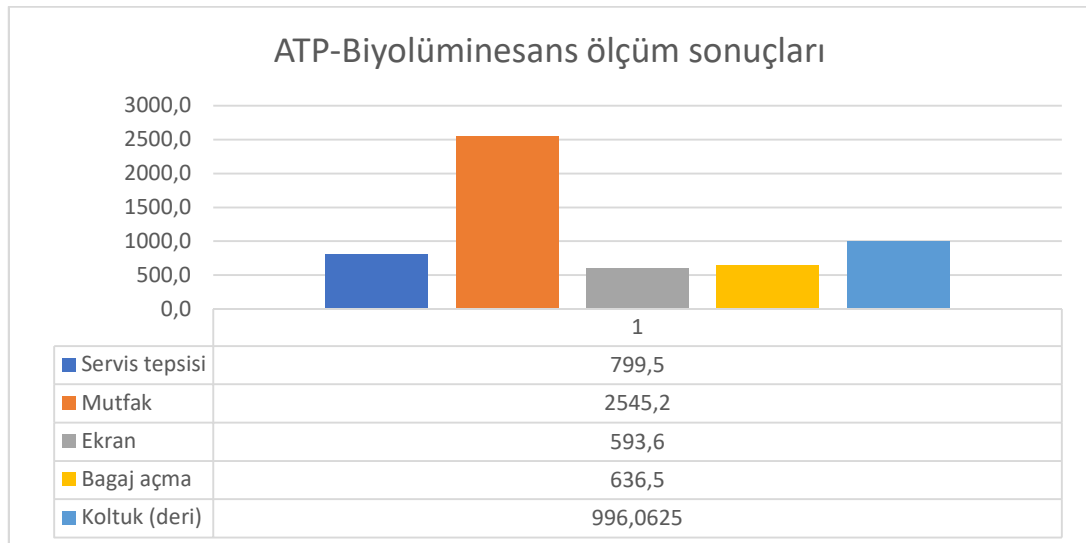
Numune alanı	Koltuklar (Kumaş)	Yan paneller	Koltuk cepleri	Kol dayama	Tuvalet alanı	Havalandırma kanalları	Pencere	Halı
RLU (ort)	337	245	.*	312	.*	520	205	463

Koltuk cepleri ve tuvalet alanlarında alınan örneklemelerde çok farklı mikrobiyolojik kirlilik oranları tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışma sonuçlarına dahil edilmemiştir.

Aynı örnekleme alanından alınan numuneler göz önünde bulundurulduğunda ATP ölçüm yöntemlerinin çok daha yüksek bir standart sapmaya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, mikrobiyolojik kirlilik yönünden, koloni oluşturan birimlerin sayıldığı yöntemlerle doğru orantılı sonuçlar elde edilmektedir.

Koloni sayım yöntemleriyle elde edilen verilerle paralel şekilde RLU miktarına dayalı ATP ölçüm sonuçlarına göre de aynı kirlilik sıralaması ölçülmüştür. Buna göre; Kabin içerisinde numune alınan 4 farklı nokta değerlendirildiğinde mikroorganizma yükü en yüksek olan bölge mutfak alanı (galley) olmuştur. Bu bölgeyi takiben servis tepsileri, kabin içi eğlence ekranları ve bagaj açma bölgeleri şeklinde sıralama devam etmektedir. Ortalama RLU değerlerini içeren tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Farklı bölgelerden alınan örnekler için ortalama RLU değerleri

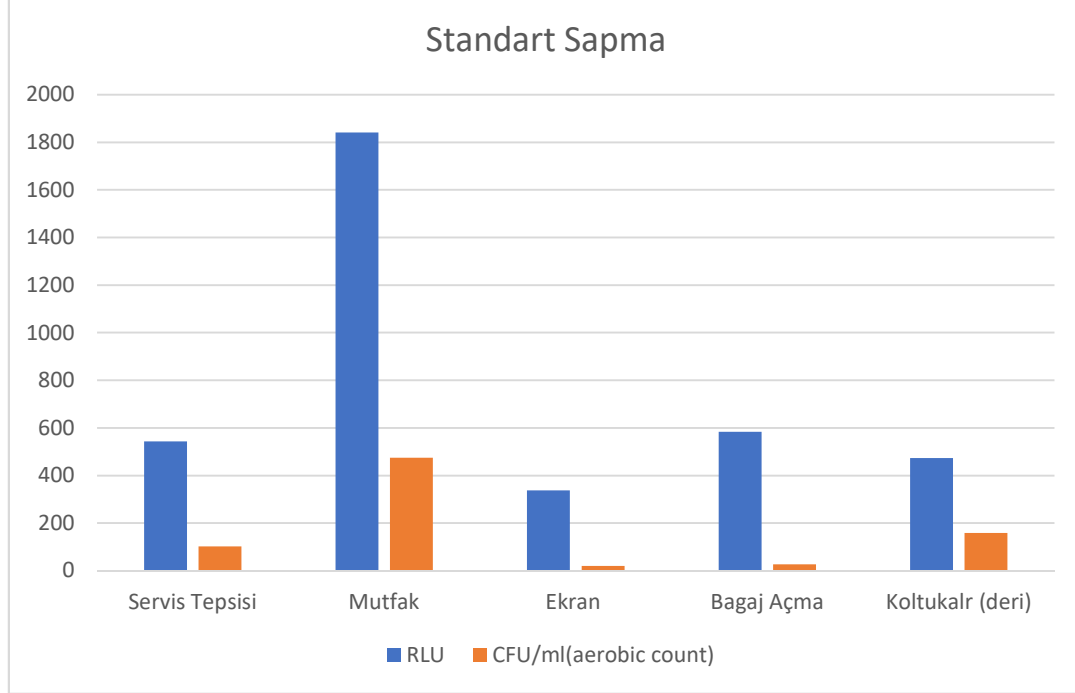


Kabin içerisinde yolcuların temas yoluyla mikroorganizmalara maruz kalmasının en olası olduğu bölgeler koltuklar, yan paneller ve servis tepsileridir. En yüksek mikrobiyolojik varlığın bu bölgelerde olmamasına rağmen taşıyıcı özelliklerinden dolayı bu malzemelerde hijyen iyileştirilmesi konusunda çalışılmıştır.

Çalışılan farklı metotların yorumlanması anlamında aynı bölgeden alınan numunelerin ATP ve CFU değerleri ve standart sapma oranları tablo 2.5.'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.5. Toplam canlı için (Aerobik count). Farklı bölgelerden alınan numunelerin RLU ve CFU ölçümü standart sapma değerleri

	RLU _{ort}	CFU/ml(aerobic count) _{ort}
Servis Tepsisi	542,65	101,81
Mutfak	1841,16	475,14
Ekran	336,82	20,39
Bagaj Açma	583,20	26,43
Koltuklar (deri)	472,97	158,74



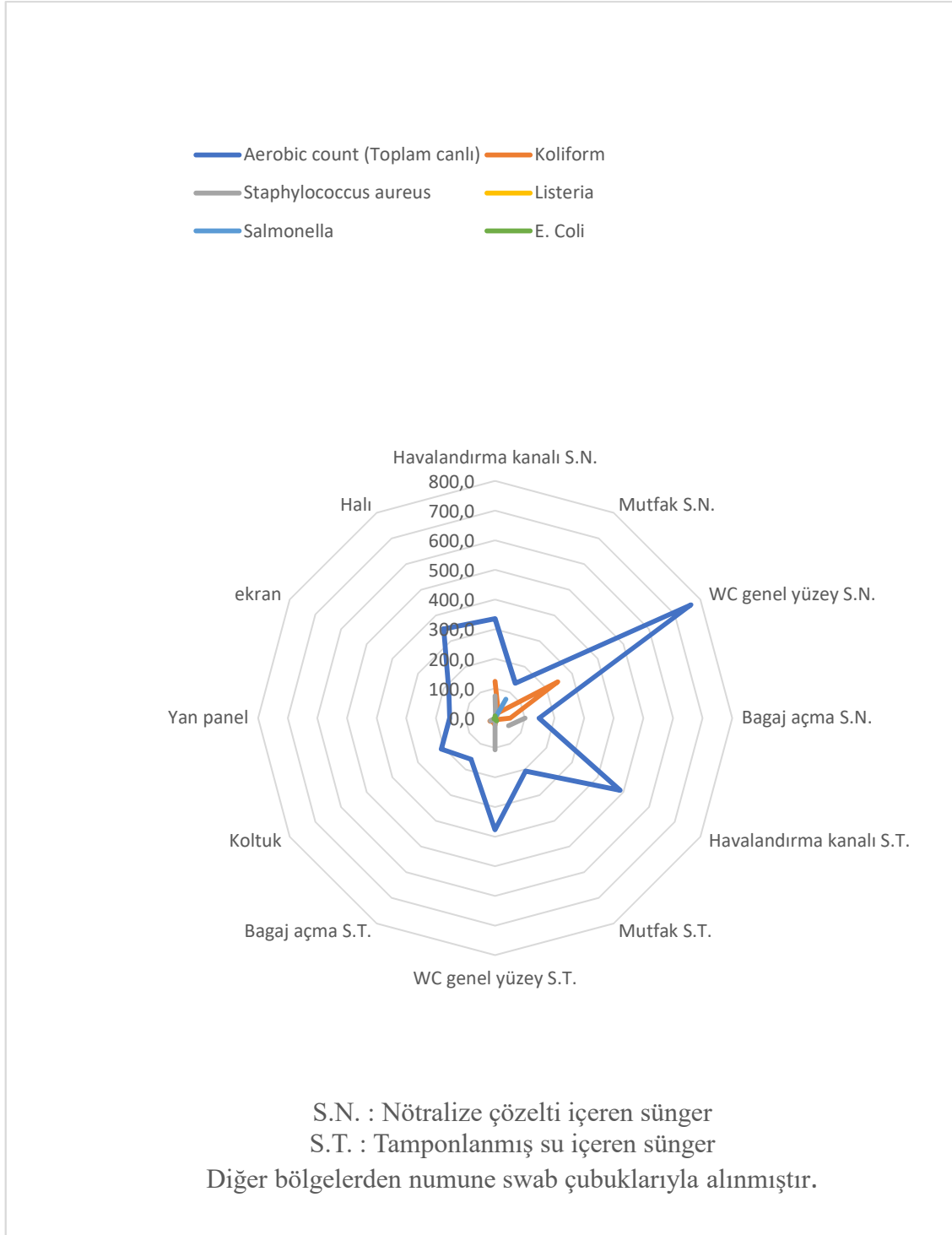
Bu bilgiler değerlendirildiğinde iki farklı yöntem arasındaki bağıntının gözlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Literatürde konuyla ilgili birkaç çalışma yer almasına rağmen mikrobiyolojik örnekleme analizlerinde kullanıcı faktörünün deney sonucu üzerinde çok etkili olduğu bilinmektedir. Bunun dışında da sonuçları etkileyecek çok sayıda parametre

bulunduğundan iki farklı metot laboratuvar ortamında simüle edilerek kabin içerisinde numune alınan malzemelerle model yüzey örneklemeleri gerçekleştirilmiştir.

Koltuk (deri kaplamalı olmayan) ve halılar gibi kumaş ile kaplı yüzeylerden swab çubuklarıyla numune alımı ile ilgili olarak çeşitli zorluklar yaşanmıştır. Ancak koltuklar genellikle deri kaplı olduğundan bir çok numunedeki veriler genel ortalamaya dahil edilmiştir. Halılarda başta küf-maya olmak üzere çok ciddi mikrobiyolojik varlık belirlenmiştir. Özellikle sporla çoğalan ve taşınan küflerin solunum yollarına ulaşması anlamında halıların büyük öneme sahip olduğu düşünülmektedir.

Kabin içerisinde çok sayıda farklı bölgelerden alınan numuneler ve kabin içerisindeki kirliliğin haritası araştırılan diğer konular arasındadır. Buna göre tespit edilen koloni türü (mikroorganizma türü), sayısı ve bulunduğu yer tablo 2.6.'daki gibidir.

Tablo 2.6. Kabin içerisindeki numune alma bölgeleri (sünger kullanılarak) ve mikrobiyolojik yükleri.



Nötralize çözelti ve tamponlanmış su içeren sünger örnekleyiciler ile alınan numunelere bakıldığında en yoğun kirliliğin tuvalet ve havalandırma kanallarında bulunduğu gözlemlenmiştir. Mutfak (galley) alanında çeşitli gıda patojenlerine rastlanmış olsa da, sonrasında numunelerin moleküler tanılama sisteminde incelenmesi

sonucunda pozitif örneklerin büyük çoğunluğunun hatalı sonuçlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Toplam canlı (aerobik) tespiti için numune alınan bölge ve koloni sayıları tablo 2.7.'de gösterilmiştir. Buna göre kabin içerisinde mikrobiyolojik varlığın en yüksek olduğu alanlar mutfak (galley) olarak belirlenmiştir (WC hariç, swab çubuklarıyla, yalnızca aerobik sayımlar karşılaştırıldığında). Tüm örneklemeler düz yüzeyler için 10x10cm'lik alanlardan 20 saniye swab örneklemesi alınarak gerçekleştirilmiştir. Bagaj açma (başüstü bagaj kapağı açma kolu) bölgesinden alınan numuneler 20 saniye boyunca swab örneklemesi yapılarak elde edilmiştir.

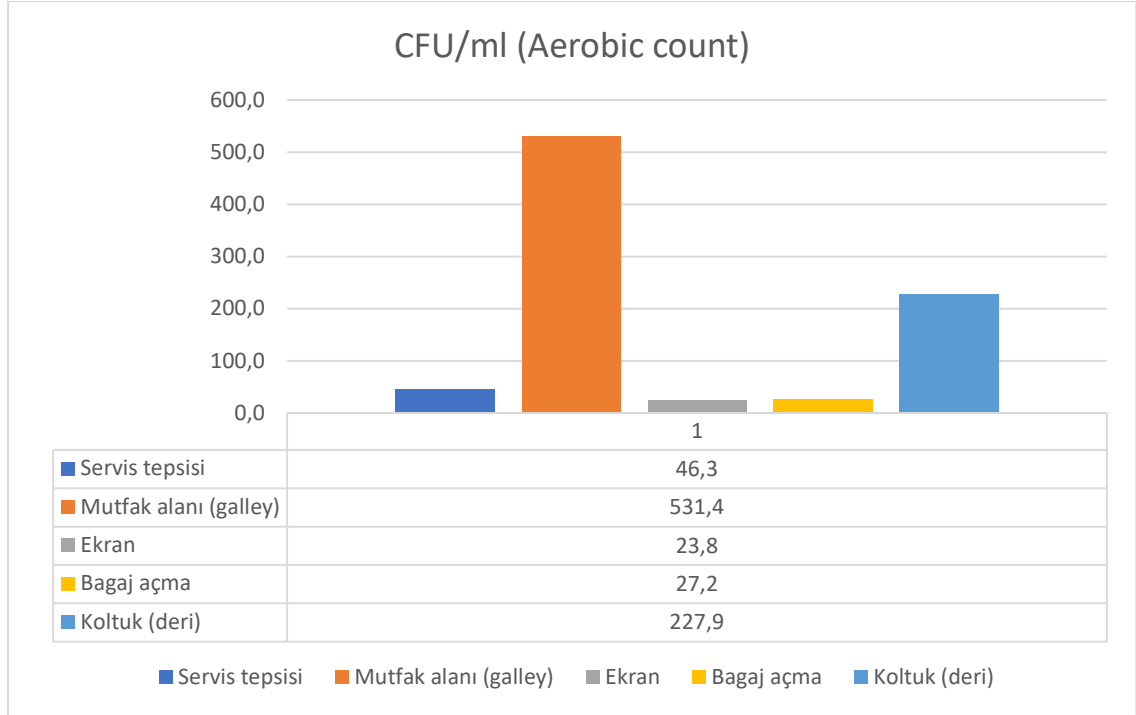
Tablo 2.7. *Toplam canlı (aerobik) için numune alma noktaları ve seçici besi ortamına yapılan ekimler sonucunda elde edilen koloni sayıları*

Numune Alanı	Servis tepsisi	Mutfak	Ekran	Bagaj açma	Koltuk (Deri)
Koloni Sayıları	36	121	21	6	307
	3	872	19	4	336
	9	85	2	11	465
	19	1220	46	14	124
	3	1402	35	8	52
	367	604	24	41	148
	24	144	34	23	537
	5	876	12	16	216
	17	231	9	55	48
	8	78	72	31	255
	43	101	10	21	77
	21	643	2	96	170
CFU/ml (ort)	46,3	531,4	23,8	27,2	210

Mutfak (galley) alanının diğer numune alma bölgelerinden çok daha fazla bakteriyolojik etmene sahip olması besin maddelerinin ve nem miktarının mikroorganizmaların üremesi için uygun alan oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında yiyeceklerin hazırlandığı ortamda mikroorganizmalarla mücadelede, kimyasal maddelerin kullanımının kısıtlı olması, yine dezenfektan gibi gıda güvenliğini tehlikeye atabilecek maddelerin de sınırlı olarak kullanılabilmesinin elde edilen sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Koloni sayıları arasında çok büyük farklılıkların olması nedeniyle ortalama koloni sayıları alınarak tablo 2.8'de gösterilmiştir. Mutfak

alanından (galley) sonra en fazla mikroorganizma varlığı yine gıda teması olasılığı yüksek olan servis tepsilerinde tespit edilmiştir. Yolcu davranışları, homojen bir temizlik yapılmasının güçlüğü gibi nedenlerle numuneler arası en büyük farklılıklar bu bölgeden alınan numunelerde görülmektedir.

Tablo 2.8. Farklı numune alma bölgelerinden swab çubuklarıyla yapılan örneklemelerin Toplam canlı (aerobik) seçici besi ortamında elde edilen ortalama koloni sayıları

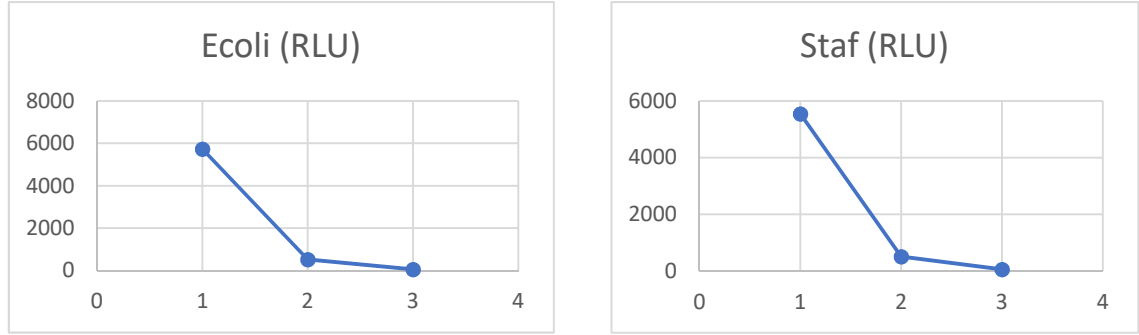


2.3.2. Farklı nicel (Kantitatif) çalışmaların karşılaştırılması

Kabin içerisinde gerçekleştirilen testlerin tutarlılığının anlaşılması amacıyla aynı malzemeler ve indikatör organizmalar içerisinde en geniş kullanıma sahip iki örnek olan *E. coli* ve *S. aureus* (gram pozitif ve gram negatif) tercih edilmiştir.

Birinci test grubunda toplam 6 dilüsyon olarak hazırlanan kültür süspansiyonu 0.15mL hacminde pipetlenerek steril 5x5cm cam yüzeylere dökülerek yayılmıştır. Laminar flow steril kabin içerisinde kuruması beklenen örnekler sonrasında swab çubuklarıyla örnekleme alınmıştır. Elde edilen sonuçlar 1., 2. ve 3. dilüsyon için tablo 2.9.'da verilmiştir. Daha yüksek seyretleme faktörlerinde elde edilen RLU değerleri anlamsız olduğundan grafiklere dahil edilmemiştir.

Tablo 2.9. İlk üç dilüsyon için cam yüzeyden elde edilen RLU değerleri (*E. coli* ve *S. aureus* için)



$$R^2 = 0,99$$

$$R^2 = 0,99$$

E. coli				S. aureus			
RLU	1.d	2.d	3.d	RLU	1.d	2.d	3.d
	6527	468	43		5281	587	37
	4929	571	60		5802	421	61
Ort	5728	519,5	51,5	Ort	5541,5	504	49

2.3.3. Nitel (Kalitatif) çalışmalar (Tür tayini-İndikatörler organizmaların seçimi)

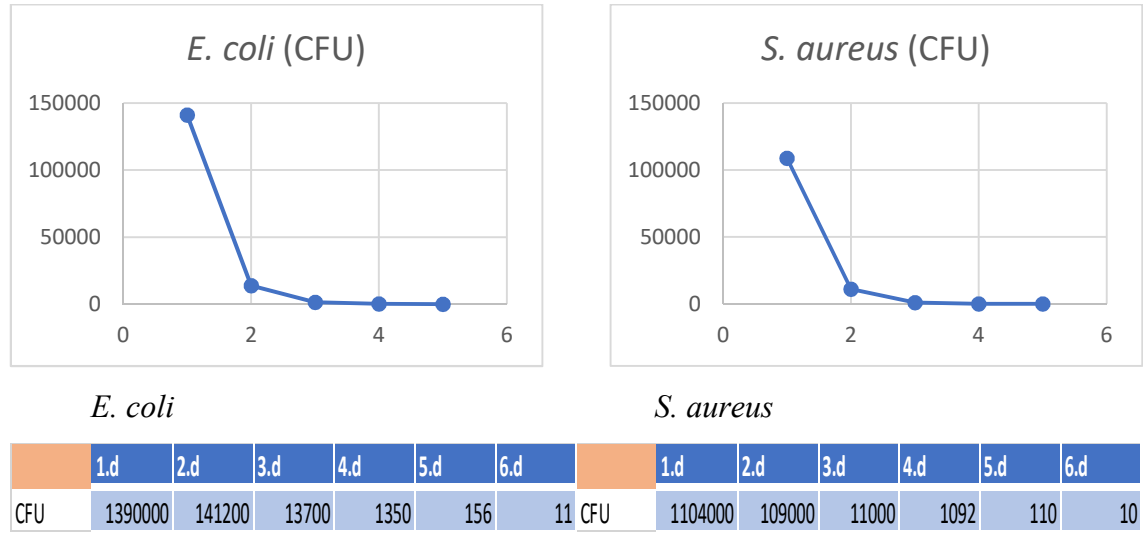
İndikatör mikroorganizmalar, belirli patojenlerin varlığı ve olası etkilerinin anlaşılması için gıda ve çevre mikrobiyolojisi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Enfeksiyon etkileri dışında da indikatör organizmalar ortamın kalitesi hakkında bilgi edinmek için de başvurulan belirteçlerdir. Temel olarak gıda ve çevre mühendislikleri kullanım alanlarında sahip olmakla beraber antimikrobiyal yöntemlerin etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla mikrobiyoloji, nanoteknoloji, malzeme bilimi vb. alanlarında da yer almaktadırlar.

Tüm patojenlerin tespitinin yapılması mümkün olmadığından, çalışmalar genel grupları temsil edecek mikroorganizmalardan seçilmiştir. Daha sonra deneysel sonuçları açıklanacak indikatör mikroorganizmalar; *Esherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, çevresel *Listeria*, *Salmonella sp.*, toplam canlı (aerobik), koliform ve maya küf olarak belirlenmiştir.

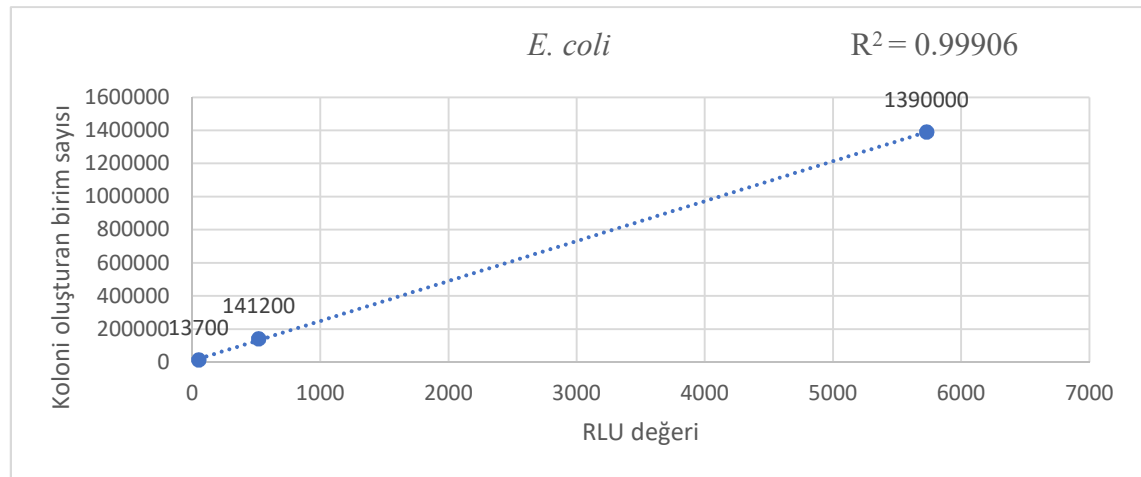
İkinci test grubunda yine aynı derişimde 6 dilüsyon olarak hazırlanmış kültür süspansiyonu 5x5cm cam yüzeylere aseptik koşullarda yayılarak kurumaya bırakılmıştır. Bu cam malzemeler “ISO 22196 Plastik ve Diğer Poröz Olmayan Yüzeylerin Antibakteriyel Aktivitelerinin Ölçülmesi” standart metodu kullanılarak petrifilmle transfer edilmiş ve inkübasyon süresi sonunda sayımları yapılmıştır. Sonuçların kendi

içerisinde ve ATP ölçümü analizleriyle tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları tablo 2.10. 'da verilmiştir. İlk üç dilüsyondaki mikroorganizma sayısının sayım için fazla olmasında dolayı bu örnekler doğrudan ekim yapmadan önce seyreltilerek sonrasında katı besiy ortamına aktarılmıştır. Grafikte yer alan 1., 2. ve 3. dilüsyon değerleri ekim yapılan bu petrilerin sayımı sonucunda ortalaması alınarak hesaplanmış ve yaklaşık değerleri ile tabloya eklenmiştir.

Tablo 2.10. ISO 22196 metodu ile yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen koloni sayıları



Tablo 2.11. *E. coli* için ATP ve CFU sonuçlarının sayısal olarak karşılaştırılması



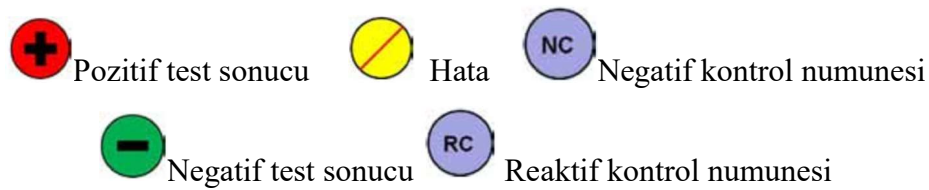
Her iki mikrobiyolojik metot ile elde edilen veriler *E. coli* organizması için karşılaştırılarak tablo 2.11.'de verilmiştir.

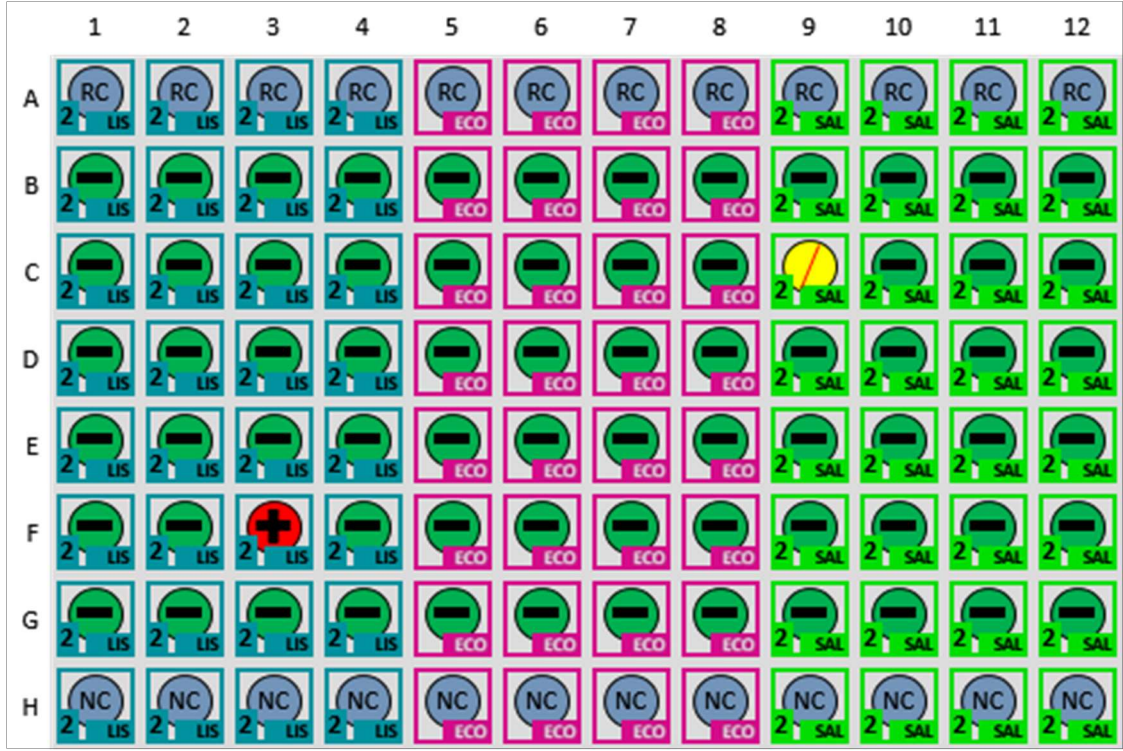
Karşılaştırmada *E. coli* ve *S. aureus* için yapılan çalışmayla ilgili sonuçlarının birbirinden farklı olması beklenmektedir. Koloni oluşturan birimlerin başlangıçta sahip olduğu hücre sayılarının her iki organizma için birbirinden farklı olduğu bilinmektedir.

2.3.3.1. Moleküler tanılama sistemi (MDS) analiz sonuçları

Kabin içerisinde mutfak (galley) alanlarındaki gıda patojenlerinin varlığını araştırılmasında petrifilm kullanılarak alınan sonuçların şüpheli olarak belirlenebilmesi nedeniyle MDS sistemi kullanılmıştır. Moleküler tanılama sistemi ile *Listeria*, *Salmonella* ve *E. Coli* O157 (H7 dahil) olmak üzere 3 farklı türün varlığı araştırılmıştır. Farklı güzergahlardan gelen uçaklardan alınan numunelerde 1 örnekte *Salmonella* 1 örnekte ise *Listeria* pozitif olarak tespit edilmiştir. Bunun dışında herhangi bir pozitif sonuç alınmamıştır. Deneysel sonuçlar şekil 2.5, 2.6 ve Tablo 2.9, 2.10'da verilmiştir. Numune alımı henüz iniş yapmış uçaklarda mutfak alanlarında ve temizlik işleminden önce yapılmıştır. Tüm numuneler 10 ml tamponlanmış su ve nötralize çözelti içeren süngerler ile yaklaşık 30x30 cm'lik alandan alınmıştır. Deney protokolleri gıda ürünleri için hazırlanmış olduğundan farklı bir süreç oluşturulmuştur. Buna göre; Numune alımı sırasında sulandırılmış süngerlerden yaklaşık 5ml'lik bir sıvı kaybı olduğu anlaşılmıştır. Bu sıvının tamamı 90 ml'lik 3M™Flip-Top Tamponlanmış peptonlu su içeren dilüsyon şişelerine aseptik koşullarda transfer edildikten sonra standart prosedür kullanılmıştır.

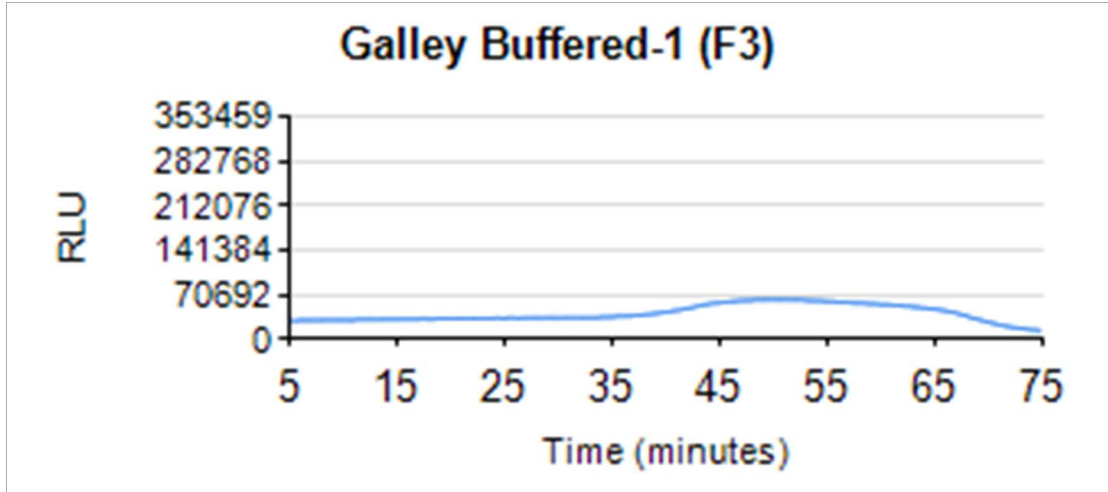
Şekil 2.5.'te cihaz yazılımının ekran görüntüsü verilmektedir, yazılımda yer alan kodlar ve anlamları aşağıda verilmiştir.





Şekil 2.5. F3 hücresindeki *Listeria* pozitif analiz sonucu. LIS: *Listeria*, ECO: *E. coli* O 157, SAL: *Salmonella*

Tablo 2.12. MDS analizi, F3 hücresi (tamponlanmış su içeren sünger ile alınan numune için) pozitif pik

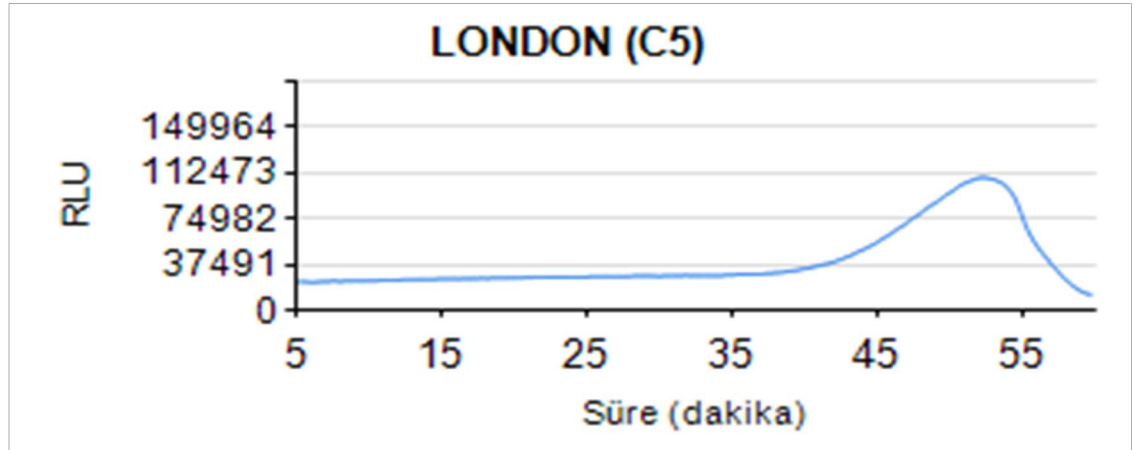


F3 hücresindeki *Listeria* pozitif numunesinin gri zon hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Analiz için 4 farklı numuneden toplam 72 örnek hazırlanmıştır. Pik yüksekliği (RLU karşılığı) *Listeria* varlığının net bir şekilde ortaya konulması için anlamlandırılmamıştır. Yeterli reaktif bulunmamasından dolayı aynı bölgeden alınan numunenin tekrar analizleri gerçekleştirilememiştir.



Şekil 2.6. C5 hücresindeki Salmonella pozitif analiz sonucu. LIS: Listeria, ECO: E. coli O 157, SAL: Salmonella

Tablo 2.13. MDS analizi, C5 hücresi (tamponlanmış su içeren sünger ile alınan numune için) Salmonella için pozitif pik grafiği



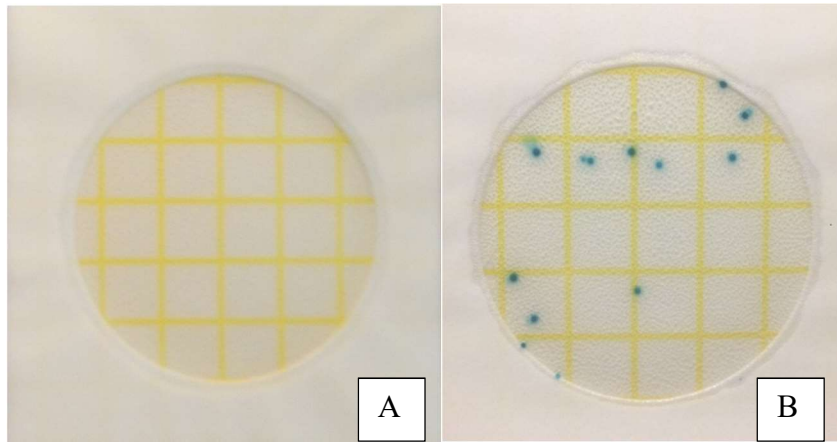
Grafik değerlendirildiğinde C5 hücresindeki *Salmonella* pozitif sonucunun geçerli olduğu düşünülmektedir. Seçici zaman aralığında meydana gelen RLU değeri artışı gözlenmektedir. Çalışma dış hatlar uçağından alınan numuneden 18 örnek hazırlanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

2.3.3.2. İndikatör türler ve seçici besi ortamında yapılan tür tayini çalışmaları

Escherichia coli: Alman bakteriyolog Theodor Escherich'in 1885 yılında keşfinden sonra *E. coli* tüm dünyada laboratuvarlarda en çok kullanılan mikroorganizmalardan biri haline gelmiştir. Gram negatif ve çubuk şeklindeki mikroorganizma anaerobik ve aerobik koşullarda çoğalabilmektedir (fakültatif anaerob).

E. coli bakteriyel kökenli enfeksiyonlarda en sık karşılaşılan mikroorganizmalardan biridir. Bu sağlık sorunları; Safra kesesi yangısı (kolesistit), bakteriyemi (kanda bakteri varlığı), kolanjit (safra kanalları enfeksiyonu), idrar yolları enfeksiyonu, seyahat ishali ve yeni doğan menenjit, pnömani gibi diğer klinik enfeksiyonlar olarak sıralanabilmektedir. *E. coli*'nin neden olduğu enfeksiyonların epidemiyolojisi Kaufmann, Edwards ve Ewing'in serolojik çalışmalarının temel alınmasıyla mümkün hale gelmiştir.

Günümüzde mikrobiyolojik tanılama metotlarının giderek gelişmesiyle, daha hızlı, düşük karbon ayak izine sahip, sahada uygulama kolaylığı olan ve ucuz yöntemler geliştirilmiştir. En etkili tanılama yöntemleri elbette genetik olarak patojenin belirlendiği yöntemlerdir. Ancak özellikle kabin içerisinden alınan numunelerin ivedi şekilde inokülasyonu gerektiğinden son yıllarda kullanımı yaygınlaşan hazır seçici besi ortamları tercih edilmiştir. Sayım yüzey alanı yaklaşık 20 cm² olan bu besi ortamlarına içerisinde 1, 5 ve 10 ml peptonlu su ve nötralize çözelti bulunan swab (eküvyon) çubukları ve sünger örnekleyiciler ile 20'şer saniye yüzey örnekleme yapılmasının ardından ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petrifilm görselleri şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil. 2.7. Ekim yapılan, negatif (A) ve pozitif (B) sonuçlu seçici *E. coli* petrifilm örnekleri

İnokulasyon için kullanılan ve farklı hacimlerde çözelti içeren tüplü swab çubukları karıştırılarak steril pipet ucuyla aseptik koşullarda 1mL örnek alınmıştır. Besi ortamına eklenen süspansiyon ürünün kendi yayma aparatı kullanılarak besi ortamı üzerine yayılmıştır. 42 °C’de 24 ± 2 saat inkübasyon süresini takiben petrifilm sayıma alınmıştır. Selektif (seçici) *E. coli* ortamına yapılan yaklaşık 150 inokülasyon sonucunda sadece 2 petride pozitiflik gözlenmiştir. Ancak mükerrer numunelerin negatif çıkması nedeniyle bu sonuçların kontaminasyon kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Negatif sonuçların alınmasında temizlik ekibinin tuvalet alanı için temizlik işlemlerinde dezenfektanları kullanıyor olmasının etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmalarda 3M™ firmasının Select *E. coli* Petrifilm™ ürünü tercih edilmiştir. Diğer mikroorganizma seçici besi ortamları için de yaklaşık aynı sayılarda numune alınmıştır.

Çalışmalar sonucunda *E. coli* gıda patojeni olarak tespit edilmemiştir. Ancak servis tepsisi, tuvaletler, dokunmatik ekran yüzeyleri, dergiler, kol dayama yüzeyleri ve koltuklar ve halılarda bulunabildiği anlaşılmıştır.

Staphylococcus aureus: *Staphylococcus*’lar yaygın olarak bulunan hareketsiz, katalaz enzimi üreten, fakültatif anaerob, spor oluşturmeyen, yüksek tuz konsantrasyonlarına ve sıcaklığı dayanıklı, gram pozitif mikroorganizmalardır. Genellikle üzüm salkımı benzeri yapıya sahiptirler ancak tek hücreler kısa zincirler veya çiftler halinde de görülebilmektedirler. *Staphylococcus* cinsine ait yaklaşık 45 tür olduğu bilinmektedir. Doğada fazlaca bulunan bir mikroorganizmadır ve insan vücudunda da en fazla burun mukozasında olmak üzere deri, boğaz gibi bölgelerde de bulunabilmektedir. *Staphylococcus* cinsinin sahip olduğu her tür patojen özellik göstermemekle birlikte, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus lugdunensis*, *Staphylococcus saprophyticus* türleri insanlarda gelişen hastalıklara neden olan başlıca türler arasındadır.

Staphylococci ilk olarak 1880 yılında İskoç bir cerrah olan Alexander Ogston tarafından insan vücudundaki bir iltihaptan izole edilmiştir. Mikroskopik olarak incelenmesi sonucunda bakterilerin üzüm demetine benzemesinden dolayı adını stafıl (üzüm salkımı) ve kokkos (dut) kelimelerinin birleşiminden almaktadır. 1886’da bir Alman cerrah olan Anton Rosenbach tarafından kolonilerin renginden dolayı *Staphylococcus aureus* (aureus Latince altın rengi demektir) adını alan bir suş izole edilmiştir.

İlk olarak İkinci Dünya Savaşı sırasında kliniklerde kullanılmaya başlanan penisilin *Staphylococcus* 'un tedavisinde etkili olmuştur ancak penisilin yaygın olarak kullanımının bir sonucu olarak 1940'ların sonlarına doğru izole edilen suşlarda, penisiline duyarlı suşlardan çok dirençli suşların olduğu belirlenmiştir. Artan direnç nedeniyle methisilin gibi semisentetik penisilinlerin gelişiminin gerekliliği ortaya çıkmıştır ancak 1990'lı yıllarda hastanelerden yüksek düzeyde Methisline Dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) vakalarının gelişmekte olduğu rapor edilmiştir. MRSA dünyanın belirli bir kısmı için hala önemli bir tehdit oluşturmaktadır. MRSA'nın tedavisi için başlıca kullanılan yöntem olan vankomisin'e de zaman içerisinde direnç gelişmiştir. 21. Yy. başlarında Domuzlarda ve domuz işçilerinde yeni bir MRSA suşu tespit edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda çiftlik hayvanları ve bunların çiğ et ürünlerinde, insanlarda endemik ve epidemik hastalıklara yol açabilen MRSA (LA-MRSA) suşları tespit edilmiştir.

Staphylococcus insan mikrobiyolojik florasında en çok burunda bulunmaktadır. Bununla birlikte deri, saç ve mukozada da kolonileme gözlemlenebilmektedir. İnsan vücudunun bir parçası olan bu bakteriler normalde hastalığa neden olmazlar ancak nazal taşıyıcılık enfeksiyon oranının artması ile ilişkili olabilmektedir.

Moleküler analiz ve patogeneze sonuçlarına göre tarihsel konakçılarının insan olduğu ve filogenetik verilere göre 25000 ila 142000 yıllık bir kök yaşının varlığını tahmin edilmektedir. İnsan ve hayvan sağlığı birbirine çok yakın olduğundan dolayı mikroorganizmaların paylaşımı da söz konusudur. Hayvan bünyesinde evrime uğrayan *Staphylococcus aureus*'un tekrar insanlara bulaşarak yeni suşlar geliştirdiği düşünülmektedir.

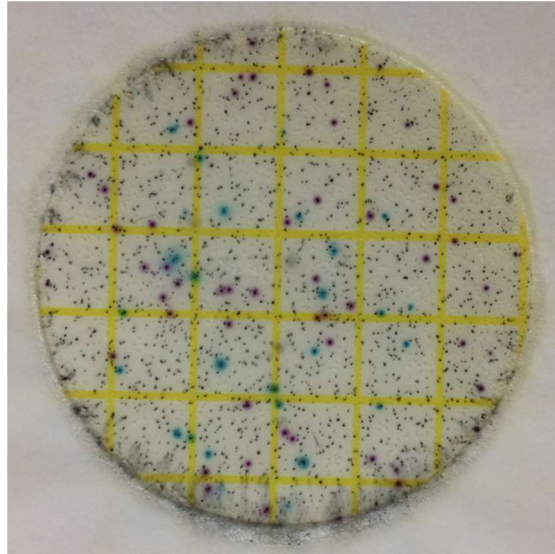
Staphylococcus insanlarda ve hayvanlarda çok çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır. *Staphylococcus* hasarlı bir cilt ya da yumuşak doku bölgesinde yüzeysel ya da derin enfeksiyonlara sebebiyet verebilmektedir. Daha az rastlanan ancak daha ciddi sonuçlar doğuran bir başka hastalık iste bakteriyemidir. Bu hastalık genellikle deri tarafından oluşturulan bariyerin cerrahi alet ve operasyonlar ile aşılması sonrasında oluşan hastane enfeksiyonu olarak adlandırılabilir. Bakteriyemi; organlarda, eklemlerde, kemiklerde ve vücudun başka bölgelerinde yerleşerek kan zehirlenmesine neden olabilmektedir. *Staphylococcal pneumonia* primer bir enfeksiyon olabileceği gibi homojen olarak yayılmanın bir sonucu da olabilmektedir. Bu hastalıkta toplum kaynaklı yayılmadan daha çok hastane kaynaklı yayılma görülmektedir.

Staphylococcus aureus sadece insan kaynaklı bir patojen değildir. Hayvanlarda da deri enfeksiyonu, meme derisi iltihabı, eklem enfeksiyonlarına neden olmaktadır.

Staphylococcus ile ilgili örneklemelerde sayıların net olarak belirlenebilmesi için doğru kolonilerin renklerine göre tanınması gerekmektedir. Bu nedenle, ürün için opsiyonel olarak satılan (*S. aureus* için seçici) doğrulama disklerinden temin edilmiş ve sayım için bu sonuçlar dikkate alınmıştır.

Kabin içerisinde tekstil yüzeyleri tutunma olanakları bakımından daha uygun olduğundan bu ortamlarda birçok örneklemede *Staphylococcus* türü mikroorganizmaların olabileceği anlaşılmıştır. Şekil 2.8.'de koltuk yüzeyinden alınan bir numunenin pozitif sonucu verilmiştir. Aynı zamanda *Staphylococcus*, toplam canlı ve küf-maya kabin içerisinde en çok bulunan mikroorganizma/mikroorganizma grupları olarak belirlenmiştir.

Staphylococcus için kullanılan petrifilmelerin %80'inden fazlasında pozitif sonuç alınmıştır. Ancak farklı örneklemeler arasında sayısal olarak büyük değişiklikler gözlenmiştir.



Şekil. 2.8. Ekim yapılan, pozitif sonucu seçici *Staphylococcus* petrifilm örneği.

Listeria: *Listeria spp.* *Listeria monocytogenes* de dahil olmak üzere genellikle gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar olarak bilinmektedir. *Listeria spp.* Neden olduğu enfeksiyon genel olarak gastroenterit hastalığına neden olsa da bazı durumlarda bağırsakların ötesine de yayılabilmektedir. *Listeria monocytogenes*'e maruz kalan çoğu sağlıklı insan hastalığı hafif semptomlarla geçirebilmektedir ancak gençlerde ve yaşlılarda bağışıklık sisteminin düşük seviyede olması hastalığın semptomlarını artırarak

ciddi enfeksiyonlar ortaya çıkmasına sebebiyet verebilmektedir. Hamile olan bayanlarda enfeksiyon riski bebeğin prematüre doğmasına, bebeğin düşmesine ve ölü doğum yapmaya kadar çıkabilmektedir.

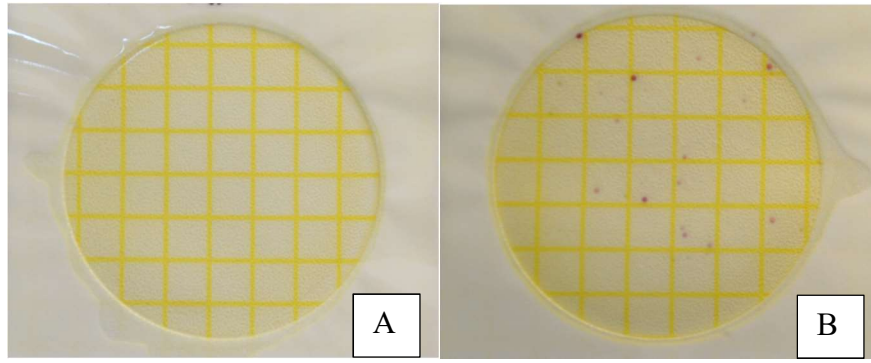
Listeria türleri hareketli, gram pozitif, sporsuz, fakültatif anerob, boyutları (1-2 µm uzunluğunda 0.4-0.5 µm çapında) değişkenlik göstermekle birlikte genel olarak kısa, yuvarlak uçları olan, kapsülsüz mikroorganizmalardır. Bünyelerinde bulunan birkaç flagella vasıtasıyla ≤30 °C hareket etmektedirler ancak 37 °C’de hareketsizdirler. *Listeria* türleri 0-45 °C arası sıcaklıkta, pH’ı 6-9 arasında değişen ortamlarda büyüme gösterebilmektedirler.

Günümüzde *Listeria spp.*’ne ait *L. monocytogenes*, *L. innocua*, *L. welshimeri*, *L. seeligeri*, *L. ivanovii*, *L. grayi*, *L. marthii*, and *L. Rocourtiae* isimleri ile bilinen sekiz tanınmış *Listeria* türü bulunmaktadır (Wang and Orsi, 2013, s. 199).

Listeria cinsinin bütün üyeleri doğada yaygın olarak varlığını sürdürmektedir. Bilinen türlerin geneli toprak, bitki örtüsü, kanalizasyon, su, hayvan yemleri, taze ve dondurulmuş gıdalardan izole edilmiştir. Bu türler arasından *Listeria monocytogenes* insanlar için patojenik özellik göstermektedir. *Listeria ivanovii* ise özellikle koyun ve keçiler olmak üzere hayvanlarda daha çok patojenik etki göstermektedir. İnsanlarda ve kümes hayvanlarında görülen enfeksiyonların sorumlusu genel olarak *Listeria monocytogenes*’tir (McMullen and Freitag, 2015, s. 1345).

Listeria monocytogenes ilk olarak Murray ve arkadaşları tarafından tavşanlarda ve gine domuzlarında tanımlanmış gram-pozitif bir bakteridir. Bakteri tanımlanmış olmasına rağmen neden olduğu hastalıklar 1980’lerin başında Kanada’da meydana gelen bir salgına kadar nadiren rapor edilmiştir. Bu salgından sonra *Listeria monocytogenes* gıda endüstrisinde geniş çapta tanınmıştır. *Listeria monocytogenes* genel olarak kontamine olmuş gıda ya da yemler vasıtasıyla bulaşır. *Listeria monocytogenes*’in gıda üretim endüstrilerinin spesifik alanlarında kolonileşebilen türlerini olması, bakterinin düşük sıcaklıklarda yaşayabilme ve gelişebilme yeteneğini arttırmış ve hatta yemeye hazır dondurulmuş gıdalarda gelişim sağlamak bu bakterinin özel ilgi alanı haline gelmiştir. *Listeria monocytogenes* gastroenterit ve listeriyoz gibi hastalıklara neden olabilmektedir. Bu mikroorganizmanın neden olduğu hastalıklardan listeriyoz yaşamı tehdit eden bir hastalıkken gastroenterit nadiren teşhis edilen sağlıklı erişkinlerin yaşadıkları hafif semptomlar ile kendini sınırlayabilen bir hastalıktır. Listeriyoz kusma ve ishal gibi grip benzeri semptomlardan, sepsis ve menenjitte kadar değişen

semptomlar gösterebilmektedir. İnvaziv listeriyoz, immün sistemi zayıf bireyler, yenidoğan, yaşlılar ve gebe kadınlar arasında %20-30 gibi yüksek bir ölüm oranına sahiptir. İnsan listeriyoz enfeksiyonlarının çoğunluğu, kontamine gıdaların tüketimi ile ortaya çıkar ve *L. monocytogenes*, düşük pH, yüksek tuz ve düşük sıcaklıklar da dahil olmak üzere çeşitli çevresel koşullardaki hayatta kalma ve / veya çoğalma kapasitesine sahip olması nedeniyle gıda endüstrisinde önemli bir problemdir. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) tarafından 1980'lerde gerçekleştirilen iki çalışmada ABD'de yılda yaklaşık 1850 vaka ve 425 kişinin ölümüyle sonuçlanan, 100000 kişi başına düşen 0.74 oranında yıllık enfeksiyon oranı (Wang and Orsi, 2013, s. 199). *L. monocytogenes* ile ilişkili tıbbi tedavi ve üretim kayıplarına bağlı maliyetlerin ABD'de yıllık 2.3 milyar dolar olduğu tahmin (Wang and Orsi, 2013, s. 199).



Şekil. 2.9. Ekim yapılan, negatif (A) ve pozitif (B) sonuçlu seçici *Listeria* (EL) petrifilm örnekleri.

Salmonella: *Salmonella* dünyadaki en önemli gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalardan biridir. İlk olarak 1885 yılında Amerika'nın Güneyinde başlayan domuz vebası ve benzeri hastalıkların araştırılması sırasında, Amerika Birleşik Devletleri'nin Tarım Bakanlığı Hayvancılık Bürosu'nda görev yapan Theobald Smith ve Daniel Elmer Salmon tarafından yapılan bu çalışmalar sonucunda grup *Salmonella Choleraesuis*'u domuz kolerasının etken maddesi olarak tanımlamış, bu nedenle ilk olarak *Hog-cholerabacillus* adını vermişlerdir (Eberth, 1880, s. 58). *Salmonella* adı 1900 yılına kadar *Joseph Leon Lignières* 'in D.E Salmon'un grubu tarafından keşfedilen patojenin Salmon'un onuruna *Salmonella* adı ile anılmasını önerene kadar kullanılmamıştır.

Gram negatif, fakültatif anaerob, sporsuz, çubuk şekilli (basilli), 0.7-1.5 µm arasında hücre boyutları, tüm hücre gövdesi etrafında 2-5 µm arasında kamçılara sahip hareketli bir mikroorganizmadır. Hücre içi enerji kaynağı olarak oksidasyon ve indirgeme

reaksiyonlarını kullanabilen kemotrop özelliğe sahiptirler. Zorunlu kaldıkları durumda oksijeni kullanarak da hücre içi enerji üretebilmektedirler. *Enterobacteriaceae* familyasının üyesi olarak sınıflandırılmıştır. *Salmonella*; *Salmonella Enterica* ve *Salmonella Bongori* olmak üzere iki türe ve altı farklı alt türe sahiptir. *Salmonella Enterica* ve alt türleri çevrede ve tüm sıcakkanlı hayvanlarda bulunabilir ancak *Salmonella Bongori* soğukkanlı hayvanlarla ve özellikle sürüngenlerle sınırlıdır (Council, 2002).



Şekil 2.10. Ekim yapılan, pozitif sonuçlu seçici *Salmonella* petrifilm örneği.

İnsanlarda, *Salmonella* çeşitli klinik belirtilere neden olur. *Salmonella typhi* ve *Salmonella paratyphi* A, insanlarda tifo ateşine neden olan organizmalardır. Sadece birkaç serotip sağlıklı hayvanlarda klinik salmonelloza neden olabilir. Domuzların, domuzlara uyarlanmış serotip olan *S. choleraesuis* ile enfeksiyonu, genellikle ölümcül olabilen sistemik bir sendrom olan domuz tifosu ile sonuçlanır. Kuş türlerinde *Salmonella gallinarum* ve *Salmonella pullorum*, kanatlı tifo ve pullorum hastalığından sorumludur. Kanatlı tifo, her yaştaki kuşlara duyarlı olmasına rağmen, daha çok yetişkin kuşları etkileyen bir akut veya kronik etki gösterebilen bir hastalıktır. Pullorum hastalığı, ölümcül olabilen genç kuşlarda daha sık görülen akut etki gösteren bir hastalıktır. *Salmonella abortusovis* ve *Salmonella abortusequi* sırasıyla koyun ve atlara etki eden türlerdir. Hayvanlarda genellikle uterusu enfekte eder ve yenidoğan hayvanların kürtajına veya mortaliteye yol açan fonksiyonel sorunların oluşumunu tetikleyebilirler. *S. abortusovis* ile enfekte olan koyunlar genellikle yaşamlarında bir kez düşük yaparlar (Pavia, 2007).

İnsanlarda ortaya çıkan gastroenterit, klinik olarak en sık görülen *Salmonella* enfeksiyonudur. 6 ila 72 saatlik bir inkübasyon periyodundan sonra (ortalama 24 saat),

ani başlayan bulantı, kusma ve kramp, karın ağrısı, sulu veya dizanteri yani, kan ve mukus içeren ishali takip eder. Vakaların yaklaşık %70'inde 38.5° C – 39 ° C arasında ateş yükselmesi gözlemlenmiştir. Dışkı nötrofil ve gizli kan içerebilir (Wang and Orsi, 2013, s. 199).

Dünya çapında hastalıklı tifo ve paratifoid ateşin yılda yaklaşık 600.000 ölümle birlikte, hastalığın 27 milyon kişiye bulaştığı tahmin edilmektedir. Özellikle güney, orta ve güneydoğu Asya'da ve Güney Afrika'da yetersiz beslenme ve yoksulluk nedeniyle bağışıklık zayıflayan çocuklarda hastalık riski daha fazladır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda yaklaşık 300 tifo vakası rapor edilmektedir; hastalığa endemik bölgelerden gelen ziyaretçilerin neredeyse %80'inde rastlanmaktadır. Özellikle Hint Yarımadası'ndan gelen çocuklar bu %80'lik dilimin %40'lık bölümünü oluşturmaktadırlar (Wang and Orsi, 2013, s. 199).

Salmonellanın taşıma enfeksiyonunun yayılmasında büyük rol oynamaktadır. Taşıma araçlarının düzenli olarak temizlenmesi bu konuda yayılmayı engelleyici bir önlem olarak öne sürülebilir. Özellikle hayvan taşınımı sırasında farklı sürülerdeki hayvanlar arası taşınımın gerçekleşmemesi için araç temizliğine ve dezenfeksiyonuna önem verilmelidir. Hayvanlara uygulanan aşılama önemli bir korunma yolu olabilmektedir ancak şu an mevcut aşılarda tüm hayvanlarda optimum etki göstermemesi sebebiyle çok etkili bir yöntem olarak belirtilememiştir. Aynı şekilde inşaların kullandıkları taşıma sistemlerinde de temizlik ve dezenfeksiyon büyük önem arz etmektedir.

Koliform: Koliform bakterilerden çoğu *Enterobacteriaceae* familyasına aittir. Bu familyanın içerisinde çok sayıda patojen mikroorganizma olduğu gibi aynı zamanda ilaç ve gıda endüstrisinde önemli role sahip yararlı türlerde bulunmaktadır. Familyanın bazı üyeleri doğada organik maddelerin çürütülmesinde görev almaktadırlar. Ekosistemin önemli üyelerini içinde bulunduran bu familyada insan ve hayvanların normal bağırsak florasını oluşturan önemli türlerde yer almaktadır.

Koliform su kalitesi ve gıda sektöründe genele olarak ürünlerin sıhhat durumlarını kontrol etmekte belirteç olarak kullanılan bakterilerdir. Koliform grubunun içerisinde birçok farklı bakteri türü bulunmaktadır. Genel bir tanım yapılacak olursa; çubuksu şekle sahip gram-negatif özellik gösteren 35-38 °C'de optimum yaşam koşullarına sahip mikroorganizmalardır. Doğada sulak ortamlarda, toprakta, bitkilerde de bulunurlar genellikle en sık görüldükleri yerler sıcak kanlı hayvanların dışkılarıdır. Koliform grubuna üye bakteriler genellikle kendileri hastalıklara sebep olmazlar ancak bir ortamda

varlığının tespit edilmesi beraberinde patojen özellik gösteren bazı zararlı organizmaların ve dışkı kaynaklı bir kirlenmenin varlığını gösterebilmektedir.

Koliform bakterileri oluşturan cinslerden bazıları ; *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Yersinia* 'dır.

Citrobacter :

Citrobacter spp. *Enterobacteriaceae* familyasında ait hareketli, fakültatif anaerob, gram-negatif basillerdir. Birçok suşu bulunan *Citrobacter spp.*'den, *C. Freundii*, *C. koseri* ve *C. braakii* en önemli insan patojenleridir. *Citrobacter spp.* cinsi memelilerin ve diğer omurgalıların bağırsak florasının üyeleridir. Su ve toprak gibi çevresel kaynaklarda bulunmaları, genellikle bu kaynaklara dışkı bulaşması sonucu ortaya çıkmaktadır. *Citrobacter spp.* cinsinin üyeleri insan enfeksiyonlarında sık rastlanan patojenlerden değildir ve çoğu zaman dışkıdan mide bağırsak sisteminin normal florası olarak geri kazanılır. Ancak bazı suşlar insanlarda önemli enfeksiyonlara neden olabilmektedir. Şimdiye kadar *Citrobacter* insanlardan kan, beyin omurilik sıvısı (BOS), idrar, solunum yolu salgıları ve yaralar vasıtası ile izole edilebilmiştir. İnsan kaynaklarından en çok izole edilen *Citrobacter spp.*'ler; belirtilen tü bölgelerden *C. Freundii*, genel olarak tüm bölgelerden ancak yaygın olarak beyin ve beyin omurilik sıvısından *C. Koseri*, beyin omurilik sıvısı hariç tüm bölgelerden *C. Amalonicus*, genellikle dışkıdan *C. braakii* ve *C. youngae*'dir. *Citrobacter spp.* insanlarda idrar yolu enfeksiyonları, solunum yolu, merkezi sinir sistemi hastalıkları (CNS), deri ve yumuşak doku enfeksiyonları dahil olmak üzere birçok hastalığa yol açabilen fırsatçı patojenlerdir. Bu patojenler yeni doğanlarda ve bağışıklık sistemi zayıf düşmüş bireylerde osteomyelit, süpüratif artritis, bakteriyemi, endokardit, endoftalmi ve intraabdominal gibi birçok enfeksiyona da neden olabilmektedir (Long vd., 2012).

Enterobakter

İnsanlar ve diğer memelilerin gastrointestinal kanalının normal florasında bulunurlar. Ayrıca su, kanalizasyon, toprak, bitki materyali ve gıdalarda yaygın olarak bulunabilirler. Enfeksiyona bağlı olarak insanlardan elde edilen izolatları, arasında *E. cloacae* ve *E. Aerogenes* bulunmaktadır. *Enterobacter spp.* insanlar için fırsatçı patojenler olup, nozokomiyal pnömoni, idrar yolu enfeksiyonu, cerrahi yara enfeksiyonu ve kateterle ilişkili kan dolaşımı enfeksiyonunun (BSI) en yaygın nedenleri arasındadır. Bu organizmalar özellikle hastanede yatan hastaların deri ve solunum, idrar ve gastrointestinal kanallarını enfekte eder. Diğer *Enterobacter spp.* suşlarının bebeklerde

ve çocuklarda neden oldukları enfeksiyonlar arasında menenjit, beyin apsesi, endokardit, piyojenik artrit ve peritonit bulunur. *Enterobacter spp.* suşları aynı zamanda nozokomiyal gastrointestinal, idrar yolu, cerrahi bölge, göz, kulak, burun ve boğaz enfeksiyonları ile ilişkilidir (Long vd., 2012).

Klebsiella

Gram negatif, fakültatif anaerob, hareketsiz, çubuk şekilli bakterilerdir. *Enterobacteriaceae* familyasının üyeleridir. Familyanın diğer üyeleri gibi insan ve memelilerin bağırsak florasının normal elemanlarıdır ve doğadada sıklıkla bulunurlar. Merkezi sinir sistemi (CNS), solunum yolu, idrar yolu, kas-iskelet sistemi ve periton boşluğu enfeksiyonları; deri apseleri ve ameliyat sonrası, travma ve yanık yara enfeksiyonları gibi birçok hastalığa neden olmaktadır. Yenidoğanlarda ise kan dolaşım sistemi enfeksiyonları (BSI), menenjit, beyin apsesi, konjunktivit, hepatik apse, endokardit, pnömoni gibi birçok hastalığa sebebiyet vermektedirler (Long vd., 2012).

Hafnia

Hafnia , hem nozokomiyal hem de toplum kaynaklı enfeksiyonlarda rol oynayan nadir bir patojendir. *Enterobacteriaceae* familyasına ait gram-negatif fakültatif anaerobik rod bakterisidir. İlk kez 1954'te tanımlanmış olmasına rağmen, yaygın olarak görüldüğü çevre ve patojenik nitelikleri hakkında hala bilgi eksikliği vardır. Memelilerin gastrointestinal kanallarında, soğutulmuş etlerde ve bazı bitki ve sebzelerde bulunabilir.

Yersinia

Yersinia, fakültatif anaerob, gram negatif, çubuk şekilli kokobasil hücre şekline sahip bakterilerdir. *Enterobacteriaceae* familyasının üyeleridir. *Yersinia pseudotuberculosis*, zaman zaman insanı enfekte ettiği bilinen kemirgen parazitidir. *Yersinia pestis* vebadan sorumlu ajandır. Veba hastalığının üç türüne de (bubonik, pnömonik, septicemik) neden olabildiği bilinmektedir. *Yersinia enterocolitica* gastroenterite neden olur ve su iletimi ile ilgili en önemli *Yersinia* türüdür. *Yersinia enterocolitica* esas olarak akut enteritise neden olur, ancak bakteremi, eklem ağrısı ve döküntüler gibi enfeksiyonlar zaman zaman ortaya çıkmıştır. En sık görülen semptomlar ateş, diyare ve karın ağrısını içerir. Bu mikroorganizmalar yüzey ve yeraltı su kaynaklarında bulunmuştur, ancak genel olarak çevrede nasıl meydana geldikleri hakkında çok az şey bilinmektedir. İçme suyu kaynaklarında bulunanlar, çoğunlukla insanlar için patojenik olmayan suşlardır. *Yersinia* klor'a duyarlı gibi gözükmemektedir. Bu

nedenle iyi derece dezenfekte edilmiş su kaynakları *Y. enterocolitica*' yı kontrol etmekte yeterli olabileceği öngörülmektedir.

Küf-Maya

Özellikle havada bulunan büyümek için besin bulunan nemli ortamları tercih eden organizmalardır. Küfler sporlar üreterek çoğalmaktadırlar. Gelişimleri için nemli ortam ön koşuldur. Büyüme koşulları arasında çok geniş bir sıcaklık aralığı bulunmaktadır. Bunun yanında küfler organik atıkları çürüterek doğaya katkı sağlarlar. Aynı zamanda küfler ilaç yapımında da sıkça kullanılan türlerdir. Ancak bazı türleri insanlar ve hayvanlar için toksik etki gösterebilmektedirler. Genellikle solunum yolu ile alındığından solunum sistemlerinde alerji, konjoktivit, astım gibi hastalıklara sebebiyet vermektedirler. Yapılan çalışmalar iç mekanlarda küflere maruz kalınması sonucunda özellikle göz, burun ve boğaz tahrişi, burun tıkanıklığı, kuru öksürük ve halsizlik arasında bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Yapılan araştırmalarda özellikle tesisat sistemlerinde veya binaların yapılarında var olan hasarlar nedeniyle yüksek nem oranına sahip duvarları olan binalardan bir dizi küf izole edilmiştir. Genele olarak en çok izole edilen türler *Penicillium*(% 96), *Cladosporium* (% 89), *Ulocladium* (% 62), *Geomyces pannorum* (% 57), ve *Sistronema brinkmannii* (% 51) olarak sıralanabilmektedir. Yapılan başka çalışmalarda ise insan için bilinen patojen küflerden olan *Aspergillus spp.* ve *Stachybotrys chartarum* izole edilmiştir. Ancak *Stachybotrys chartarum* optimum büyüme koşulları için yüksek oranda(%93) neme ihtiyaç duyduğundan daha ender görülen bir türdür.

Aspergillus spp. Her türlü ortamda bulunabilen 200'den fazla alt sınıfa sahip bir küftür. Genel olarak toprak kökenli ekosistemleri bulunmaktadır. Genellikle aerobiktirler bol oksijenli ortamlardaki nem ve besin oranına bağlı olarak sıklıkla gözlemlenirler. *Aspergillus fumigatus* ve *aspergillus flavus* türleri patojendir. İnsanlarda ve hayvanlarda kronik aspergilloz ve alerjik hastalıklara neden olan türler arasında en yaygın olanlarıdır (Long vd., 2012).

Stachybotrys chartarum iç alanlarda bulunan mikotoksin (Mikotoksinler, hem hayvanlar hem de insanlar tarafından tüketilen çeşitli gıda maddeleri üzerinde büyüyen mantarlar tarafından üretilen çeşitli ikincil metabolitlerdir. Hayvan mikotoksikozu tatlı yonca zehirlenmesi, moldy- mısır toksikozunun, cornstalk hastalığı, sığır hiperkeratoz ve kümes hemorajik sendromu gibi çeşitli salgın hastalıklar ile ortaya çıkmıştır ve trikotesenlerin (trikotesenler hücrenin protein sentezi mekanizmasını inhibe ederek DNA

ve RNA oluşumunu bloke ederler) üreticisi olduğu için küflerin en önemlilerindendir. (Yoltaş ve Haliki, 2008, s. 39)

Mayalar mantar türlerinin en çok patojen özellik gösteren türüdür. Genel olarak sporlanarak üreme özelliklerine sahiptirler. İnsan vücut sıcaklığında optimum büyüme koşullarını sağladıkları için patojen özellik gösterme olasılıkları daha da artmaktadır. Başlıca görülen türleri arasında *Candida spp.*, *Saccharomyces spp.*, *Cryptococcus spp.* bulunmaktadır (Kurtzman vd., 2011, s. 9)

Candida spp., 200'den fazla türe sahip olan bu sınıf özellikle çocuklarda birçok hastalığın meydana gelmesine neden olur. Özellikle bebeklerde yüksek ölüm oranına sahip olan *Candida* türleri buna ek olarak kronik akciğer rahatsızlıkları invaziv kandidiyazis, menenjit, böbrek ve idrar yolu enfeksiyonları gibi hastalıklara neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada *Candida* hastane enfeksiyonlarına en sık neden olan ikinci organizma olarak ortaya çıkmıştır (Long vd., 2012).

Cryptococcus spp., bulaşıcı havadaki parçacıkların solunması ile elde edilir. Kuluçka süresi bilinmemektedir ve haftalar, aylar, hatta daha uzun olabilir. Organizmanın optimum büyüme sıcaklığı 37 °C olarak bilinmektedir. Teneffüs ettikten sonra organizmalar immün sistemi baskılanmış hastalarda akciğerlerden başka bölgelere yayılabilirler. Kemik ve yumuşak doku dahil olmak üzere herhangi bir organ etkilenebilmektedir, ancak hastalığın en ciddi şekli menenjittir ve tedavi edilmezse ölümcül olabilmektedir. Merkezi sinir sistemine enfeksiyonlarında sık baş ağrısı, yüksek ateş gözlemlenmektedir, akciğer enfeksiyonlarında öksürük, göğüs ağrısı gibi belirtiler gözlemlenmektedir (Long vd., 2012).

3. MALZEME ÇALIŞMALARI

3.1. Uçaklarda Kullanılan Malzemeler

Havacılık endüstrisinde kullanım amacıyla geliştirilen malzeme ve alaşımlar, birçok sektör için öncü olmuş ve yapı malzemesi olarak tercih edilmiştir. Özellikle hava araçları gövdesinde kullanılan malzemelerin bakım detaylarının bilinmesi, mukavemetlerinin ve belirli koşullara dayanımlarının anlaşılmış olması büyük önem taşımaktadır. Hava araçlarında yalnızca imalat aşamasında değil bakım ve onarım süreçlerinde, tasarım değişikliklerinde de meydana gelebilecek en küçük sapma veya hata beraberinde can ve mal kaybını getirebilmektedir. İşçilik veya üretim teknolojisi ne kadar başarılı olursa olsun uygun olmayan malzemelerin kullanımı bu avantajları ortadan kaldırmaktadır. Bu anlamda onarım veya üretim için doğru ürünün seçimi bir uçağı meydana getiren çok sayıda malzemenin özelliklerine aşina olmayı gerektirmektedir. Havacılıkta kullanılan malzemeler temel olarak metalik ve metalik olmayan malzemeler olarak iki kısımda değerlendirilmektedir. Havacılık endüstrisinde metalik malzemeler içerisinde en çok kullanılan yapı bileşenleri alüminyum, magnezyum, titanyum, çelik ve bunların alaşımlarıdır.

Hava araçlarında tasarım kriterleri; yangın güvenliği, bileşenlerin tasarımı, havayolu operasyonları ve imalat olmak üzere 4 başlık altında değerlendirilmektedir.

Tablo 3.1. Kapsayıcı tasarım kriterleri şablonu



FAR (Federal Havacılık Gereksinimleri), Kısım 25'te taşımacılık amaçlı kullanıma sahip uçakların uçuşa elverişliliği için düzenleyici gereklilikler yer almaktadır. Bu düzenlemede bulunan Alt bölüm D (Tasarım ve Yapı) kısmında FAR 25.853 kabin içi ve FAR 25.855 kargo ve bagaj kompartımanlarıyla ilgili standartlar bulunmaktadır.

Bir uçağın iç kısmı, basınç kabuğu içerisinde yer alan yani uçak gövdesinin basınçlı kısmında bulunan her şeyi kapsamaktadır. Bu bölgelerle ilgili olarak FAR 25.853 standartları, mürettebat ve yolcuların bulunduğu tüm alanları kapsamaktadır. Kabin içerisinde kaplamaların altındaki bölgelerde bulunan (yolcu ve mürettebat tarafından görülemeyen alanlar) elektrik kabloları, havalandırma kanalı, termal ve akustik yalıtım kaplamaları vb. yine bu standartlara tabidir.

Bir hava taşıtında kabin içi ; FAA ve diğer düzenleme kuruluşları, havayolu firması, yolcular, mürettebat ve hava aracı imalatçıların gereklilikleri sağlanarak tasarlanıp üretilmektedir. Tasarım kriterlerini ve diğer gereksinimleri karşılayan parçaların üretiminde kullanılan malzemeler birkaç ana başlık altında değerlendirilmektedir. Yangına dayanıklılığın geliştirilmesi amacıyla iç mekânlarda kullanılan malzemeler de aynı seçim ve kullanım kriterlerine tabi olmaktadır. Mevcut durumda uçaklarda, dikey ve tavan yüzeylerinin çoğu, fenolik reçine ve fiberglas veya karbon fiber takviyeli yüzey tabakası ve bir poliamid çekirdeğinden imal edilmiş sandviç panellerden oluşmaktadır. Bu paneller, çok çeşitli desen ve renklerde basılmış, farklı parlaklıklara ve kabartmalara sahip yüksek şekillendirilebilirlik özelliğine sahip termoplastik filmlerle kaplanmıştır. Her biri farklı olan bu yapı elemanlarının tutarlı bir şekilde eşleştirilmesi gerekmektedir.

Yanmaya dayanıklı bazı tekstil ürünleri birtakım zorlukları da beraberinde getirmiştir. Geliştirilmiş yanma direncine sahip yeni jenerasyon sentetik lifler açık renkli pigmentlerle boyanmalarını engelleyen doğal koyu bir renge sahip olduğundan kabin içerisinde kullanımları estetik sebeplere bağlı olarak kısıtlanmaktadır (Hasselbrack, 1995). Güç tutuşur özelliğe sahip yün, döşeme ve perdelik kumaş için kullanılan ana malzemeyi oluşturmaktadır. Yine güç tutuşur özelliğe sahip polyester de bazı tekstil uygulamalarında yer almaktadır. Halılar için yangın dayanımı, döşemelik ve perdelik kumaşlara göre daha büyük önem arz etmektedir ve yün malzemelerde doğal olarak bulunan güç tutuşurluk niteliğinin artırılması, formülasyon anlamında bazı zorlukları bulunan bir süreçtir. Bu nedenle halılar, çok sınırlı bir renk paletinde veya yün/sentetik hibrit kumaşlar ile yeni malzemelerden imal edilmektedir.

Hava taşımacılığı endüstrisi ve düzenleyicilerinin, bu sistemin güvenliği konusunda yoğun, güçlü ve tavizsiz bir önceliğe yer vermesiyle bu anlamda önemli miktarlarda güvenlik verisi elde edilmiştir. Bu verileri (havacılık güvenlik kayıtları) korumak ve geliştirmek için uçak-uçuş ekibi, uçak mekaniği ve hava trafik kontrolörleri, operasyon ve bakımdan sorumlu kişiler sıkı güvenlik kriterlerine göre seçilmekte ve eğitilmektedir.

Hava araçları insan yaşamının mümkün olmadığı aşırı çevre koşullarında rutin olarak çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Uçakların bu koşulların bulunduğu binlerce kilometrelik irtifalara çıkarılabilmesi için gereken yakıt miktarı çok fazladır. Örneğin bir Boeing 747 nin taşıdığı yakıtta (50.000 galondan fazla) bulunan ısı enerjisi, tüm uçağın yakılıp eritilmesi için gerekenden fazladır. Bu durum havacılıkta uygulanan olağanüstü güvenlik önlemlerinin gerekçelerinden biridir. Uçak tasarımı, üretimi ve işletimi için gerekli asgari güvenlik standartları FAA yönetmelikleri ile belirlenmektedir. Bu düzenlemelere ilave olarak uçak üreticileri yasal gerekliliklerin de ötesine geçen ek tasarım kriterleri de kullanılmaktadırlar (Boeing, Airbus vb.). Kabin içerisindeki ortam ile ilgili güvenlik gereksinimleri, normal operasyonlar (çarpışma-kaza ile ilgili olmayan tüm durumlar) ve bazı kaza senaryolarına göre geliştirilmektedir. Çok sayıda kriter olmasına rağmen başlıca durumlar şunlardır;

- Yapısal mukavemet ve sağlamlık
- Yangına dayanıklılık (Duman oluşumu kontrolü dahil)
- İç yapılandırma (düzenleme) ve acil tahliye
- Acil durum oksijen sistemleri.

Bunlar arasında yanma dayanımı, mukavemet ve dayanıklılık, yangına dayanıklı ve düşük duman oluşturma kabiliyetine sahip malzemelerin geliştirilebilmesi için yapılan araştırmalarda en büyük etkiye sahip olmuştur.

Fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra konfigürasyon ve yerleşim gereksinimleriyle ilgili düzenlemelerin de olmasına rağmen, FAA'nın iç mekan da kullanılan ürünler için oluşturduğu düzenlemeler büyük ölçüde kullanılan malzemelerin yanma davranışı ile ilgilidir. Taşımacılık amacıyla kullanılan uçaklardaki yanma kriterleri FAR 25.853, FAR 25.855 ve FAR 25.869 yönetmelikleriyle belirlenmiştir. Kabin içerisinde kullanılan çoğu bölgede (koltuk ve kargo gömlekleri hariç) bunsen brülör testi, tutuşmaya karşı direnç ve alev sürdürme özelliklerinin anlaşılmasında kullanılmaktadır.

Dikey yakma testine ilave olarak kabin içerisinde kullanılan panel ve kaplamalar toplam ısı salınımı, ısı salınım oranı ve üretilen duman yoğunluğu gerekliliklerini karşılamak durumundadır.

3.1.1. Metalik malzemeler

Alüminyum alaşımları günümüz hava araçlarında geniş kullanım alanına sahiptir. Dayanıklı ve hafif olmaları nedeniyle de uygun malzemeler olarak uçaklarda kullanılmaktadır. Göreceli olarak işleme kolaylığı ve korozyon dayanımı alüminyum alaşımlarını cazip hale getirmektedir.

Magnezyum dünyanın en hafif yapısal metalidir. Ağırlık olarak alüminyumun 2/3'ü olan magnezyum gümüş-beyaz renklidir. Helikopter imalatında tercih edilmiş olmasına rağmen, düşük korozyon direncine sahip olması hava araçlardaki kullanımını sınırlandırmaktadır.

Titanyum hafif, güçlü ve korozyon direnci yüksek bir metalik malzemedir. Günümüzde yapılan çalışmalar, alüminyum alaşımlarının çok zayıf olduğu ve paslanmaz çeliğin ağır olduğu uygulamalar için titanyumu ideal malzeme olarak göstermektedir. Ayrıca titanyumun deniz suyuna veya atmosferine uzun süre maruz kalması avantajları arasında yer almaktadır.

Alaşımlar kavramı iki ya da daha fazla metal kompozisyonunu ifade etmektedir. Alaşım içerisinde bulunan en büyük miktardaki metal, baz metal olarak adlandırılmaktadır. Bunu dışında kullanılan malzemeler alaşım elementleri olarak bilinmektedir. Alaşım elementlerinin kullanılması baz metalin özelliklerinde birtakım değişikliklere yol açabilmektedir. Örnek olarak saf alüminyum göreceli olarak yumuşak ve zayıf bir metaldir. Ancak küçük oranlarda magnezyum ve bakır, manganez ile katkılanması alüminyumun mukavemet özellikleri çok daha güçlü hale getirilmektedir. Isıl işlemler de alaşımların sertlik ve dayanıklılık özelliklerini artırıp azaltabilmektedir. Hava araçları endüstrisinde büyük öneme sahip alaşımlar saf metallerin sahip olmadıkları özellikleri kazanmak için kullanılmaktadır.

Uçak imalatında kullanılan alaşımlı çelikler, diğer mühendislik alanlarının gerektirdiğinden çok daha fazla mukavemete sahiptir. Söz konusu malzemeler günümüzde üretilen modern hava araçlarında kullanılabilir olmalıdır. Belirli oranlarda karbon, nikel, krom, vanadyum ve molibden içeren çelik alaşımları kullanım yerine göre ihtiyaç duyulan dayanıklılığı sağlayabilmektedir. Yüksek dayanıma sahip çelik alaşımları

inç kare başına 50 ila 150 tonluk bir gelirim yapısal bütünlüğü zarar görmeden dayanım gösterebilmektedir. Çeliğin bir diğer kullanım biçimi olan paslanmaz çelik özellikle korozyon direnci ve suyla temas eden bölgeler için tercih edilmektedir.

3.1.1.1. Demir içeren malzemeler

Demir Dünya’da en çok bulunan elementlerden biridir. Oksitlenebilme kabiliyeti çok yüksektir. Saf haliyle oldukça yumuşak, sünebilen, yoğunluğu 7870kg/m^3 olan oldukça ağır bir elementtir. Döküm demir normalde %2’den fazla karbon ve bir miktar silikon içermektedir. Piston halkaları ve valf kılavuzları gibi sertliğin ve gözenekliliğin gerekli olduğu durumlar haricinde uçaklarda bazı kullanım alanları bulunmaktadır. Küresel grafitli dökme demir olarak bilinen bir diğer türü, magnezyum ve nikel eklenerek üretilmektedir. Piston motoru ve krank millerinde kullanılabilir.

Çelik, pik demirin (yüksek karbon içeriğine sahip demir) rafine edilmesi ile üretilmektedir. Hava taşıtlarının yapımında kullanılan yüksek kaliteli çelik, genellikle alaşımlar hazırlanırken gaz fırınlarına göre daha iyi sıcaklık kontrolü sağlanan elektrikli fırınlarda üretilmektedir. Karbon elektrotların yoğun bir ark oluşturmaktadır bu sayede erimiş haldeki çelik saf hale getirilmekte ve eklenen alaşım malzemelerinin miktarı ölçülebilmektedir. Uçak imalatında en çok kullanılan alaşım elementlerinden biri molibdendir. Çarpma mukavemeti ve elastikliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Aşınma ve yorulma direncinin yüksek olması bu malzemenin çelik yapısal elemanlarında ve motor parçalarında kullanımına olanak sağlamaktadır. Krom-molibden çeliği ise muhtemelen uçak endüstrisinde en çok kullanılan alaşımlı çeliktir. Uçak üretiminde iniş takımları, motor montaj elemanları ve yine motor da birçok bileşenin imalatında kullanılmaktadır.

Tungsten son derece yüksek bir erime sıcaklığına sahiptir ve alaşım olarak kullanıldığında çeliğe de bu özelliğini belirli ölçülerde kazandırmaktadır. Yüksek sıcaklıkta sertliğini muhafaza eden bu alaşımlar manyetolarda ve hız kesicilerde kullanılmaktadır.

3.1.1.2. Demir içermeyen metaller

Demir içermeyen metalik malzemeler öncelikle saf halde kullanılan diğer metalleri kapsamaktadır Bunlar; Saf alüminyum, saf bakır, saf magnezyum ve saf titanyum olarak sıralanabilir.

Saf alüminyum uçak üretiminde kullanılmak için yeterli güce sahip olmadığından genelde alaşımları ile kullanılmakta ve özellikle orta/yüksek mukavemet gerektiren malzemeler elde edilmesine yardımcı olmaktadır. En yaygın alaşım elementleri olarak bakır, manganez, magnezyum, ve çinko kullanılmaktadır.

Döküm alüminyum alaşımları mukavemet, zayıf yorulma özellikleri ve elastikiyet eksikliğinden dolayı hava araçları gövde üretiminde yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Elastikiyet özelliklerinin yetersiz olması uçak gövdelerinin hasar görmeden yeteri kadar esneklik gösterebilmelerine izin vermemektedir.

Kaplama malzemeleri alüminyum alaşımlarının yüzey korozyonlarını ciddi şekilde azaltmaktadır. Bu yüzeyin zarar görmesi koruduğu bölgede korozyona açık bir alan yaratacağından aşınma ve çizilmelere karşı dayanıklı olmalıdır.

Demir içermeyen (non-ferro) magnezyum alaşımları genellikle kaplamalarda kullanılmaktadırlar, Bu malzemeler uçak yapımında kullanılmak üzere yeterli dayanıma ve uygun çalışma özelliklerine sahip en hafif metaller arasındadırlar. Ancak yüksek korozyon hassasiyeti kullanımını büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. Çatlama problemleri de magnezyum alaşımlarının şekillendirilmesi süreçlerindeki zorluklara katkıda bulunmaktadır. Bu kırılmaların üstesinden gelmek için ısıtma uygulamaları kullanılmaktadır.

Havacılıkta kullanılan bakır alaşımları genelde pirinç ve çeşitli bronzlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Berilyum bronz en sık karşılaşılan alaşımlardandır. Isıl işlem görmesinin ardından çok güçlü bir yapıya sahip olan bu alaşım hassas rulmanlar gibi yüksek dayanım göstermesi gereken yerlerde kullanılmaktadır.

Hafif ve güçlü olmalarının yanı sıra titanyum alaşımlarının tuzluluk şartlarında korozyona olan güçlü dirençleri bu alaşımların havacılık için en önemli malzemeler arasına alınmasına neden olmaktadır. Saf formda, oksijen ve azot ile reaksiyonu önlemek için titanyum, titanyum dioksit kaplaması ile kaplanmalıdır.

3.1.2. Metal dışı malzemeler

Metaller dışında da havacılık endüstrisinde, kaplama, boya, gövde, kabin içi yapı elemanları gibi hemen her yerde farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar ahşap, tekstil malzemeleri, plastik, reçineler gibi çok çeşitli ürünlerden imal edilmekte ve kullanılmaktadır. Bu malzemeler içinde en çok kullanılanlarından biri plastik malzemelerdir. Özellikle saydam plastik, güçlendirilmiş plastik, kompozit ve karbon fiber malzemeler havacılıkta geniş kullanım alanına sahiptirler.

Saydam plastikler özellikle muharebe uçaklarında kokpit üzerinde görüşü sağlayan şeffaf kubbe bölgede, ön camlarda ve diğer saydam bölgelerde tercih edilmektedir. Yaklaşık 225 °F' da ($\cong$ 107 °C) saydam plastik malzemenin yumuşak ve bükülebilir hale gelmesi nedeniyle, kullanımında birtakım avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır.

Takviyeli plastikler anten örtüleri, kanat uçları gibi kısımlarda kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahip bu malzemeler küf oluşumu ve çürümeye dayanıklıdır. İşlenme kolaylığı hava araçlarında çeşitli alanlarda kullanımına imkân sağlamaktadır. Takviyeli plastikler uçaklarda kullanılan şekilleri düşünüldüğünde genellikle sandviç tipi bir malzemedir. Temel olarak iki dış yüz ve orta katmandan meydana gelmektedir. İki dış yüzeyi oluşturan kaplamalar, bir sıvı reçine kullanılarak bir araya getirilmiş birkaç cam elyaf tabakadan imal edilmektedir. Orta tabakada cam bezden yapılmış bal peteği görünümünde olan bir tabaka bulunmaktadır. Bu malzemeler çeşitli boyutlarda ve kalınlıklarda üretilmektedir.

Yüksek performanslı hava araçları fazladan mukavemet-ağırlık oranına ihtiyaç duymaktadır. Bu amaçla geliştirilen kompozit malzemeler çeşitli niteliklere sahiptir. Kompozit malzemeler birkaç tabaka ve çeşitli bağlayıcılar kullanılarak yapılandırılmakta ve diğer malzemelere mekanik olarak bağlanmaktadır. Alüminyum petek yapıda çekirdeğe birleştirilmiş ince grafit epoksiden meydana gelen ve farklı kullanım bölgeleri için oluşturulmuş kompozit malzemeler de kullanılmaktadır.

3.1.3. Kabin içi malzemeler

Uçak kabinleri çok kompleks yapılar olmaları sebebiyle dijital araçlardan tekstil ürünlerine hatta yaşam alanı niteliğinde olmaları sebebiyle gıda maddelerine kadar çok farklı unsuru içerisinde bulundurmaktadır. Kabinde kullanılan her bir bileşen (çeşitli işlemler ve dekoratif yüzey uygulamaları dahil) çeşitli standartlara sahip olmalıdır. İç tavan panelleri, iç duvar panelleri, bölmeler, mutfak alanı (galley), yapısal döşemeler, kabin içi bagaj alanları birtakım testleri karşılayabilir nitelikte olmalıdır. Bu anlamda kullanılacak tüm malzemelerin yanma davranışlarının biliniyor olması gerekmektedir. Plastik, tekstil ürünleri, reçineler, kompozit malzemeler, ahşap ürünler, metal malzemeler kabin içerisinde sıklıkla kullanılan ürünler arasındadır. Kullanılan tüm bu malzemeler için Federal Havacılık İdaresi (FAA), Uçuş Güvenliği Standartları (PART 25), İç bölme gerekliliklerinin (25.853) sağlanmış olması gerekmektedir.

Kabin içerisindeki uygulamalar ve kullanılan malzemeler:

Taban ve taban kaplamaları:

- Esnek retan ray kapakları ve üretan köpük kenar bandı ile aramid bal peteği yapısı. Cam/karbon takviyeli epoksi ve fenolik reçine,
- Mylar film kaplı Mutfak alanı ve giriş zemini panelleri,
- İsteğe bağlı olarak keçe altlık ile zemine çift taraflı bant ile sabitlenmiş yn veya plastik malzemeden imal edilmiş halı,
- PVC Galley (mutfak alanı) rts

Alt yan duvar panelleri:

- Dış tabakası PVF (polivinil florür) den imal edilmiş, Cam/Karbon-takviyeli epoksi reçineye sahip dekoratif, termoplastik lamine film.

st yan duvar panelleri:

- Dış tabakası PVF (polivinil florür) den imal edilmiş, Cam/Karbon-takviyeli epoksi reçineye sahip dekoratif, termoplastik lamine film.

Aydınlatma kapakları:

- Polikarbonat

Baş st bagaj bölmeleri:

- Dış tabakası PVF (polivinil florür) den imal edilmiş, Cam/Karbon-takviyeli epoksi reçineye sahip dekoratif, termoplastik lamine film. retan köpük kenarlar.

Boşluk doldurucular:

- Silikon veya üretan köpüğü

Yolcu koltukları:

- Yn, yn/naylon veya deri döşeme
- retan köpük minderler
- Polibenzimidazol veya aramid lifi yanma engelleyici tabaka
- Suda yüzebilir poliüretan köpük
- Termoplastik servis tepsileri ve telekomünikasyon ekipmanı / Kabin içi eğlence sistemi vb.

Kabin görevlisi koltukları:

- Yn, yn/naylon veya deri döşeme

- Üretan köpük minderler
- Polibenzimidazol veya aramid lifi yanma engelleyici tabaka
- Suda yüzebilir poliüretan köpük

Bölmeler:

- PVF dış tabakalı dekoratif termoplastik lamine film ile kaplanmış cam/karbon takviyeli fenolik malzeme, yün tekstil malzemeden imal edilmiş iç astarı (sık kullanılmamaktadır).

Plakardlar (Uyarı ve bilgi etiketleri/levhaları):

- PVC (Polivinil klorür) veya poliüretan

Yalıtım:

- Fenolik bağlayıcılı fiberglas ve PVF / Poliamid örtü / PVC köpük / nitril kauçuk / Polietilen / Poliamid

Pencereler:

- Dış bölme, gerilmiş akrilik (Polimetakrilat)
- İç bölme, dökme akrilik.
- Tozluk, polikarbonat veya akrilik.

Yolcu servis birimleri:

- Kalıplanmış ısıya dayanıklı termoplastikler (PEI, PPSU, PEKK) veya alüminyum/cam karbon takviyeli fenolik malzeme.

Hortumlar:

- Silikon, naylon veya üretan

Havalandırma kanalı:

- Cam-takviyeli fenolik, epoksi, siyanat ester veya poli (isosiyanat) köpük (geniş kanallar için)
- Güç tutuşur plastik malzeme, cam-takviyeli silikon, poliamid köpük üzerine aramid elyaf
- Elyaf-takviyeli polifenilson ve polietherimid

Uçak koltukları:

Uçak koltukları çok sayıda farklı metal dışı malzemeden imal edilmektedir. Bu yapı temel olarak 5 başlık altında gruplandırılabilir. Bunlar;

- Kauçuk köpük minderler,
- Döşemeler,
- Yanma engelleyici tabaka,
- Plastik kalıplar,
- İskelet olarak sıralanmaktadır.

Küçük metal dışı koltuk malzemeleri FAR 25.853(B) standartlarını karşılamak durumundadır. Geniş alan bileşenleri için Ek F Kısım IV ve V’de tanımlanan ısı salınımı ve duman yoğunluğu (FAR 25. 853 (a) ve (a-1)) gereksinimleri sağlanmalıdır. Köpük kauçuk, döşemelik kumaş ve (opsiyonel olarak) yangın engelleyici tabaka içeren koltuk minderleri de FAR 25.853(c) gereksinimlerine sahip olmalıdır. Uçak koltukları; yemek tepsileri, telekomünikasyon cihazları, kol dayama malzemeleri gibi birçok plastik kalıp ihtiva etmektedir. Bu amaçlar için ısıya dayanıklı ve güç tutuşur termo plastik, polikarbonat, polivinilklorür/akrilik karışımlar vb. kullanılmaktadır. Koltuk yapısında genelde alüminyum kullanılmaktadır. Ancak bazı üreticiler, ağırlığın azaltılması amacıyla karbon kompozit yapıları değerlendirmiş ve hafif metal alaşımların kullanılabilirliğini değerlendirmektedir.

Tekstil ürünleri

Dekoratif tekstil ürünleri, kabin içerisindeki yüzeylerde, mutfak alanlarının (galley), lavaboların, dolap ve bölmelerin yolculara bakan yüzeylerinin kaplanmasında kullanılmaktadır. Ağırlıklı olarak yün ve diğer dekoratif halılar çoğunlukla üst panel yüzeylerinde kullanılmaktadır. Alt panel yüzeylerinde ise daha hafif malzemelerden imal edilen veya “grospoint” yapısındaki ürünler kullanılmaktadır. Duvar kâğıtlarının imalatında birçok farklı malzeme ve yöntem bulunmaktadır. Alt yüzeylerde genelde çok hafif bir taban içeren veya taban içermeyen işlenmiş yün kullanılmaktadır. Isı salınımı düzenlemelerinin ardından bu duvar halılarının ve kaplamalarının çoğu artık uygulanmamaktadır. Sentetik ve yün-sentetik malzemelerin kombinasyonundan imal edilen kaplamalar ısı salınımı standartlarının sağlayacak şekilde üretilmektedir.

Termal-akustik izolasyon malzemeleri:

Uçaklarda, basınçlı alanlar içerisinde metal dışı malzeme miktarı düşünüldüğünde, hacim anlamında en çok kullanılan malzemeler termal- akustik izolasyon ürünlerinden meydana gelmektedir (ağırlık olarak bu kapsamda yer almazlar).

Akustik izolasyon konusundaki gereksinimler termal izolasyon konusundan daha büyük bir öneme sahiptir ve kullanılan yalıtkan miktarını bu parametre kontrol etmektedir. Yalıtım örtü yapısı tipik olarak koruyucu bir örtü ile çevrelenmiş düşük yoğunluklu bir cam elyaf dolgusundan meydana gelir. Yalıtım malzemelerinin köpüklerden veya keçelerden imal edildiği bazı uygulamalarda, ayrı bir kılıf kullanılmaktadır. İzolasyon levhaları, yalıtım tabakasını yerinde tutmak ve özellikle su ve toz gibi kirleticileri dışarıda tutmak için kullanılmaktadır. Naylon veya polyester ipliklerle güçlendirilmiş çok ince plastik filmler (0.013 ila 0.05mm) poliimid, polivinil florür veya poli (ariletil ketonlar), düşük ağırlık ve iyi yırtılma direncinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Kötü kullanmaya maruz kalan alanlarda, vinil kaplı naylon ve vinil kaplı cam elyaf gibi aşınmaya dayanıklı kaplanmış kumaşlar kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan alanlarda silikon kaplı cam elyaf, metal kaplamalı cam elyaf veya seramik kaplamaların kullanılması gerekmektedir. İzolasyon, polifenilen sülfid (PPS) kanca ve halka tutucular, naylon tutturucular, çıtçıtlar ve yapıştırma bantları dahil olmak üzere çeşitli ekler kullanılarak uygulanmaktadır.

3.1.4. İç paneller (Kompozitler)

Birkaç tek parça lamine panel kullanılmasına rağmen, yeni üretilen uçakların iç kısımlarındaki panellerin çoğu, yüksek sertlik /ağırlık oranına sahip sandviç yapılarda imal edilmektedir. Bu paneller, tavan kısımları, yan duvarlar, bagaj rafları, zeminler, bölmeler ve dolaplar için kullanılmaktadır. Tüm paneller FAR 25.853(a) ve (a1) gerekliliklerini karşılamalıdır.

Tablo 3.2. İç panellerin tabi oldukları test ve kabul kriterleri

Test Adı	Minimum kabul kriteri
Tutuşma (60 saniye bunsen brülör, dikey yakma)	6 inç (Yanma uzunluğu) 15 saniye (Numune toplam yanma süresi) 3 saniye (Damlayan malzeme yanma süresi)

Tablo 3.2. (Devam) İç panellerin tabi oldukları test ve kabul kriterleri

Test Adı	Minimum kabul kriteri
Isı Salınımı (Ohio State Üniversitesi Kalorimetresi, OSU-HRR)	65 kW/m ² maksimum oran (4 dakikalık test süresi boyunca) 65 kW • min/m ² toplam ısı salınımı (ilk iki dakika boyunca)
Duman salınımı (Ulusal Standartlar Bürosu duman odası)	200 spesifik optik yoğunluk (4 dakikalık test süresi boyunca)

1940'lı yıllarda havacılık endüstrisi hava taşıtları dizaynını geliştirmek amacıyla sentetik fiberleri geliştirmeye başladı. Bu tarihten itibaren kompozit malzemelerin kullanımı sürekli artarak devam etmiştir. Bu malzemeler her ne kadar havacılık ile hayatımıza girmiş olsa da günümüzde otomobil yarışları, spor malzemeleri, savunma sanayi gibi endüstrileri içine alan birçok farklı alanda yer bulmuştur.

Kompozit terimi tanım olarak birden fazla malzeme veya cismin birlikte kullanılması anlamına gelmektedir.

Kompozit materyallerin avantaj ve dezavantajları:

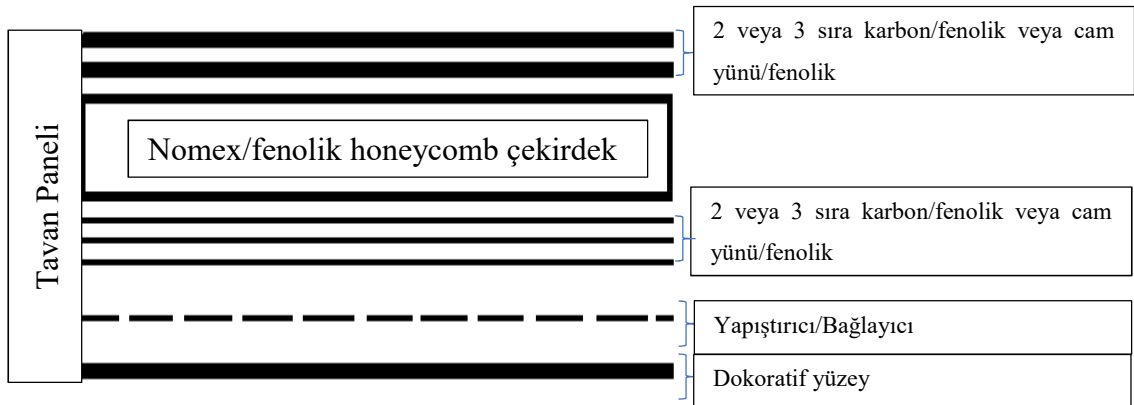
Avantajları

- Sağlamlık ve güç-ağırlık oranının yüksek olması
- Kimyasal bağlar tarafından oluşturulan stresin kumaştan kumaşa transfer edilebilmesi,
- Sertlik-yoğunluk oranı alüminyum ve çeliğe oranla 3,5 ile 5 kat arasında avantajlıdır.
- Metallerden daha uzun ömürlüdür.
- Daha yüksek korozyon direncine sahiptir.
- Gerilme gücü çelik ve alüminyumdan 4-6 kat daha fazladır.
- Tasarım anlamında çok daha esnek malzemelerdir.
- Kolay onarılabilirler.

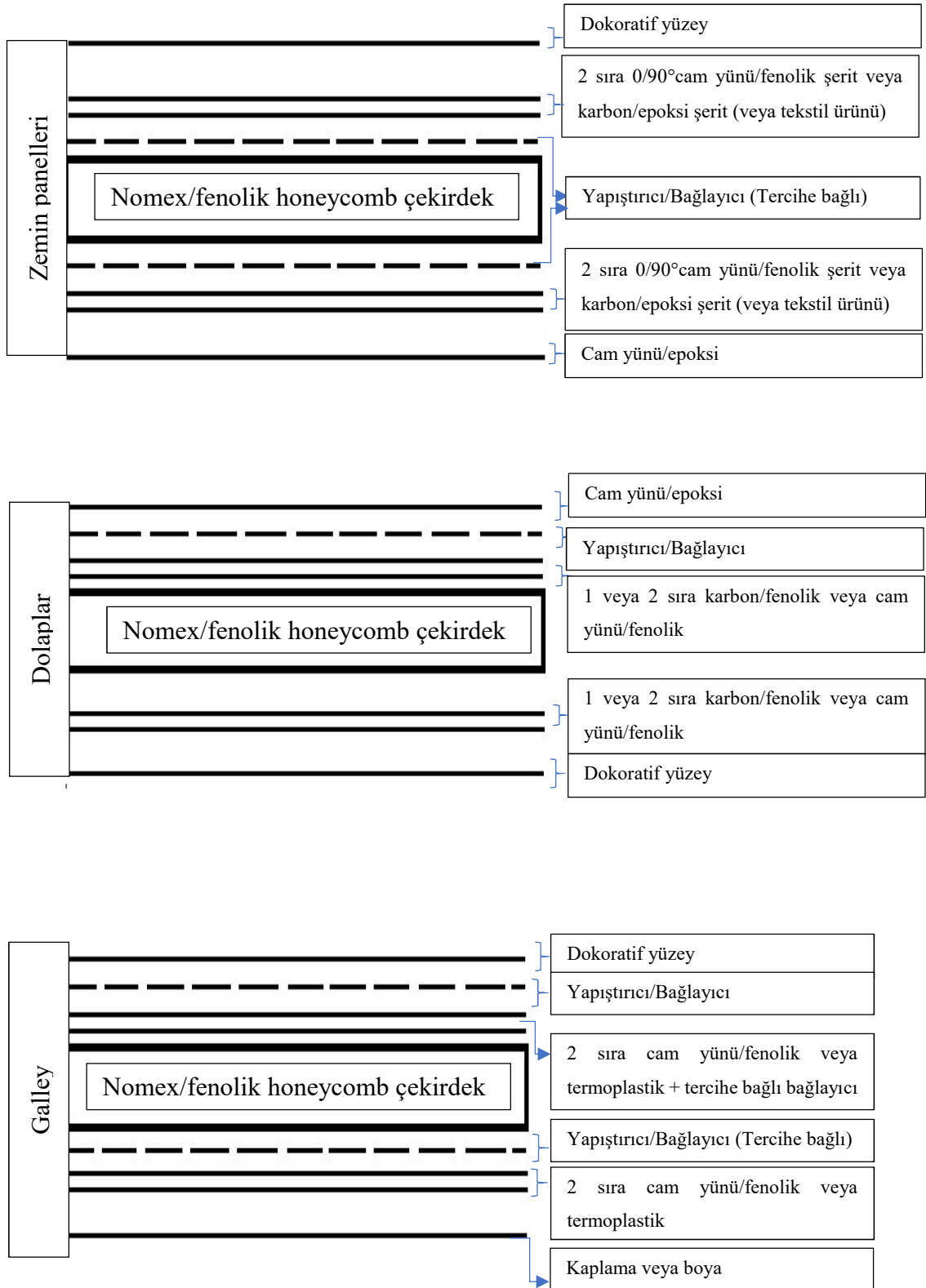
Dezavantajları

- Özellikle delaminasyon gibi konularda malzemenin davranışının analizlerinin gerçekleştirilme zorluğu.
- Nispeten yeni teknolojiler olması sebebiyle veri tabanının göreceli olarak küçük olması.
- Maliyet
- İşletme ekipmanlarının çok pahalı olması.
- Standartize edilmiş metodoloji sistemlerinin az olması.
- Kullanılan malzeme, süreç ve tekniklerin çok sayıda olması.
- Onarım bilgisi ve uzmanlık konularında eksiklikler bulunması.
- Ürünlerin genelde toksik ve tehlikeli bileşenler içermesi (FAA Chapter 5, Aircraft Materials, Processes & Hardware).

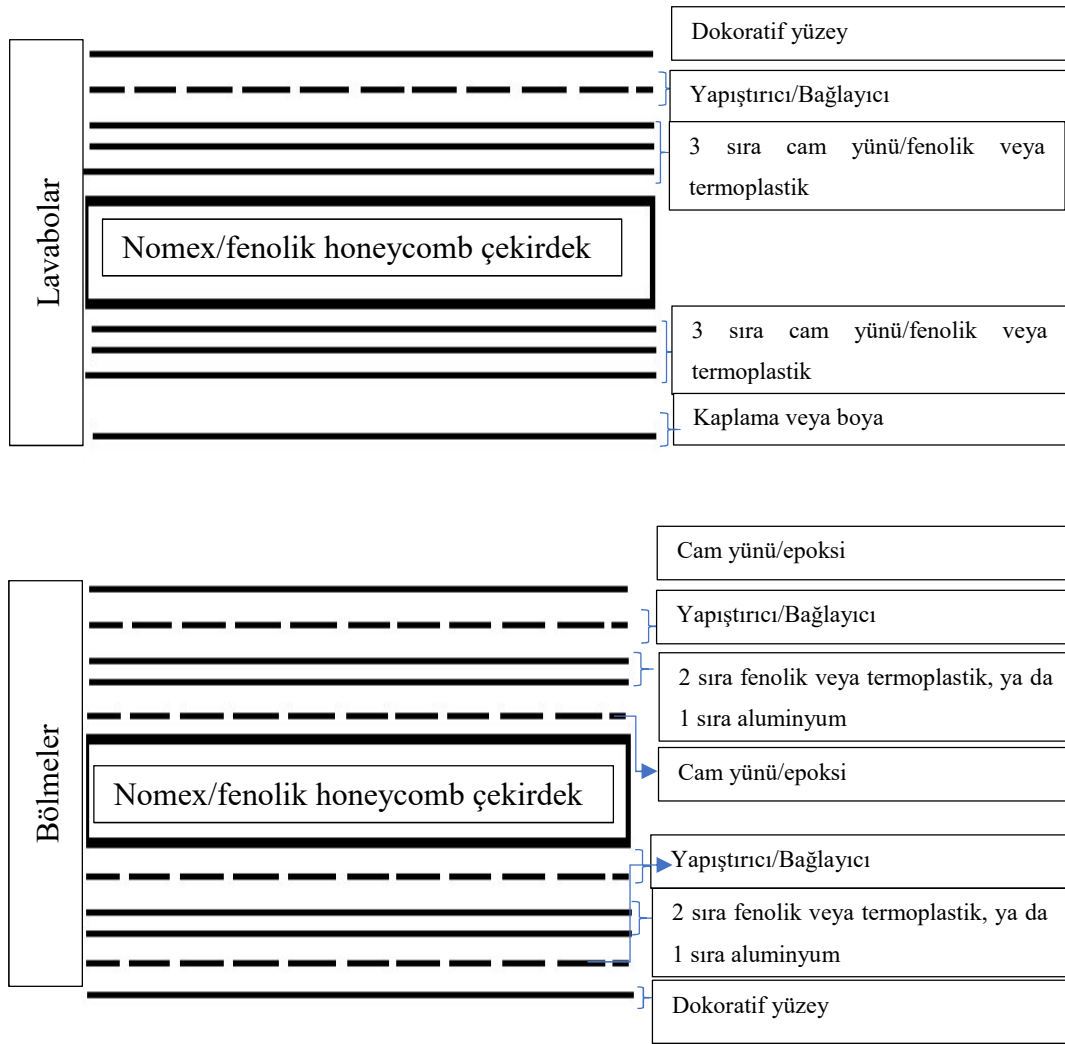
Dünya'nın en önemli hava araçları üreticilerinden olan Boeing firmasının tipik olarak kabin içerisinde kullandığı kaplama yapıları (Paneller) bulundukları yere göre aşağıdaki şekillerde imal edilmektedir.



Şekil 3.1. Boeing kabinleri içerisinde bulunan kaplama türleri ve yapıları



Şekil 3.1. (Devam) Boeing kabinleri içerisinde bulunan kaplama türleri ve yapıları



Şekil 3.1. (Devam) Boeing kabinleri içerisinde bulunan kaplama türleri ve yapıları

3.1.5. Reçineler

Havacılıkta sıklıkla kullanılan reçineler termoset (ısıl sertleşen) ve termoplastik olmak üzere 2 ana grup altında değerlendirilmektedir.

3.1.5.1. Termoset (ısıl sertleşen) reçineler

Kompozit yapılar için en sık kullanılan polimerler termoset malzemelerdir. Bu malzemeler termal veya kimyasal (katalizör vb.) olarak ya da farklı bir yöntemle kürlendiğinde büyük oranda ergime davranışı göstermemektedir. Bir termoset, uygulama gördükten sonra eski haline getirilememektedir.

Günümüzde ticari kullanımdaki neredeyse tüm termoset malzemeler petrol hammaddelerinden elde edilmekle birlikte biyo reçinelerle ilgili olarak Ar-Ge çalışmalar ve ticari ürün eldesi de giderek yaygınlaşmaktadır. Öncelikle yenilenebilir tarımsal

hammaddeleri kullanma çabasıyla geliştirilen biyo-reçineler farklı oranlarda poliol ve etanol içermektedir.

Doymamış polyester reçineler, uygulama kolaylığı, mekanik, elektriksel ve kimyasal özelliklerinin dengeli oluşu ve nispeten düşük maliyetli ticari ve seri üretim olanakları sebebiyle en çok kullanılan termosetlerdir. Genel olarak cam elyaf takviyelerine uygulanan polyesterler çoğunlukla açık kalıplı püskürtme, sıkıştırma kalıplama ve reçine transfer kalıplama gibi imalat metotları kullanılarak üretilirler. Polyester formülasyonlarının özellikleri, glikol ve asit elementleri ve reaktif monomerlerin (yaygın olarak stiren) seçimine dayanan spesifik performans kriterlerini karşılamak üzere geliştirilebilmektedir. Stiren reçinenin işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla viskozitenin azaltılması için %50'ye varan oranlarda ilave edilmektedir. Molekül yapıları poliesterlere çok benzemesine rağmen, moleküllerinin uçlarında sadece reaktif bölgeler bulunmakta ve daha az ester grup ihtiva etmektedir. Ester gruplarının daha az olması vinil esterlerin korozif ortamlara karşı direncini arttırmaktadır, ancak bu malzemeler daha yüksek maliyetlidir.

Gelişmiş kompozit malzemelerde kullanılan en yaygın termosetler; epoksiler, fenolikler, Siyanür esterler (CE), bismaleimidler (BMI), benzoksazinler ve poliamidlerdir.

Epoksi reçineler bir kompozitin dayanıklılığına, sağlamlığına ve kimyasal direncine katkıda bulunmaktadır. Sıvı, katı ve yarı katı formlarda temin edilerek aminler ve anhidritlerle reaksiyona girerek kürlemede kullanılırlar. Bu malzemeler polyester reçineler gibi bir katalizörle sertleştirilmediklerinden ayrıca bir sertleştirici ile beraber kullanılmaktadırlar. Bu nedenle tam bir reaksiyon sağlamak için reçinenin sertleştiriciye doğru karışım oranında ilave edilmesi büyük önem arz etmektedir. Doğru karışım oranının sağlanamaması, reçinenin sertleşmesine engel oluşturabileceği gibi, özelliklerinin de istenildiği gibi elde edilmemesine neden olmaktadır. Güçlendirilmiş epoksi, (yüksek çapraz bağ yapabilme yeteneği nedeniyle kırılma direnci yüksek) Boeing Co. 787 Dreamliner ve Airbus A350 XWB gibi yüksek oranda kompozit malzeme ile imal edilen uçaklarda standart haline gelmiştir.

Benzoksazin (BZ) reçineler, Airbus A380 ve Comac C919 uçakları için kullanılan prepreg malzemelerde (önceden kürlenmiş reçine ihtiva eden) yedek parça ve üretim anlamında tüm testlerden başarı ile geçmiş ürünlerdir. Hem birincil hem de ikincil yapı

uygulamaları için tüm kullanım sıcaklıklarında ve dayanıklılık anlamında rekabet avantajına sahip malzemelerdir.

BZ reçineler çapraz bağ veya zincirleme reaksiyonları olmaksızın oda sıcaklığında saklanabildiğinden soğutmalı nakliye ve depolamaya ihtiyaç duymamaktadır. Prepreg formda olan BZ malzemelerinin uzun raf ömrüne de sahip olması kullanımının son yıllarda yaygınlaşmasına neden olan özellikleri arasındadır. Epoksilerle karşılaştırıldığında BZ çok daha yüksek yangın dayanımı ve düşük duman oluşturma özelliğine sahiptir. Alevli-alevsiz toksisite testleri ile ilgili olarak her bir parametre için daha az emisyon ortaya çıkarmaktadır. Fenolik teknolojilerden farklı olarak BZ, iyileştirilmiş dayanıklılığın getirisi ile kılcal (mikro) çatlak oluşturmadığını ve kürlenme sırasında su oluşturmadığını göstermiştir. BMI'ler BZ'lere göre çalışma sıcaklığı anlamında bir avantaj sağlamasına rağmen BZ sadece 6 saatlik bir toplam otoklav kürlenme döngüsüyle maliyet ve işleme açısından önemli bir avantaj getirisine sahiptir.

Kürlenme sırasındaki düşük kayıp (low cure shrinkage) kürlenme öncesi ve sonrası yoğunluk ölçümlerine bakılarak karşılaştırıldığında %4-5'lik epoksi kaybına kıyasla BZ için %1.06 seviyesinde kalmaktadır.

Fenolik reçineler, güç tutuşur uçak iç panellerinde ve düşük maliyetli yanma dayanımlı, daha az duman oluşturma yeteneğindeki ürünler gerektiren ticari pazarlarda kullanım alanı bulmaktadır. Havacılık dışında ise özellikle açık deniz petrol ve gaz platformları için bileşenlerde, toplu taşıma ve elektronik uygulamalarında başarılı olarak kullanılmaktadır. Fenolik reçinelerin polimerizasyonu kürleşme sırasında su buharı ve formaldehit salınımına neden olan bir yoğunlaşma reaksiyonuna dayanmaktadır. Bu durum kompozit malzemede bazı kabarcıklar (boşluklar) meydana getirmektedir ve bunun bir sonucu olarak fenoliklerin mekanik dayanımının epoksi ve diğer yüksek performanslı reçinelerden daha düşük olduğu bilinmektedir.

Siyanat esterler (CE) mükemmel mukavemet ve dayanıklılık sağlayan, çok düşük nem emilimine sahip ve diğer reçinelerle kıyaslandığında üstün elektriksel özelliklere sahip olan çok yönlü malzemelerdir. Ancak bu önemli avantajlar beraberinde yüksek bir maliyeti de getirmektedir. Epoksi malzemelere benzer şekilde işlenirler ancak CE'lerin viskozite profili ve nominal uçuculara sahip olması sayesinde sertleşme süreçleri daha basittir. Mevcut kullanım alanları, uçaklar ve roketlerden mikroelektronik ve mikrodalga ürünlere kadar geniş bir endüstriyel ürün çeşitliliğine ulaşmıştır.

Hava taşıtları ve füzeler üzerinde bulunan ve yüksek sıcaklık yüküne sahip yerlerde bismaleimidler ve poliimidler kullanılmaktadır. Kürleşmeleri sırasında meydana gelen uçucu maddeler ve nem poliimidlerle çalışmayı epoksiler veya CE'lere göre zorlaştırmaktadır. Hem BMI'lar hem de poliimidler tipik olarak CE'lerden ve epoksilerden daha yüksek nem emilimi ve daha düşük tokluk değeri göstermektedirler. Son yıllarda yapılan karmaşık kompozisyonlarda kaydedilen ilerlemeler ise BMI'ların sıvı sızıntılarına epoksilerden daha iyi direnç gösterdiğini göstermektedir. Düşük kütlede hasar toleransı avantajına sahip olmasında dolayı bismaleimidler F-35 Lightning II avcı uçağında kullanılmaktadır.

3.1.5.2. Termoplastik reçineler

Kürleme reaksiyonları tek yönü olan çapraz bağ yapısına sahip termosetlerin aksine termoplastikler soğutulması durumunda sertleşir fakat plastisitelerini korurlar. Diğer bir deyişle, termoplastikler işlem sıcaklığının üzerinde yeniden ısıtılarak tekrar şekillendirilebilirler. Daha ekonomik olan termoplastik malzemeler düşük işlem sıcaklıkları gerektirmelerine rağmen sınırlı kullanım sıcaklıklarına sahiptir. Polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polibütilen tereftalat (PBT), polikarbonat (PC), akrilonitril bütadien stiren (ABS), poliamid (PA veya naylon), polipropilen (PP) örnek olarak gösterilebilir. Termoplastikler yüksek hacimli ticari değere sahip spor ayakkabısı, medikal protezler vb. alanlarda kullanımının yanı sıra tokluk ve nem direncinden dolayı otomotiv endüstrisinde de tercih edilmektedir.

Yüksek performanslı termoplastik reçineler (polietereterketon (PEEK), polieterketon (PEK), poliamid-imid (PAI), poliarilsüflon (PAS), polieterimid (PEI), polietersülfon (PES), polifenilen sülfid (PPS) ve sıvı kristal polimer (LCP)) yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda iyi çalışır ve sertleştiklerinde hem su sızıntılarına dayaklı olur hem ne neme maruziyet söz konusu olduğunda bozunmadan kalabilirler. Liflerle güçlendirilmiş olduğunda bu reçineler soğutulmadan uzun prepreg raf ömürlerine sahip olmaktadır. Çok yüksek darbe dayanımı ve titreşim sönümleme özellikleri de kullanım avantajları arasında yer almaktadır. Ayrıca geri dönüştürülmüş içeriğin kullanımı ve kullanılan malzemenin de geri dönüşümü termoplastikler için uygulanabilmektedir. Ancak kompozit üreticileri nispeten yüksek viskoziteye sahip olmalarından dolayı işleme zorluklarıyla karşılaşabilmektedir.

3.1.6. Güç tutuşur malzemeler

Güç tutuşur malzemeler genel olarak tutuşmanın momentumunu azaltarak ateşin yayılmasını engellemektedirler. Bu amaçla pek çok kimyasal kullanmanın mümkün olmasının yanı sıra, “güç tutuşur” ifadesi genel olarak bir kimyasal grubunu değil bir faydayı ifade etmektedir. Bu konuda yapılan değerlendirme ve araştırmalarda ve toplu taşıma araçlarında bu husus göz önünde bulundurulmalıdır.

Yanma;

Yanma olayının gerçekleşmesi için temel olarak üç bileşene ihtiyaç vardır. Bunlar: ısı, alev kaynağı ve oksijendir. Bu temel bileşenlerin bir araya gelmesiyle yanma olayı gerçekleşmektedir. Yanıcı madde oksijenli ortamda tutuşma sıcaklığına kadar ısıtıldığında alev alarak yanmaya başlayacaktır. Yanma işlemi ortamda yanıcı madde veya oksijen kalmayana kadar devam edecektir. Tutuşma ısı açığa çıkarmasına bu ısı ise polimerin pirolizine neden olmakta, dolayısıyla yanma işlemi süreklilik göstermektedir. Bu aşamada önemli olan piroliz süresinde oluşan yanıcı gazların miktarı ve yapısıdır. Yanıcı gazların miktarı ve tutuşmanın kolaylığı doğru orantılıdır.

Yanma sırasında karbon monoksit (CO) yanında toksik pek çok gazda ortaya çıkmaktadır. Poliamid ve poliüretanın yanması sonucunda hidrojen siyanür (HCN) açığa çıkar. PVC ve odunun yanması sonucunda ise hidrojen klorür (HCl) oluşur. Organik malzemelerin yetersiz yanması sonucunda açığa çıkan ve zehirli bir ortam yaratan karbon monoksit, yangın sonucunda meydana gelen ölümlerin %90’ını oluşturmaktadır.

Güç tutuşur malzemelerin etki mekanizması;

Çeşitli malzemelere güç tutuşur özellik kazandırılması için yanma mekanizması ve güç tutuşur malzemenin yanma sırasındaki etki biçimi hakkında yeterli bilgiye sahip olunmalıdır. Yapılarına bağlı olarak güç tutuşur katkıları katı, sıvı veya gaz fazında, kimyasal ve/veya fiziksel olarak etki edebilirler.

Fiziksel etki;

Fiziksel olarak yanma olayının engellenmesi birkaç yolla meydana gelir. Koruyucu bir tabaka oluşturarak: Güç tutuşur katkı malzemeleri dışarıdan gelen ısı akışı karşısında düşük termal iletkenliğe sahip bir kaplama oluşturabilirler. Bu sayede ısı kaynağından malzemeye ısı transferi azaltılmış olur. Bu malzemeler daha sonra polimerin bozunma hızını düşürür ve yanıcı moleküllerdeki alevi besleyebilecek olan yakıt akışını azaltır. Fosfor esaslı katkıları, borik asit bazlı katkıları ve inorganik boratlar bu şekilde güç tutuşur etki sağlarlar.

Soğutarak: Güç tutuşur katkı malzemesi endotermik bir şekilde bozunarak tekstil malzemesini yanma prosesinin devamı için gerekli olan sıcaklığın altına kadar soğutur. Örneğin $Mg(OH)_2$ yaklaşık olarak 300 °C’de su buharı salmaya başlar.

Seyrelterek: İnert maddelerin ve bozunmayla inert gazlar yayan katkıların eklenmesi katı ve gaz fazlarındaki yakıtı seyreltir. Böylece yanma için gerekli olan gaz konsantrasyonunun oluşması engellenmiş olur.

Kimyasal etki;

Yanma işlemini etkileyen en etkili kimyasal reaksiyonlar katı ve gaz fazında gerçekleşir.

Katı fazda reaksiyon: Burada iki tip reaksiyon gerçekleşmektedir. Öncelikle polimerin bozunması, polimerin belirli hareketine ve böylece kopan alev etki çemberinden çekilmesine sebep olan güç tutuşur ile hızlandırılabilir. Diğer reaksiyon olarak güç tutuşur malzeme, polimer yüzeyinde karbon bir tabaka(kül), seramiğe benzer bir yapı ve/veya camsı bir yapının oluşmasına neden olabilir.

Gaz fazında reaksiyon: Gaz fazında gerçekleşen yanma işleminin radikal mekanizması güç tutuşur veya bozunma ürünleri ile durdurulur. Alevde meydana gelen ekzotermik prosesler de böylece durdurularak sistem soğutulur ve yanıcı gazların ikmalı düşer.

Son 40 yılda Termoplastik ve termoset polimerlerin yapı, ulaşım, elektrik/elektronik gibi alanlarda giderek daha fazla uygulama alanı bulması, birçok güç tutuşur sistemin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu sistemler genel olarak bromin, klorin, fosfor, azot, boron, metal oksitler ve hidroksitler içeren inorganik ve organik bileşiklerden meydana gelmektedir.

Kimyasal güç tutuşurlar katkı malzemesi veya reaktif olarak kullanılabilir. Reaktif güç tutuşurlar polimerizasyon süreci sırasında sisteme ilave edilmekte ve polimer ile bütünleşmektedir. Süreç sonunda polimerin ilk durumuna göre değişiklik gösteren bir moleküler yapı elde edilmektedir. Bu durum düşük çevre emisyonu ile beraber güç tutuşur etkinin elde edilmesini sağlamaktadır (Danish EPA 1999).

Reaktif güç tutuşurlar genellikle termoset, özellikle polyester, epoksi reçineler ve poliüretanlar ile uyumlu olarak kullanılmaktadır (Posner 2006).

Katkı malzemesi olarak kullanılan güç tutuşurlar, polimerizasyondan önce, sırasında ve sıklıkla sonrasında ilave edilmekte ve özellikle termoplastik malzemelerde tercih edilmektedir. Bu malzemeler polimer ile kimyasal olarak bağ kurmadığından sistemden ayrılabilir ve çevreye yayılmaktadır.

Başarılı bir güç tutuşur malzemenin sağlaması gerekli çok sayıda kıstas bulunmaktadır. Bu anlamda ideal bir güç tutuşurun sahip olması gereken özellikler tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. *İdeal bir güç tutuşur malzemenin sahip olması gereken özellikler*

Güç tutuşurluk özellikleri	Termal dekompozisyon sırasında ve öncesinde termal aktivitesini gösteriyor olmalıdır. Polimerin yanması sonucu meydana gelen gazlar hariç herhangi bir toksik gaz üretmemelidir. Yanan polimerin duman yoğunluğunu arttırmamalıdır.
Mekanik özellikleri	Polimerin mekanik özelliklerini önemli düzeyde değiştirmemelidir. Polimerle kolaylıkla kürlenebilmelidir. Polimerle uyumlu olmalıdır. Polimerin geri dönüştürülmesinde geri kazanımı kolay olmalıdır.
Fiziksel özellikleri	Renksiz olmalı ya da malzemeyi boyamamalıdır. Hafif ve stabil olmalıdır. Korozyona dayanıklı ve uzun ömürlü olmalıdır.
Sağlık ve çevre	Sağlık üzerinde zararlı etkileri olmamalıdır. Çevre için ekolojik risk taşımamalıdır.
Ticari özellikleri	Ticari olarak kullanılabilir ve ekonomik olmalıdır.

Epoksi reçinelerde ve tekstil ürünlerinde çok farklı türde güç tutuşur malzemeler kullanılmaktadır. Tablo 3.4.'da bu sistemlerde kullanılan bazı güç tutuşur katkıları verilmiştir.

Tablo 3.4. Epoksi ve tekstil ürünleri için kullanılan bazı güç tutuşur malzemeler

Uygulama malzemesi	İnorganikler	Fosfor/azot (Organikler)	Organik halojenliler	Diğer
Epoksi sistemler	Alüminyum hidroksit (ATH), Magnezyum hidroksitler, Amonyum polifosfat, Kırmızı fosfor, Çinko içeren malzemeler	Metalik fosfonatlar, Reaktif azot ve fosfor bileşikleri, Dihidrooxaphosphaphe nanthrene oksit (DOPO)	Tetrabrom bis fenol A, Etilen bis fitalimid	Polietilen sülfid
Tekstil ürünleri	Alüminyum hidroksit (ATH), Magnezyum hidroksitler, Amonyum bileşikleri, Boraks	THCP veya THPX, Dimetilfosfo propionamid, Diguanidin hidrojen fosfat, Aromatik fosfatlar	Trikloropropil fosfat	Kabaran sistemler, Aramid fiberler, Yün, Akrilik

Literatürde yüzlerce farklı doğal veya sentetik güç tutuşur yer almaktadır. Bazı çalışmalar 1000'in üzerinde kimyasal güç tutuşur ürün olduğunu göstermektedir. Güç tutuşur kimyasal malzemeler temel olarak 4 farklı grupta değerlendirilebilmektedir.

- İnorganik güç tutuşurlar
- Organofosforlar
- Azot esaslı güç tutuşurlar
- Halojenler
- Bariyer teknolojiler (Malzemenin kabarması ile yanmayı engelleyenler)

Tez çalışmaları kapsamında bariyer ve sinerjik etkiler gösterebilen Exolit AP 750 ve IFR 36 ticari ürünleri epoksi prepreg sistemlere ilave edilmiştir. İki malzemenin de ortak özelliği amonyum polifosfat esaslı olmalarıdır.

3.1.6.1. İnorganik güç tutuşur malzemeler

İnorganik güç tutuşurlar; elementel kırmızı fosfor, amonyum polifosfat, bor tuzları, çinko, kalay, inorganik antimon gibi metal oksitlerden meydana gelmektedir. Alüminyum hidroksit (veya ATH alüminyum trihidrat olarak da bilinmektedir) ve magnezyum hidroksit, bor içeren sistemlere alternatif olarak aynı zamanda duman engelleyici özelliğinden dolayı da tercih edilmektedir. İnorganik fosfor katkıları da bor içeren sistemler yerine kullanılabilir.

Halojen güç tutuşur malzemelerle birlikte, antimon trihidroksit ve çinko borat sinerjik etki oluşturmaları bakımından tercih edilmektedir.

Küresel anlamda toplam üretilen güç tutuşur malzemelerin yaklaşık %50'sini inorganik ürünler oluşturmaktadır. Bu grup içinde yer alan ATH (alüminyum trihidrat) tüm güç tutuşur ürünler içerisinde en büyük pazar hacmine sahip olmasıyla bilinmektedir. Amonyum polifosfatlar (APP);

Amonyum tuzlarından olan amonyum polifosfatlar, reaktif olmayan ve birçok polimerle uyumlu olmalarının yanında zincir uzunluklarıyla ters orantılı olarak da suda çözünme yeteneğindedir. Exolit AP750 bir APP olarak, özellikle termoset polimerler için imal edilmiştir. Firma katalog bilgilerine göre, yapıştırma amacıyla kullanılan epoksi reçineler için kullanılabilen en önemli APP ürünlerinden biridir. Düşük toksisite ve duman yoğunluğuna sahip olması ürünün diğer avantajları arasındadır. Exolit IFR 36 ise benzer şekilde, özellikle epoksi reçinelerle kullanılabilir olması sebebiyle tercih edilmiştir. IFR 36'nın tercih edilmesinde bir diğer sebep kaplama ve güçlendirme malzemeleri için de uygun özelliklere sahip olmasıdır. Bu anlamda kabin içi panellerde honeycomb ve dekoratif yüzeyin yapıştırılmasında kullanılan epoksi sistemlerinin kürlenmesinde AP 750 ile IFR 36'da kullanılmıştır. Çalışma sonuçları üçüncü bölümde detaylı olarak verilmiştir.

3.1.6.2. Organofosforlar

Organofosfor güç tutuşurlar çoğunlukla fosfor esterlerinden meydana gelmekte ve dünyadaki toplam üretimin %20'sini oluşturmaktadır. Genellikle polimerler ve selülozik tekstil fiberlerde kullanılmaktadır. Halojensiz organofosforlar kategorisinde bulunan triaril fosfatlar, brom temelli güç tutuşurlara alternatif olarak kullanılmaktadır.

3.1.6.3. Azot esaslı güç tutuşurlar

Azot temelli organik güç tutuşurlar, yanıcı gazların oluşmasını engellemekte ve genelde poliüretan, poliamid gibi azot içeren polimerlerde kullanılmaktadır. En önemli azot esaslı güç tutuşur grup melamin ve türevlerinden meydana gelmektedir. Bu sistemler yanma sırasında kabarak bariyer bir koruma katmanı oluşturmaktadır.

3.1.6.4. Halojenler

Genelde klorin ve brominden meydana gelen halojen güç tutuşurlar yanma süresi boyunca yanıcı gazları durdurucu veya yavaşlatıcı etki göstermektedirler. Bu grup içerisinde yer alan polibromlu difenileterler (PBDEs) tüm pentaBDE'lerin izomeri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyadaki tüm güç tutuşur malzeme üretiminin yaklaşık %30'unu halojen esaslı güç tutuşur malzemeler oluşturmaktadır(SRI Consulting 2005). Halojenli güç tutuşurlar, aromatikler, sikloalifatikler ve alifatikler olmak üzere üç sınıf altında incelenmektedir.

3.1.6.5. Bariyer teknolojiler

Bariyer teknolojileri hızlı bir şekilde ticari olarak uygulanabilmeleri ve yanma engeleyici katmanları içermeleri sebebiyle tercih edilmektedir. Kaplamalarda borik asit ile kürlenmiş pamuk malzemelerin yanında itfaiye personeli ve uzay giysileri gibi farklı alanlarda da yer almaktadır.

3.2. Antibakteriyel ve Güç Tutuşur Malzemelerin Hazırlanması

Antibakteriyel ve antimikrobiyal malzemelerin kullanımındaki önemli artış sadece sağlık-tıp çevrelerinde değil, denizcilik, laboratuvar araştırmaları ve birçok endüstriyi de kapsamaktadır. Temel amaç; bu malzeme ve sistemlerin farklı ortam, yüzey (vücut mukozası gibi dokular dahil) gibi yerlerde bulunan yayılma, bulaşma, enfekte etme, üretim süreçlerini etkileme vb. potansiyeli olan mikroorganizmaların inhibe edilmesi veya öldürülmesidir. Özellikle mikroorganizmaların biyofilm oluşturabilen türlerinin varlığı başta gıda, denizcilik, su arıtımı gibi birçok endüstriyel süreci doğrudan etkilediğinden büyük ekonomik kayıpları da beraberinde getirmekte ve bu teknolojilere olan ilgiyi arttırmaktadır.

Mikroorganizma faaliyetlerinin en önemli etkilerinden biri şüphesiz neden oldukları sağlık sorunlarıdır. Bu amaçla tez çalışmaları kapsamında havacılık nedeni ile

taşınan mikroorganizmaların bazılarını inaktive edecek malzemeler çalışılmış ve havacılık standartlarına uygunluğu araştırılmıştır.

Malzeme konusundaki çalışmalara öncelikle literatürde geniş yer bulan metalik ürünlerin elde edilmesi ile başlanmıştır.

Bu kapsamda benzoksi sistemde kullanılması planlanan malzemeler;

TiO₂, MnO₂, ZnO, CuO, Al₂O₃ ve AgNO₃ olarak belirlenmiştir.

Malzemeler eksenel değirmen kullanılarak öğütölme işlemine tabi tutulmuştur. İlk olarak çinko oksit (Al₂O₃) ve bakır oksit (CuO) öğütme performansının anlaşılabilmesi için çalışılmıştır.

Öğütme işlemlerinde Fristch Pulverisette 5 cihazı kullanılmıştır. Malzemelerden kullanılan kütlece miktar ve çalışma parametreleri tablo 3.5.'de verilmiştir.

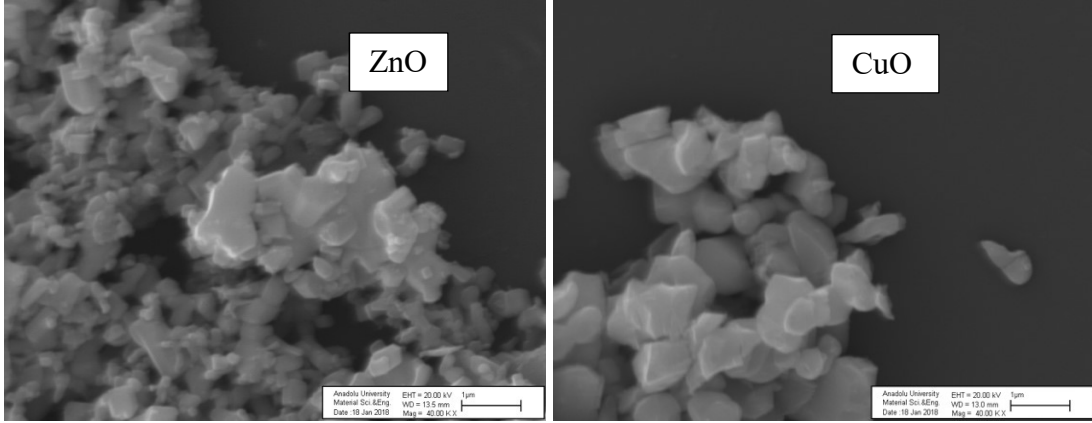
Tablo 3.5. ZnO ve CuO için eksenel değirmen öğütme parametreleri

Malzeme adı	Kullanılan kütlre (gr)	Öğütücü bilye miktarı (gr)	Çözücü (Etanol) hacmi ml	Döngü Sayısı	Süre	Ters yön opsiyonu Açık/Kapalı
CuO	35	350	125ml	2	2x15'	Açık
ZnO	35	350	125ml	2	2x15'	Açık

Eksenel değirmende 250ml hacimli ZRO₂ (Zirkonyum oksit) hazneler ve 3mm çapında zirkonyum oksit bilyeler kullanılmıştır.

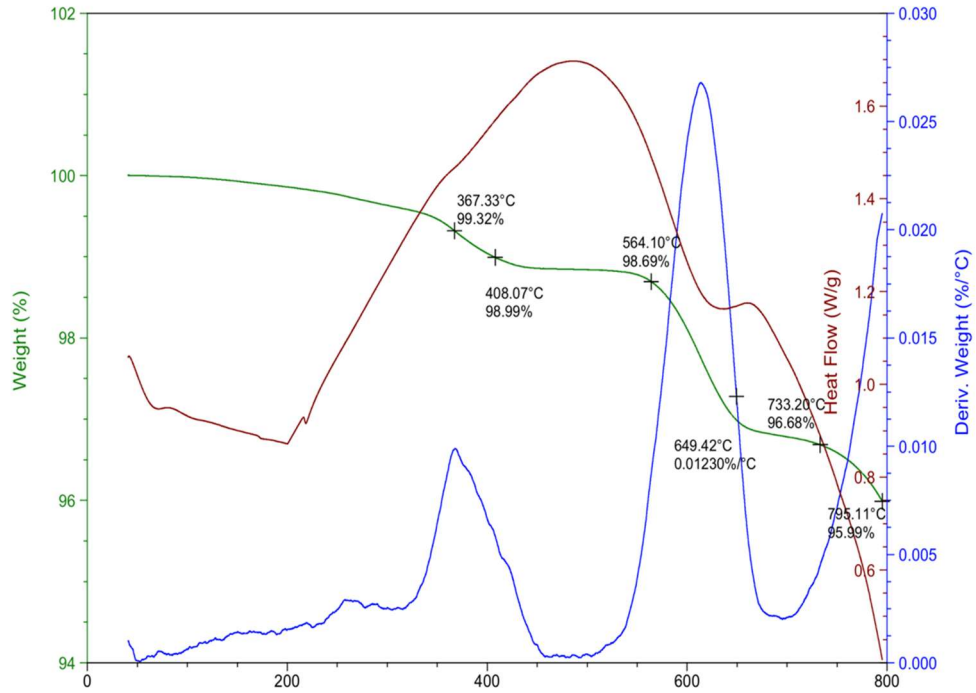
Çalışma sonunda malzemelerin taramalı elektron mikroskopi görüntüleri ve zeta boyut-potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Elektron mikroskopi görsellerinden malzemelerin kütlece büyük kısmında yeterli boyutlara ulaşmanın çalışılan parametrelerle mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Ancak literatürde belirtilen ve çalışma malzemelerinin antibakteriyel olarak etkili olduğu aralıklardaki partiküllerin de elde edilmesi nedeniyle öğütme sonucundaki ürüne antimikrobiyal testler uygulanmış ve etkinlik gözlemlenmiştir. Sonrasında diğer malzemelerle birlikte karışık öğütme işlemi de gerçekleştirilerek antibakteriyel etkinlik ölçüm testleri yapılmıştır.

Öğütme sonrasındaki malzemelerin SEM görüntüleri şekil 3.2.'deki gibidir. Büyütme faktörü 40K, elektron hızlandırma voltajı (EHT) 20.00kV olarak seçilmiştir.



Şekil 3.2. CuO ve ZnO için Taramalı elektron mikroskopu görselleri (Zeiss evo 50, EHT=20kV, WD=13.0mm, Mag=40.00kv)

Sonuçlara göre belirlenen öğütme parametreleri ile ZnO için daha başarılı bir küçültmenin yapılabildiği gözlenmiştir. Öğütme sonrasında malzemenin etanol sıvı fazından uzaklaştırılma işlemi Heidolph marka Hei-Vap serisi rotary evaporatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma parametreleri; Sıcaklık: 60-65 °C, Devir sayısı(RPM): 100, Vakum (mbar): 375 olarak belirlenmiştir. Elde edilen nihai malzemenin TGA (termogravimetrik analiz) sonuçları şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Nihai malzeme TGA sonuçları (%Kütle kaybı, ısı akısı, sıcaklık)

Sonuçlara göre yaklaşık 800°C’de kütle kaybı sadece ~ %4 düzeyindedir. Malzeme yalnızca bakır oksit ve çinko oksit olarak değil tüm reçete kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir.

Antibakteriyel ve güç tutuşur nitelikli malzeme elde etmek ve epoksi sistemlerde kullanmak amacıyla farklı reçeteler ile de çalışılmıştır. Bu bağlamda güç tutuşurluk özelliğine sahip olduğu bilinen kırmızı fosfor katkılı reçeteler de oluşturulmuştur.

Reçetelerde Kalsiyum hidroksit Ca(OH)_2 , Gümüş Nitrat (AgNO_3), Alüminyum hidroksit (Al(OH)_3), kırmızı fosfor, ortofosforik asit ve distile su çözeltisi (pH titrasyonu için) aşağıdaki oranlarda kullanılmıştır.

Reçete 1:

- 36,5 gr Ca(OH)_2 (Saflık >%96)
- 3 gr AgNO_3
- 982 gr distile su
- Titrant: 40 gr H_3PO_4 + 80 ml distile su

Reçete 2:

- 0,5gr AgNO_3
- 196,4 gr distile su
- 5,2 gr Ca(OH)_2 (Saflık >%96)
- 2,3 gr Kırmızı fosfor (Saflık >%97)
- Titrant: 40 gr H_3PO_4 + 80 ml distile su

Reçete 3:

- 0,6 gr AgNO_3
- 196,4 gr distile su
- 5,3 gr Ca(OH)_2 (Saflık >%96)
- 1 gr Sepiolit + 1 gr Kliptinolit
- 0,6 gr AgNO_3
- Titrant: 40 gr H_3PO_4 + 80 ml distile su

Reçete 4:

- 2,4 gr $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- 1 gr Sepiolit
- 1 gr Kliptinolit
- 0,8 gr AgNO_3
- Titrant: 40 gr H_3PO_4 + 80 ml distile su

Yukarıda verilen dört farklı reçete içerisinde, epoksi sistemlerle kürlendiğinde en başarılı sonuçlar 1. reçeteden alınmıştır. Malzemenin antibakteriyel etkinliği zon inhibisyon testleriyle değerlendirilmiş ve ısı salınım testleri için prepreg malzemeler ilk reçete kullanılarak hazırlanmıştır.

3.2.1. Antibakteriyel ve güç tutuşur malzeme uygulanan prepreg plakalar ve yünlü kumaşların nihai mikrobiyolojik testleri

Hazırlanan malzemeler için uygulama yeri olarak havacılık endüstrisinde uçaklarda birçok bölgede yüzeylerde kullanılan prepreg (pre-impregnated) ürünleri tercih edilmiştir. Kullanılan prepreg özellikleri ve kürlleme değerleri tablo 3.6.'da verilmiştir. Etanol içerisinde süspansiyon halindeki antibakteriyel malzemenin prepreg yüzeyine spreyleneceği ve sonrasında kurutulması ile gerçekleştirilen kürlleme sonrasındaki toplam kütle artışının %0,5 ila %1 oranında olduğu tespit edilmiştir. Ancak malzemenin yüzeye tam olarak homojen bir şekilde yayılması için farklı uygulama yöntemlerinin de çalışılması gerekliliği anlaşılmıştır.

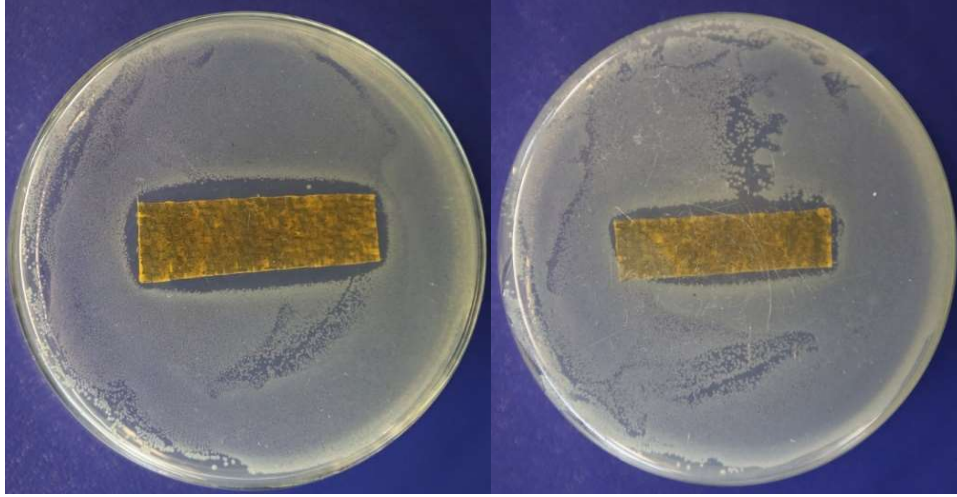
Tablo 3.6. Antibakteriyel malzemenin prepreg yüzeyine uygulanma (kürlleme) parametreleri

Prepreg Kürlleme	
Vakum	550-600 (mbar)
Reçine	Benzoksazin / Epoksi
ABT oranı w/w	%0.5-1
Sıcaklık	150 °C 2saat, 180 C 2 saat / 90 °C'de 30 dakika sonrasında 120°C'de 120 dakika

Kürlleme işlemi Memmert marka vakumlu etüv kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

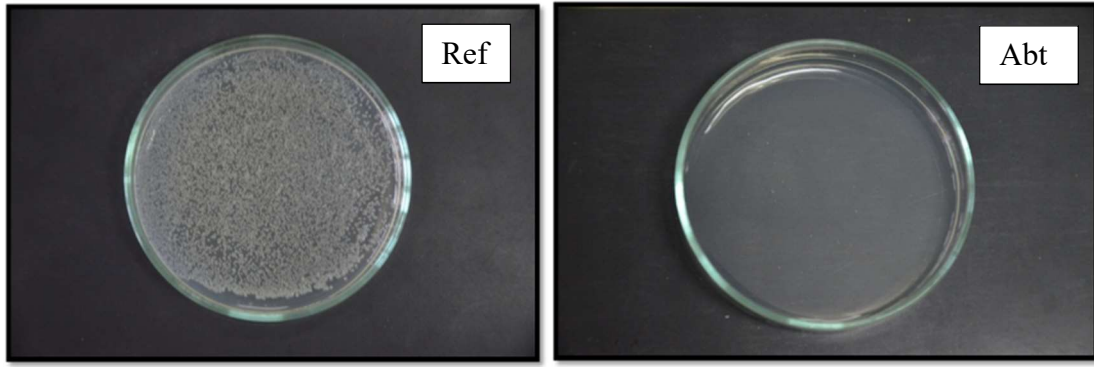
Kürlenmiş malzemelerin zon inhibisyon testleri yapılmış ve belirgin bir bakteri inaktivasyon etkisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma indikatör organizması

olarak 2×10^7 cfu/ml derişiminde *E. Coli* süspansiyonundan 150µl pipetlenerek Merck Plate Count Agar katı besi ortamı üzerine ekim yapılmıştır. 5 dakika besi ortamının mikroorganizma içeren süspansiyonu emmesi beklenerek aseptik koşullarda prepreg malzemenin ekim yapılan yüzeyle teması gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçların görselleri şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Kırleme sonrası prepreg (benzoksazin) malzemenin zon inhibisyon testi sonuçları (2×10^7 cfu/ml *E. Coli*, 150µl)

Antibakteriyel etkinlik ölçümlerinde sıklıkla kullanılan metotlardan olan İSO 22196 çalışmaya uygun olarak güncellenerek, malzemenin bakteri inaktivasyonun kantitatif olarak tespit edilmesinde tercih edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre ürünün güçlü antimikrobiyal etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Başlangıç kültür derişimi $2,2 \times 10^5$ cfu/ml *E. Coli* olan test ile $> \text{Log}3$ düzeyinde bir bakteri giderimine ulaşılmıştır. Bu deneysel sonuçlardan yola çıkılarak etken malzemenin salınımla ilgili araştırmaların yapılmasının da faydalı olacağı düşünülmektedir. Referans ve antibakteriyel malzeme ile kürlenmiş numunelerin petri görselleri şekil 3.5.'de verilmiştir. Tüm numuneler için her bir örnekten 5'er adet kullanılmıştır. PCA besi ortamına 0,15 ml ekim spatül ile yayılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için başlangıç konsantrasyonu farklı 3 farklı (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}) dilüsyon (seyreltme) yapılmış ve logaritmik azalım petriplerdeki koloni sayılarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çalışma epoksi içeren sistemlerin kırleme sonrasında antibakteriyel etkinliklerinin ölçümü için yapılmıştır (şekil 3.5.).



Şekil 3.5. *Ref= Antibakteriyel malzeme ile kürlenmeyen referans malzemenin 1. dilüsyon PCA ortamı görseli ,
Abt= Antibakteriyel malzeme ile kürlenmeyen prepreg malzemenin 1. dilüsyon PCA ortamı görseli*

Prepreg malzemelere ilave olarak sınırlı da olsa yünlü kumaşların 1. reçete ile kürlenmesi de çalışılmıştır.

Öncelikle hazırlanan malzeme %100 yün özelliğindeki örme kumaşlara uygulanmıştır. Literatür araştırmalarıyla yünlü kumaşlara apre işlemleri için düşük pH ile çalışılması gerektiğini gösterilmiştir. Bu anlamda apre işlemi gerçekleştirebilmek amacıyla yüksek sıcaklıklı çektirme (boyama) makinası kullanılabilmektedir. Ancak laboratuvar ortamında teknik altyapı bulunmadığından numuneler sıcaklık kontrollü bir etüv ve sonrasında otoklav içerisinde kürlenmeye çalışılmıştır. Sonrasında numuneler distile su ile durulanıp kurutulmuş ve JIS L 1902 standart uygulamasıyla etkinlikleri incelenmiştir.

Kürleme koşulları iki farklı sıcaklık ve pH değeri ile gerçekleştirilmiştir. Uygulama parametreleri ve antibakteriyel etkinlik sonuçları aşağıdaki gibidir.

1. Reçete 1 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 5.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 80°C olarak belirlenmiştir. Tüm numuneler güçlü antibakteriyel aktivite göstermiştir.
2. Reçete 1 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 2.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 80°C olarak belirlenmiştir. Tüm numuneler güçlü antibakteriyel aktivite göstermiştir.
3. Reçete 1 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 5.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 25°C olarak belirlenmiştir. Tüm numuneler güçlü antibakteriyel aktivite göstermiştir.

4. Reçete 1 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 2.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 25°C olarak belirlenmiştir. Tüm numuneler güçlü antibakteriyel aktivite göstermiştir.
5. Reçete 2 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 5.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 80°C olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde herhangi bir bakteri giderimi gözlenmemiştir.
6. Reçete 2 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 2.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 80°C olarak belirlenmiştir. Herhangi bir bakteri giderimi başarıları gözlenmemiştir.
7. Reçete 2 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 2.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 80°C olarak belirlenmiştir. Numunelerde ortalama %98'lik bir bakteri giderimi izlenmiştir.
8. Reçete 2 ile çalışılmış, numunenin tamamının çözeltiyle temas etmesi sağlanmıştır. pH 5.5 düzeyine kada çözelti ortofosforik asit çözeltisiyle titre edilmiştir. Sıcaklık 25°C olarak belirlenmiştir. Numunelerde ortalama %60'lık bakteri giderimi gözlenmemiştir.

Bu çalışmadan elde edilen veriler ile %100, %90 ve %80 yün içeriğine sahip örme kumaşlara, daha başarılı sonuç alınan reçete 1 ile pH 2.5 koşullarında kürlenip JIS L 1902 standart metodu ile antibakteriyel etkinlik ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmanın genel sonuçlarına göre en başarılı bakterisidal etki %100 yünlü kumaşlarda gözlemlenmiştir. Ancak test numunelerinin sonuçları arasında çok yüksek sapma değerleri gözlenmiştir. Uygun ekipman kullanımı ile sorunun çözülebileceği düşünülmektedir. Apreleme işleminin homojen olarak gerçekleştirilemediği tahmin edilmektedir.

4. YANMA DAVRANIŞI ÇALIŞMALARI

Birleşik Devletler’de hava araçlarının tasarımı ve operasyonları anlamındaki düzenlemeler Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından yürütülmektedir.

Daha önce bahsedildiği üzere hava taşıtlarının imalatında kullanılan her ürün ve malzemenin özellikle yanma davranışı standartlarını karşılaması gerekmektedir. Bu düzenlemeler farklı organizasyonlar ile oluşturulmuş olup içerik anlamında benzer kriterlere sahiptir. Bu kapsamda dikey yakma kabini, NBS duman yoğunluğu test kabini, OSU-HRR test kabini, TGA (Thermogravimetric analysis) cihazıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.1. Materyal Metot

Yanabilirlik ve yanma yayılma testi, Federal Hava Düzenlemeleri (FAR) 25.856 (a) Kısım VI Ek F; termal ve akustik izolasyon malzemelerinin, radyant ısı kaynağına veya doğrudan aleve maruz kalmaları durumunda sağlamaları gereken kriterleri açıklamaktadır.

Isı salınım hızı testi/Ohio State Üniversitesi kalorimetresi, (FAR) 25.853 Kısım VI Ek F; Uçak gövdesi içi malzemelerinin ısı salınım hızı kriterlerini açıklamaktadır.

Yakıt brülörü testi (FAR 25.855); Kargo bölmesinin yangın geçirimsizliğe olan dayanımı ve koltuk kaplamalarının kütle kaybı karakteristiklerinin yüksek yoğunluklu aleve maruz kalınması durumunda sağlanması gerekli kriterleri açıklamaktadır.

Dikey yakma testi (FAR 25.853, FAR 25.855) ile; Kompozit vb. kabin içi malzemelerinin bir bunsen beki alevine maruz kalması durumunda sağlaması gerekli sıcaklık ve yanma dayanımı için gerekli kriterleri açıklamaktadır.

Duman yoğunluğu testi (FAR 25.853) ile, yolcu uçağı kabini içerisinde bulunan malzemelerin yanması veya ısıya maruz kalması durumunda ürettiği duman miktarı konusunda sağlanması gerekli kriterleri açıklamaktadır (Kandola and Kandare, 2008, s. 398).

4.1.1. Dikey yakma

Kabin ve kargo bölmeleri için dikey yakma testi, Federal Havacılık İdaresi Yönetmelikleri 25.853 ve 25.855 ile belirlenmiş olup, malzemelerin 12 ve 60 saniye boyunca bunsen beki ile yakılması esasına dayanmaktadır. Test, 10mm çapında bunsen bekinde 38mm yüksekliğinde metan veya benzer bir gaz kaynağından elde edilen alev ile

75mm genişlik ve 305mm uzunluğa sahip örneklerin alt kenarından aleve maruz bırakılması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Bunsen bekinin 19mm üzerinde sabitlenmiş olan numune özelliklerine göre 12 veya 60 saniye boyunca aleve maruz bırakılmaktadır ve her test numunesinden en az üç örnek ile analiz tekrarlanmalıdır. Her bir örnek için sonuçlar tek tek ve tüm örnekler için ortalama değerler raporlanmalıdır. Bu veriler, 12 veya 60 saniyelik analiz yapıldığı, numunenin alevden uzaklaştırılmasından sonra ne kadar süre ile yanmaya devam ettiği, eğer damlama varsa damlayan materyalin ne kadar süre ile yandığı ve yanma uzunluğu bilgilerini içermelidir.

Aşağıdaki durumlardan biri veya birkaçının gerçekleşmesi durumunda numunenin dikey yakma testinden başarısız olduğu kabul edilmektedir.

- 12 veya 60 saniyelik yanma testi sonucunda alevden uzaklaştırılan numunenin 15 saniyeden uzun süreli yanması,
- 60 saniyelik yakma süresi ile yapılan testte damlama olması durumunda damlayan materyalin 3 saniyeden uzun sürecek şekilde alevli olarak yanmaya devam etmesi,
- 12 saniyelik yakma süresi ile yapılan testte damlama olması durumunda damlayan materyalin 5 saniyeden uzun sürecek şekilde alevli olarak yanmaya devam etmesi,
- 60 saniyelik yakma süresi ile yapılan testte tüm numunelerin yanma uzunluğu ortalamasının 152mm (6 inç)'yi geçmesi,
- 12 saniyelik yakma süresi ile yapılan testte tüm numunelerin yanma uzunluğu ortalamasının 203mm (8 inç)'yi geçmesi,

Kabin içerisindeki tavan panelleri, duvar panelleri, bölmeler, galley (mutfak) alanı yapıları, geniş kabin yüzeyleri, zemin yapıları, yük bölmeleri ve raflara 60 saniyelik test uygulanmaktadır.

Kumaş ve döşeme dahil zemin kapalamaları, koltuk minderleri, dolgu malzemeleri, deri kumaş kaplamalar, servis tepsileri, galley mobilyaları, elektrik kanalları, akustik ve termal izolasyon malzemeleri (kaplamaları dahil), havalandırma kanalları, izolasyon battaniyeleri, kargo kaplamaları gibi diğer kısımlar için 12 saniyelik test uygulanmaktadır.

Test kapsamında kullanılan bazı tanımlar;

Alev uygulama süresi (ignition time):

Alev uygulama süresi bek alevinin numuneye uygulama süresini ifade etmektedir. Bu test için süre yukarıda anlatılan malzeme özelliklerine göre 12 saniye veya 60 saniye olabilmektedir.

Alevli yanma süresi (flame time):

Numunenin bek alevinden uzaklaşmasından sonra test örneğinin yanmaya devam ettiği süre olarak ifade edilmektedir. Eğer numune alev almaz veya kor halinde kalırsa bu süreler yanma süresine dahil edilmemektedir.

Dökülen veya damlayan materyal için yanma süresi (drip flame time):

Test örneğinden yanma sırasında test kabini zeminine düşen materyalin/parçanın yanmaya devam ettiği süreyi ifade etmektedir. Eğer numuneden herhangi bir parça düşmez ise bu süre 0 saniye olarak raporlanıp damlama yok (no drip) şeklinde raporlanmaktadır.

Yanma uzunluğu (burn length):

Test numunesinin kenarından örneğin zarar gördüğünü gösteren en uzak noktaya kadar olan uzunluk yanma uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Burada ifade edilen zarar malzeme üzerindeki kömürleşme veya malzeme bütünlüğünün bozulmasıdır. Örneğin yalnızca kararması, renk değiştirmesi, maruz kalınan ısı sonrasında boyutu değişmiş parçaları yanma uzunluğunu etkilememektedir.

Deneye alınacak örnekler eşit kalınlıkta olacak şekilde, üretilmiş herhangi bir yüzeyden alınabilmektedir. Ancak alevin uygulanacağı kenar korunmuş olmamalıdır. Sandviç panel gibi yapılar bileşenlerine ayrılmadan teste tabi tutulmaktadır.

Tüm numuneler testlerden önce en az 24 saat $70^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{F}$ ($21^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$) ve $\%50\pm 5$ rölatif nemde kondisyonlanmalıdır.

Bunsen beki kullanılarak yanma uzunluğunun değerlendirildiği farklı testler de bulunmaktadır. Bunlar;

- 45-Derece bunsen beki testi
- Yatay bunsen beki testi (kabin, kargo bölmeleri ve muhtelif malzemeler)
- Elektrik kabloları için uygulanan 60-Derece bunsen beki testi

4.1.2. NBS Duman yoğunluğu testi

Duman yoğunluğu testi FAR 25.853 gereksinimi olarak, kabin içerisinde kullanılan malzemelerin yanma sırasında oluşturduğu duman miktarının tespit edilmesini amaçlamaktadır. Ölçüm sonucu spesifik optik yoğunluk olarak ifade edilmektedir. Malzemenin yanmasıyla birim alanın üretmiş olduğu duman miktarının ölçümüne dayanmaktadır.

Analiz, 91 cm yükseklik ve genişlik, 61 cm derinlik ölçülerinde imal edilmiş bir kabinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kabin içerisinde numune tutucu, radyant ısı kaynağı, %0.03 kesinlik ile %1'e kadar meydana gelen ışık geçirimsizliğini ölçebilme kabiliyetinde olan fotometrik sistemden meydana gelmektedir.

Test 7,5x7,5 cm boyutlarında düz plaka halinde kesilmiş malzemelere uygulanmaktadır ve 4 dakikalık (240 sn) test süresi sonucunda 200 optik birimin altında elde edilen sonuçlar için numune başarılı kabul edilmektedir.

Kabin içi tavan ve duvar panelleri (aydınlatma muhafazaları ve pencereler hariç), ışık geçirgen paneller hariç bölmeler, galley yapı elemanları, yük bölmeleri vb. malzemeler için duman yoğunluğu testi uygulanmaktadır.

Test kapsamında kullanılan terimler:

Spesifik optik yoğunluk (Ds): Spesifik optik yoğunluk numunenin yanması sırasında malzemenin birim alanı başına üretilen duman miktarının birimsiz bir ölçüsüdür. Bu testte, en yüksek Ds değeri testin ilk 4 dakikası boyunca oluşan değerdir ve 4Dm olarak rapor edilmektedir.

FAA Aircraft Materials Fire Test Handbook Chapter 6'da geçen makine elemanlarının Türkçe karşılıkları aşağıda verilmiştir:

Test öncesinde numunenin hazırlanması, kabin duvar sıcaklığının kontrolü ($35^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$), fırın voltajının kontrolü, ışık dedektöründe okunan net ışık değerinin %100 olması vb. ön hazırlıklar tamamlanmaktadır.

Test numuneleri dikey yakma testinde olduğu gibi analiz öncesinde en az 24 saat $70^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{F}$ ($21^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$) ve %50±5 rölatif nem koşullarında kondisyonlanmalıdır.

Numune tutucuya yerleştirilen test örneği pnömatik mekanizma yardımı ile kabin kapağı kapalıyken pilot alevi önüne itilerek süre otomatik olarak başlatılmaktadır.

Test boyunca en az 240 saniye ölçümler devam etmelidir. Gaz numunesi alınması vb. durumlarda bu sürenin geçmesi beklenmektedir.

FAR 25.853 (c-1) Değişiklik 25-72'ye göre 4 dakikalık (240 saniye) test süresince ortalama 4Dm değerinin 200'ü geçmemesi gerekir.

4.1.3. OSU-HRR (Ohio State Üniversitesi kalorimetresi ısı salınım testi)

Bu test FAR 25.853 gerekliliklerinin sağlanması amacıyla ısı salınımının ölçülmesi için uygulanmaktadır. Isı salınımı bir malzemenin yanması sırasında meydana gelen enerji miktarının bir ölçüsü olarak tanımlanabilmektedir. Bu kavram birim alanda oluşan enerji olarak ifade edilmektedir (Joule/m^2 ya da kW dk/m^2). Isı salınım hızı ise yanma süresi boyunca meydana gelen enerji hızının birimi olarak bilinmektedir (kW/m^2). Malzemenin en şiddetli yandığı sırada en yüksek ısı salınım hızı izlenmektedir. Bu oranlar, kaza sonrasında kabin içerisinde yangına maruz kalınması halinde acil kaçış için gerekli şartların sağlanabilirliğinin öngörülmesi anlamında önem arz etmektedir. Isı salınımı ve ısı salınım hızı, duman yoğunluğu gibi bu anlamda en önemli parametreler arasında yer almaktadır.

Ohio State Üniversitesi tarafından geliştirilmesi sebebiyle bu isimle bilinmektedir. Test kabini içerisine $0.04\text{m}^3/\text{sn}$ debiyle sıcaklık kontrollü olarak hava akısı sağlayan bir dış hava işleme ünitesi bulunmaktadır. Metan gazı ile gerçekleştirilen kalibrasyonun sırasında kabin içerisine giren ve çıkan havanın sıcaklığı termopil yardımıyla sürekli olarak ölçülmektedir.

15×15 cm boyutlarında düz plakalar şeklinde hazırlanan malzemeler, dikey olarak, 35kW/m^2 lik ısı akısı üreten silikon karbid çubuklar ve pilot alevine maruz bırakılmakta ve test süresi boyunca yanma davranışı değerlendirilmektedir. Aynı zamanda test sırasında yanıcı gaz oluşması durumunda numunenin üst kısmında konumlandırılmış brülörler bu gazlarında yanması sağlamakta ve toplam ısı salınımının/ısı salınım hızının ölçülmesindeki doğruluğu arttırmaktadır.

OSU-HRR testi için aynı örnekten en az üç numune test edilmelidir. Örneklerin testten başarıyla geçebilmesi için, 5 dakikalık test süresi boyunca ortalama maksimum ısı salınım hızının 65kW/m^2 'yi geçmemesi gerekmektedir. Benzer şekilde testin ilk iki dakikasındaki ortalama ısı salınımının da 65KW-dk/m^2 (3.9MJ/m^2)'nin üzerinde olmaması gerekmektedir.

Kabin içi tavan ve duvar panelleri (aydınlatma muhafazaları ve pencereler hariç), ılık geçirgen paneller hariç bölmeler, galley yapı elemanları, yük bölmeleri vb. malzemeler için OSU-HRR testi uygulanmaktadır.

4.2. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçlar

Geliştirilen farklı antibakteriyel ve yanma dayanımı yüksek malzemeler, prepreg plakalar (epoksi ve benzoksi sistemler) üzerine spreyle uygulanarak kürlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kürlenme sonrasında malzemelerin tartımı yapılmıştır. Buna göre antimikrobiyal ve yanma dayanımı yüksek malzemenin toplamda sadece yaklaşık %1'lik bir kütle artışına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Kürlenme işlemi parametreleri, benzoksazin reçine içeren prepreg sistemler için tablo 4.1'de epoksi içeren prepreg sistemler için tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Benzoksazin içeren prepreg plakaların kürlenme parametreleri

Kürlenme koşulları	
Vakum	550-600 (mbar)
Reçine	Benzoksazin
ABT oranı w/w	%0.5-1
Sıcaklık	150 °C'de 120 dakika sonrasında, 180°C'de 120 dakika

Tablo 4.2. Epoksi içeren prepreg plakaların kürlenme parametreleri

Kürlenme koşulları	
Vakum	550-600 (mbar)
Reçine	Epoksi
ABT oranı w/w	%0.5-1
Sıcaklık	90 °C'de 30 dakika sonrasında 120°C'de 120 dakika

4.2.1. Uçaklarda kullanılan mevcut ticari koltuk kumaşlarının dikey yakma testleri

Dikey yakma testlerinde ticari olarak yolcu uçaklarında kullanılan farklı koltuk kumaşlarının yanma uzunlukları ve süreleri tespit edilmiştir. Kumaş içerikleri (Kompozisyon), m² kütleleri, yanma uzunlukları, yanma süreleri gibi parametreler

standart ile tanımlanmaktadır. Numuneler ticari ürün olduğundan tüm örnekler a-h arasındaki kodlar verilmiştir. Tüm örnekler atkı ve çözgü olmak üzere 2 yönlü olarak yakılmıştır. Test için kullanılan brülörde ölçülen alev sıcaklığı 857 °C'dir. Kumaş örnekleri %87 ila %94 oranında yün' den imal edilmiştir. Yün dışında teste tabi tutulan malzemelerde poliamid ve naylon da bulunmaktadır.

Yanma uzunluğu, Test Method 5903.1 "Flame Resistance of Cloth, Vertical" (12/28/87)'da tanımlanan ağırlıkların, kumaşlarda yanmanın gerçekleştiği kenardaki uçlardan birine takılmasıyla ölçülmüştür. Bu ağırlıklar kancalar yardımıyla köşelere sabitlenmiş ve diğer köşeden tutularak ağırlığın tamamının yerle teması kesilene kadar kaldırılmıştır. Meydana gelen azami açılma ölçülerek yanma uzunluğu belirlenmiştir.

Tüm kumaşlar 203-508 g/m² değerlerine sahip olduğu için metotta belirtilen 0,2 kg ağırlığı kullanılmıştır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, örneklerinin hiçbirinin testi başarıyla geçme kriteri olan aralıkların dışında olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 4.3. Farklı üreticilerin, uçak yolcu koltuklarında kullanılan ve çeşitli özelliklere sahip kumaşlarının dikey yakma test sonuçları.

	Yanma süresi (sn)	Yanma uzunluğu (cm)	Damlama	g/m ²	Komp.
Numune A (ATKI)	2,2 - 1,8 (ort: 2,0)	5,2 - 5,2 (ort:5,2)	0	370	% 91 yün % 9 poliamid
Numune A (ÇÖZGÜ)	5,1 - 0,5 (ort:2,8)	10,6 - 8,5 (ort: 9,5)	0		
Numune B (ATKI)	1,6 - 3,6 (ort: 2,6)	3,5 - 4,8 (ort:4,1)	0	480	% 91 yün % 9 poliamid
Numune B (ÇÖZGÜ)	3,7 - 6,3 (ort: 5,0)	5,2 - 6,5 (ort: 58,5)	0		
Numune C (ATKI)	1,3 - 1,0 (ort:1,2)	6,8 - 4,0 (ort:5,4)	0	390	%90 yün %10 naylon
Numune C (ÇÖZGÜ)	1,2 - 1,6 (ort: 1,4)	7,4 - 8,0 (ort: 7,7)	0		
Numune D (ATKI)	0,8 - 0,5 (ort: 0,7)	7,9 - 7,1 (ort: 7,5)	0	390	%90 yün %10 naylon
Numune D (ÇÖZGÜ)	0,5 - 0,5 (ort: 0,5)	6,0 - 7,1 (ort: 6,5)	0		
Numune E (ATKI)	0,5 - 2,7 (ort: 1,6)	7,5 - 8,2 (ort: 7,8)	0	360	%87 yün %13 poliamid
NumuneE (ÇÖZGÜ)	5,1 - 0,5 (ort: 2,8)	10,6 - 8,5 (ort: 9,5)	0		
Numune F (ATKI)	0,5 - 0,5 (ort: 0,5)	7,0 - 6,5 (ort: 6,7)	0	380	%94 yün %6 naylon
Numune F (ÇÖZGÜ)	10,5 - 11,0 (ort: 10,8)	8,2 - 8,8 (ort: 8,5)	0		
Numune G (ATKI)	1,1 - 3,5 (ort: 2,3)	3,5 - 6,5 (ort: 5,0)	0	380	%94 yün %6 naylon
Numune G (ÇÖZGÜ)	1,6 - 6,0 (ort: 3,8)	7,1 - 9,6 (ort: 8,3)	0		
Numune H (ATKI)	1,2 - 1,0 (ort: 1,1)	5,0 - 7,7 (ort: 6,3)	0	370	%94 yün %6 naylon
Numune H (ÇÖZGÜ)	0,7 - 1,2 (ort: 1,0)	5,9 - 6,3 (ort: 6,1)	0		

Dikey yakma testlerinde ikinci adım olarak güç tutuşur ve güç tutuşur-antibakteriyel malzemeler ile kürlenmiş prepreg numuneleri de çalışılmıştır.

4.2.2. Kompozit malzemelerin dikey yakma (yanma uzunluğu) testleri

Kompozit yüzeylerde (özellikle bölüm duvarları) kullanılan prepreg malzemeler, antibakteriyel ve güç tutuşurluluk özellikleri kazandırılmak amacıyla çeşitli özelliklerde

kürlenerek hazırlanmıştır. Güç tutuşurluluk fonksiyonu için fosfor ve azotun sinerjik olarak kullanılabilirliği amonyum polifosfat temelli Exolit® IFR 36 ve benzer özelliklere sahip Exolit® AP750 belirli oranlarda epoksi sistemlere katkılандırılmıştır. Epoksi reçine, sertleştirici ve güç tutuşur malzeme katkı oranları ve numune kodları tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Kompozit katkı yüzdeleri (preg malzeme)

1	U_IFR36_1	Madde	Miktar (gr)
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		IFR36	5
2	U_IFR36_2	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		IFR36	10
3	U_IFR36_3	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		IFR36	15
4	U_IFR36_4	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		IFR36	20

Tablo 4.4. (Devam) *Kompozit katkı yüzdeleri (prepreg malzeme)*

5	U_AP750_1	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		AP750	5
6	U_AP750_2	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		AP750	10
7	U_AP750_3	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		AP750	15
8	U_AP750_4	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		AP750	20
9	U_IFR36+AP750_5	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		AP750	5

Tablo 4.4. (Devam) Kompozit katkı yüzdeleri (prepreg malzeme)

10	U_IFR36+AP750_10	Madde	Miktar
		Duratek DTE 1710	100
		Alzchem 100S	6.5
		Alzchem UR500	3
		AP750	10
		IFR36	10

Hazırlanan örnekler analiz ölçeklerine uygun olarak hazırlanıp 24 saat şartlandırma kabiniinde bekletildikten sonra teste alınmıştır. Tüm numuneler, hem antibakteriyel malzemeye kürlenmiş hem de kürlenmemiş örnekleri hazırlanarak deneye alınmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.5.'de verilmiştir. IFR36-2 kodlu numunelerin hazırlanması sırasında yaşanan bir problemten dolayı numuneler kullanılamaz hale gelmiş ve dikey yakma testi bu örnekler için gerçekleştirilememiştir.

Tablo 4.5. Dikey yakma test sonuçları (prepreg malzeme), (K) ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenmiş numuneleri göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Yanma süresi (sn)	Yanma uzunluğu (mm)	Damlama (Var/Yok)	Test sonucu
AP-750-1	0,43	22	≥200	Yok	Kaldı
AP-750-1 (K)	0,43	25	≥200	Yok	Kaldı
AP-750-2	0,44	0	105	Yok	Geçti
AP-750-2 (K)	0,44	0	104	Yok	Geçti
AP-750-3	0,42	0	80	Yok	Geçti
AP-750-3 (K)	0,42	0	90	Yok	Geçti
AP-750-4	0,45	2,9	101	Yok	Geçti
AP-750-4 (K)	0,45	0	84	Yok	Geçti
IFR36-1	0,43	30	≥200	Yok	Kaldı
IFR36-1 (K)	0,43	28	≥200	Yok	Kaldı
IFR36-2	-	-	-	-	-
IFR36-2 (K)	-	-	-	-	-

Tablo .5. (Devam) *Dikey yakma test sonuçları (pregreg malzeme), (K) ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene numuneleri göstermektedir.*

IFR36-3	0,43	0	89	Yok	Geçti
IFR36-3 (K)	0,43	0	77	Yok	Geçti
IFR-4	0,44	0	86	Yok	Geçti
IFR36-4 (K)	0,44	0	76	Yok	Geçti
IFR36+AP750-5	0,45	1	72	Yok	Geçti
IFR36+AP750-5 (K)	0,45	1	≥200	Yok	Kaldı
IFR36+AP750-10	0,44	0	70	Yok	Geçti
IFR36+AP750-10 (K)	0,44	0	82	Yok	Geçti

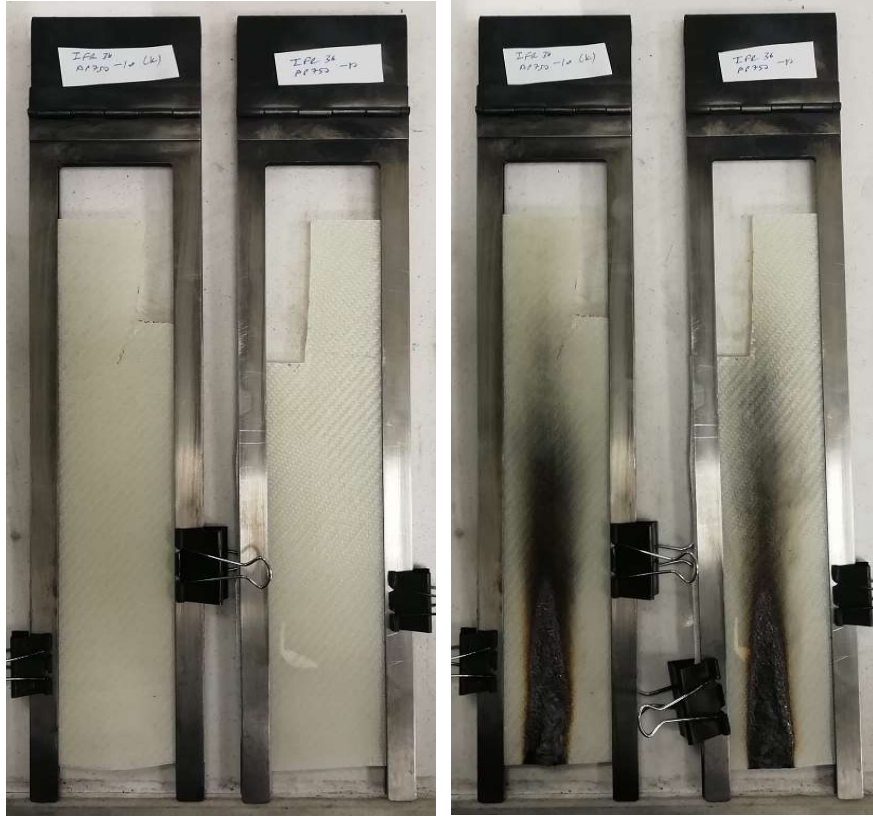
Güç tutuşur malzeme eklenmesine ilave olarak antimikrobiyal malzeme ile katkılanırılan numuneler arasında yanma boyu / yanma süresi ile ilgili olarak belirgin bir farklılık tespit edilmemiştir. Güç tutuşur katkılanırması tablo 4.4.'de belirtilen oranlarda gerçekleştirilen numuneler laboratuvarda yüzeylerine antimikrobiyal malzeme spreyleneek sonrasında kürlenmiştir. Kürlenme; 90°C'de 30 dakika ve sonrasında 120°C'de 2 saat şeklinde olacak şekilde etüv programlanarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan malzemelerin tüm analizler için yeterli olmamasından dolayı numunelerin yanma kenarı dışındaki üst bölgesinde kesit oluşmuştur. Ancak yanma boyunun o bölge ile ilgili olarak değişmediği için sonuçlar değerlendirmeye alınmıştır. Tüm test numuneleri ya tam olarak yanmış ya da söz konusu kesite ulaşmadan yanmayı durdurmuştur. Yanma uzunluklarının ölçümü, malzemenin test sonrasında ıslak bir bezle silinerek malzeme deformasyonu olmayan kısma kadar çelik ve kalibrasyonu yapılmış bir cetvelle ölçümü şeklinde gerçekleştirilmiştir.

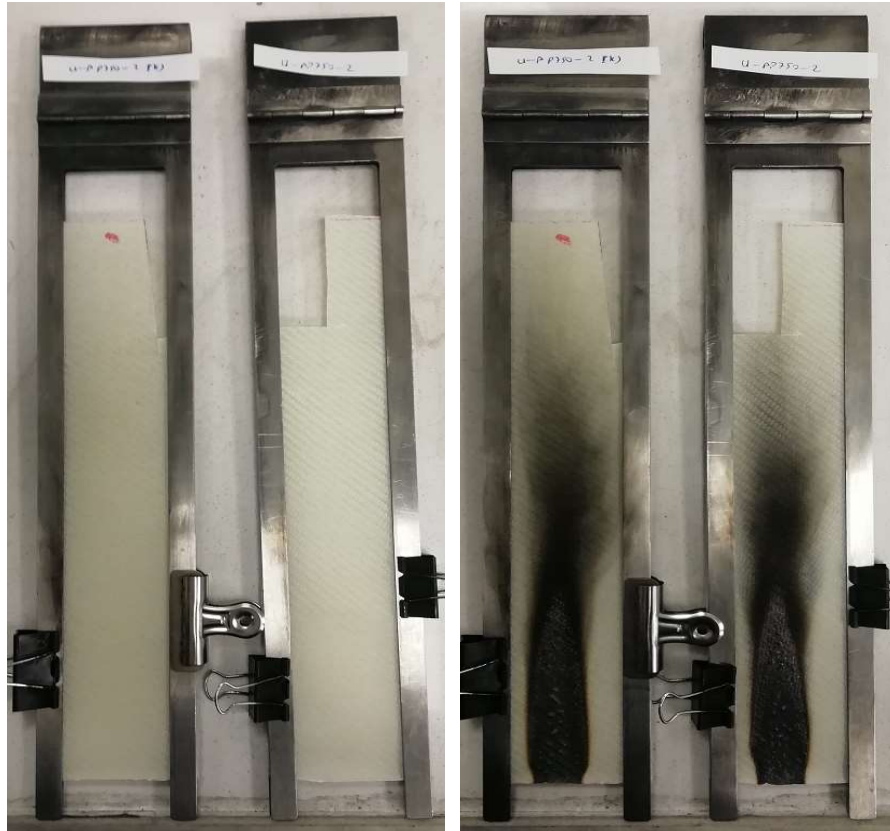
Her numuneden sonra dikey yakma kabini belirli süreler havalandırılmıştır. Tüm örneklerin deney öncesi ve sonrasında fotoğrafları çekilerek arşivlenmiştir.

Analiz öncesinde metan alevi sıcaklığı bunsen beki üzerinde 863°C olarak ölçülmüştür. Ayrıca laboratuvar ortam koşulları da raporlanmıştır.

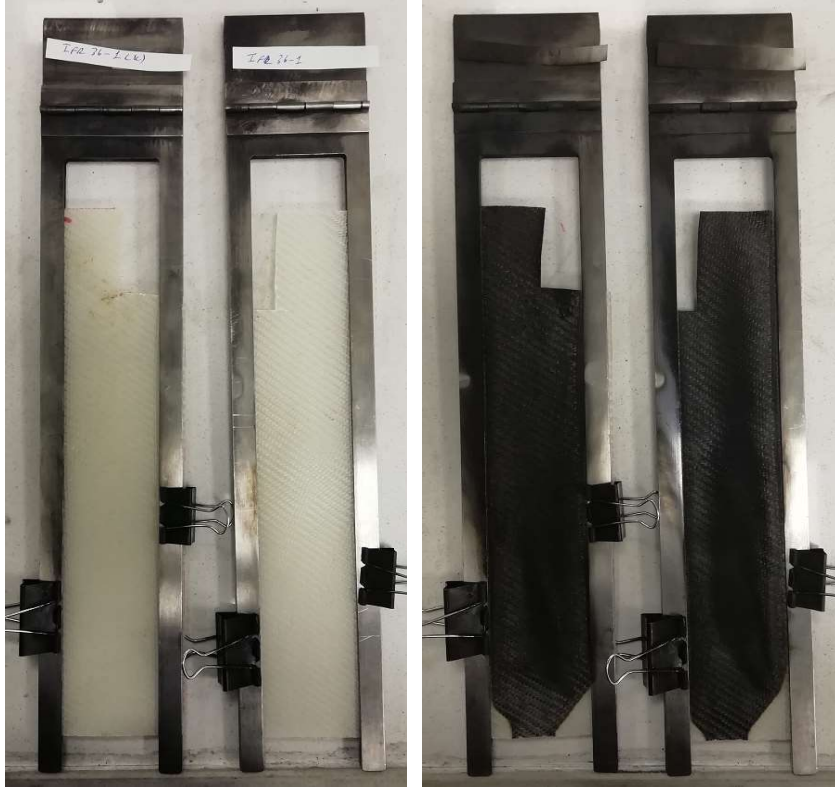
Çalışma görselleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. IFR36+AP750-10 ve IFR36+AP750-10 (K) numunelerinin dikey yakma testi öncesi ve sonrası görselleri.



Şekil 4.2 AP750-2 ve AP750-2 (K) numunelerinin dikey yakma testi öncesi ve sonrası görselleri.



Şekil 4.3. IFR36-1 ve IFR36-1(K) numunelerinin dikey yakma testi öncesi ve sonrası görselleri. Örnekler yaklaşık olarak 30 saniye boyunca yanmaya devam etmiştir.

4.2.3. Kompozit malzemelerin NBS duman yoğunluğu testleri

Hazırlanan örnekler FTT NBS Smoke Density Chamber (Duman yoğunluğu test kabini) cihazında test edilmiştir (Test alevli modda 240 saniye olacak şekilde gerçekleştirilmiştir /ASTM E 662). Antibakteriyel malzeme ile kürlenene numunelerin çoğunda duman yoğunluğunda bir miktar azalma olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.



Şekil 4.4. %5 AP750 ve antibakteriyel malzeme ilaveli %5 AP750 katkılı numunelerin yanma öncesi ve sonrası görselleri.

F1 olarak kodlanan numuneler antibakteriyel malzeme ile kürlenmiş F2 olarak kodlanan malzemeler yalnızca g   tutuşur malzemelerle katkılandırılmıştır.

Tablo 4.6. Duman yoğunluğu  l im test numuneleri (preg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen  rneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 AP750 içeren  rneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (AP750-1) Antibakteriyel	0,42	2,41	25,96	26,63	%14.1	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (AP750-1)	0,42	2,48	35,14	35,79	%13.7	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.7. Duman yoğunluğu  l im test sonuçları (preg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenen  rneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 AP750 içeren  rneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	31.3	235.5	0	240	2.45	0.34	99.06
F 1	26.63	240	0.00	240	2.41	0.34	82.29
F 2	35.98	231	0.00	240	2.48	0.34	115.82

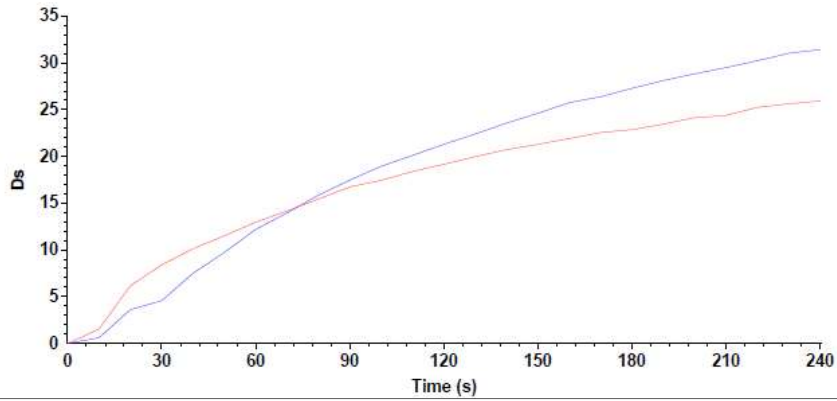
Time (s)	F1 Ds (g)	F2 Ds (g)
0	0	0
10	15	25
30	20	33
60	22	30
120	24	33
180	25	35
240	26.63	35.98

Tablo 4.8. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (pregreg malzeme), F1 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F2 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 AP750 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (AP750-2)	0,41	2,23	31,29	31,39	%11,7	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (AP750-2) Antibakteriyel	0,41	2,35	25,49	25,92	%13,7	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.9. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 AP750 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	28.81	239.5	0	240	2.29	0.29	72.14
F 1	31.61	241	0.00	240	2.23	0.26	76.39
F 2	26.01	238	0.00	240	2.35	0.32	67.89



Tablo 4.10. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 AP750 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (AP750-3)	0,42	2,39	23,6	23,52	%13,4	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (AP750-3) Antibakteriyel	0,42	2,39	22,75	22,84	%13,4	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.11. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 AP750 içeren örneği göstermektedir.

Flaming tests							
Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	23.35	241	0	240	2.39	0.32	59.37
F 1	23.60	241	0.00	240	2.39	0.32	61.82
F 2	23.10	241	0.00	240	2.39	0.32	56.91

Tablo 4.12. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 AP750 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (AP750-4)	0,43	2,48	39,04	39,36	%15,3	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (AP750-4) Antibakteriyel	0,43	2,44	31,93	32,04	%13,5	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.13. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 AP750 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(l) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	35.77	240.5	0	240	2.46	0.36	89.95
F 1	39.36	240	0.00	240	2.48	0.38	102.76
F 2	32.18	241	0.00	240	2.44	0.33	77.14

Tablo 4.14. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 IFR36+AP750 %5	0,43	2,51	37,1	37,94	%13,1	ASTM E 662 (Alevli)
F2 IFR36+AP750 %5 Antibakteriyel	0,43	2,61	33,18	33,55	%14,2	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.15. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	35.86	241	0	240	2.56	0.35	108.02
F 1	38.08	241	0.00	240	2.51	0.33	118.70
F 2	33.63	241	0.00	240	2.61	0.37	97.34

Tablo 4.16. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 IFR36+AP750 %10	0,42	2,62	21,66	21,87	%15,6	ASTM E 662 (Alevli)
F2 IFR36+AP750 %10 Antibakteriyel	0,42	2,42	25,13	25,78	%14,2	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.17. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36+AP750 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	23.98	240	0	240	2.52	0.4	58.04
F 1	22.17	241	0.00	240	2.62	0.41	54.10
F 2	25.80	239	0.00	240	2.42	0.39	61.98

Tablo 4.18. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 IFR36	0,42	2,62	22,17	21,87	%15,6	ASTM E 662 (Alevli)
F2 IFR36 Antibakteriyel	0,42	2,42	25,8	25,78	%14,2	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.19. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %5 IFR36 içeren örneği göstermektedir. Test sırasında F2 nolu numune analizi 240 saniye sonunda sonlandırılmadığından sonuçlar diğere örneklere göre daha büyük farklılık göstermektedir.

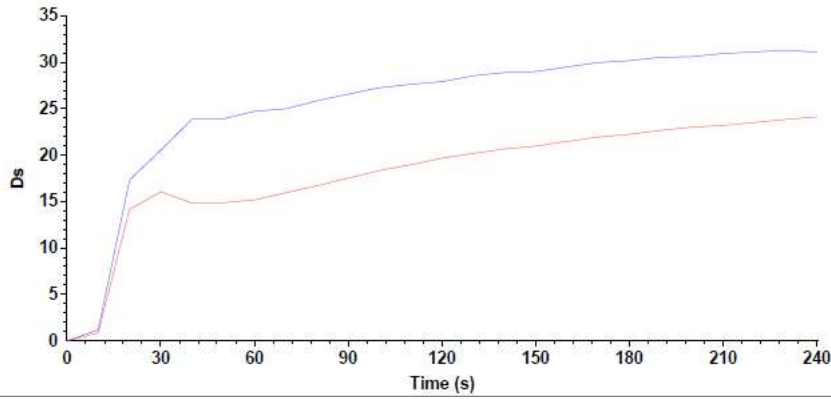
Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(l) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	26.46	368	0	370	2.34	0.37	62.41
F 1	21.58	240	0.00	240	2.27	0.31	58.30
F 2	31.33	496	0.00	500	2.42	0.42	66.53

Tablo 4.20. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (IFR36)	0,42	2,57	30,68	31,05	%14	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (IFR36) Antibakteriyel	0,42	2,42	23,56	24,09	%13,8	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.21. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %10 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	27.68	234	0	240	2.49	0.35	83.65
F 1	31.26	230	0.00	240	2.57	0.36	98.24
F 2	24.09	238	0.00	240	2.4	0.33	69.06



Tablo 4.22. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (IFR36)	0,43	2,33	33,08	33,63	%14	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (IFR36) Antibakteriyel	0,43	2,36	23,97	24,47	%13,8	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.23. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (pregreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenene örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %15 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	29.1	241	0	240	2.34	0.32	71.87
F 1	33.64	241	0.00	240	2.33	0.31	82.80
F 2	24.57	241	0.00	240	2.36	0.33	60.95

Tablo 4.24. Duman yoğunluğu ölçüm test numuneleri (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenmiş örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

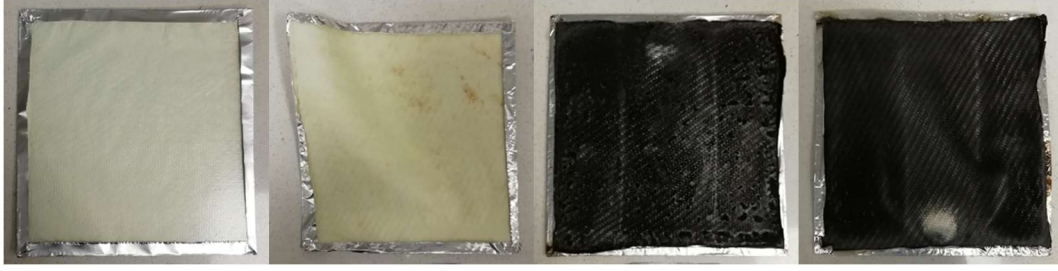
Numune adı	Kalınlık (mm)	Başlangıç ağırlığı (gr)	Ds _{max}	Ds (4.dk)	Kütle kaybı %	Standart
F1 (IFR36)	0,41	2,38	31,44	31,44	%13,9	ASTM E 662 (Alevli)
F2 (IFR36) Antibakteriyel	0,41	2,51	28,62	27,59	%15,9	ASTM E 662 (Alevli)

Tablo 4.25. Duman yoğunluğu ölçümü test sonuçları (prepreg malzeme), F2 ile belirtilen numuneler antimikrobiyal malzeme ile kürlenmiş örneği, F1 ile belirtilen numune yalnızca kütlece %20 IFR36 içeren örneği göstermektedir.

Test	Dm (-)	t(Dm) (s)	Dm(corr) (-)	Duration (s)	m(i) (g)	Mass loss (g)	VOF4 (-)
Mean	30.03	247.5	0	245	2.44	0.37	69.79
F 1	31.44	240	0.00	240	2.38	0.33	74.93
F 2	28.62	255	0.00	250	2.51	0.4	64.66

4.2.4. Kompozit malzemelerin OSU-HRR ısı salım hızı testleri

Antiakteriyel malzeme ile kürlenmiş ve yalnızca belirli oranlarda AP750 ve /veya IFR36 ile katkılandırılmış numuneler, ısı salınım davranışlarının gözlemlenmesi amacıyla OSU-HRR testine alınmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tablolar ve görsellerde verilmiştir.

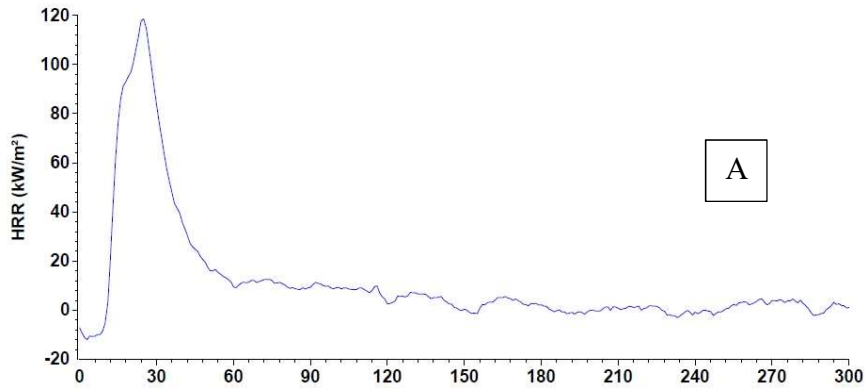


Şekil 4.5. Soldan sağa sırasıyla; %5 AP750 içeren test öncesi, %5AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %5 AP750 içeren test sonrası, %5 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.26. A: %5 AP750 içeren numune test sonucu, B: %5 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

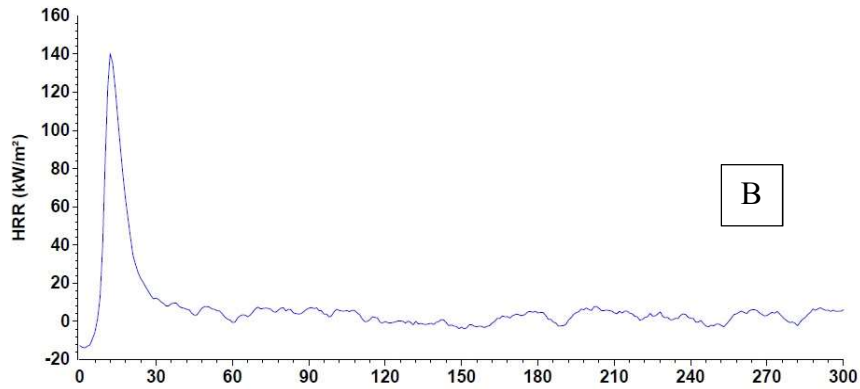
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	118.4	25	53.3

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	140.3	12	29.1

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



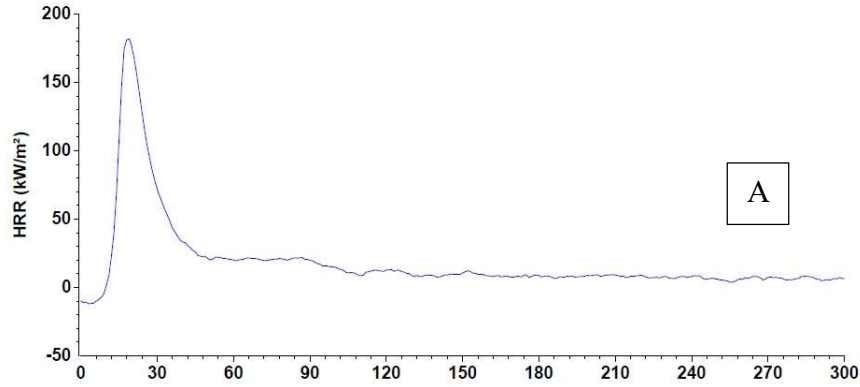


Şekil 4.6. Soldan sağa sırasıyla; %10 AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %10 AP750 içeren test sonrası, %10 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.27. A: %10 AP750 içeren numune test sonucu, B: %10 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

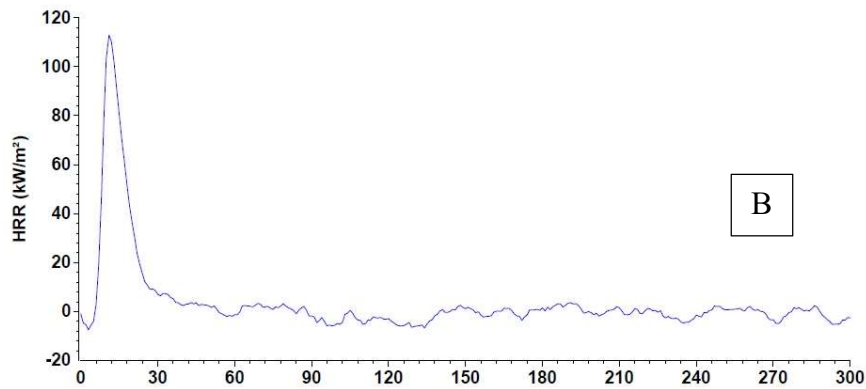
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	181.7	19	70.2

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	112.7	11	21.5

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



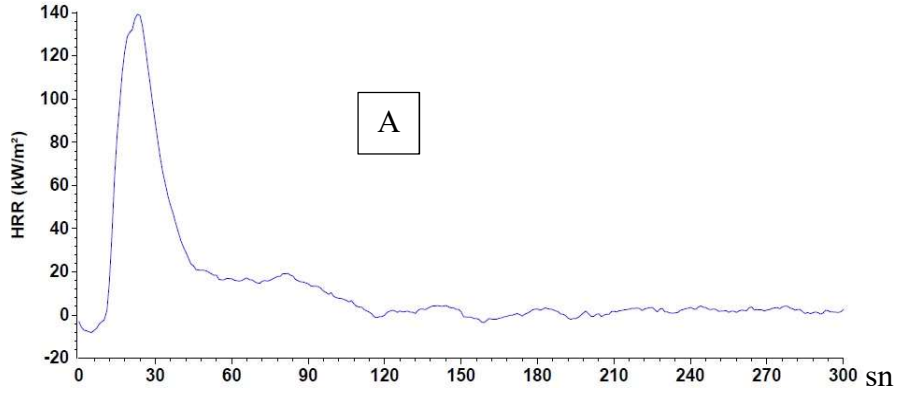


Şekil 4.7. Soldan sağa sırasıyla; %15 AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %15 AP750 içeren test sonrası, %15 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.28. A: %15 AP750 içeren numune test sonucu, B: %15 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

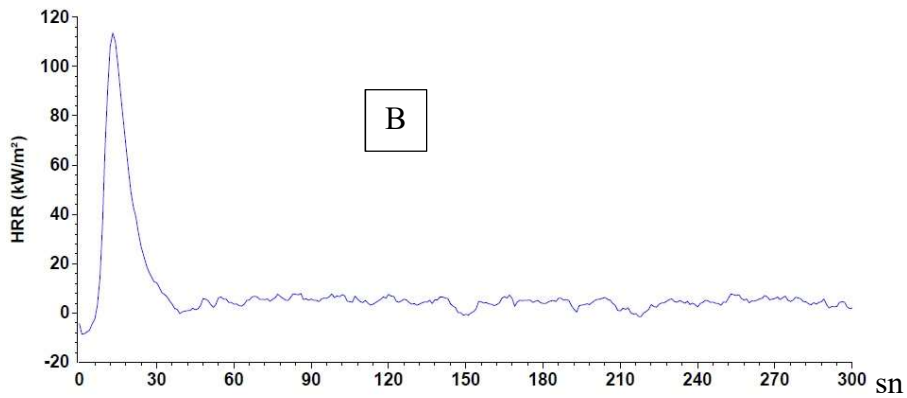
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	138.9	23	60.5

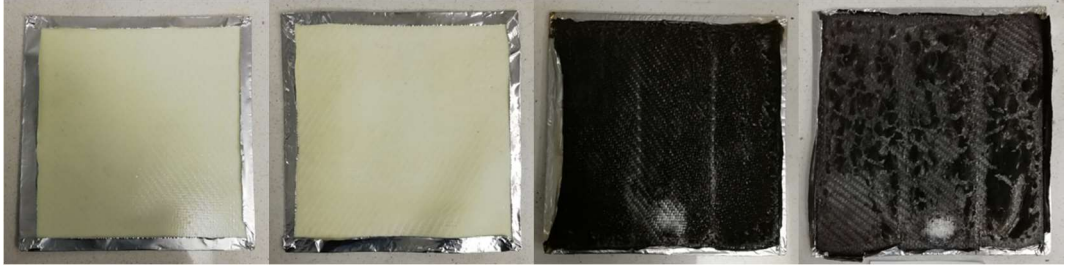
(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	113.4	13	28.0

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



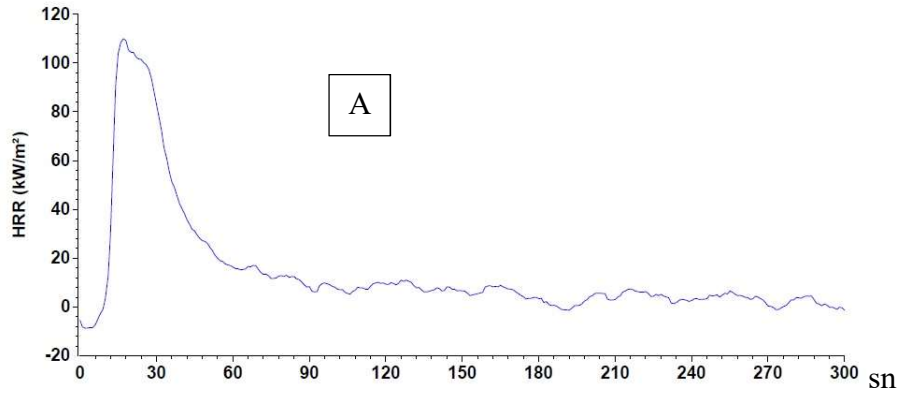


Şekil 4.8. Soldan sağa sırasıyla; %20 AP750 içeren test öncesi, %20 AP750 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %20 AP750 içeren test sonrası, %20 AP750+antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.29. A: %20 AP750 içeren numune test sonucu, B: %20 AP750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

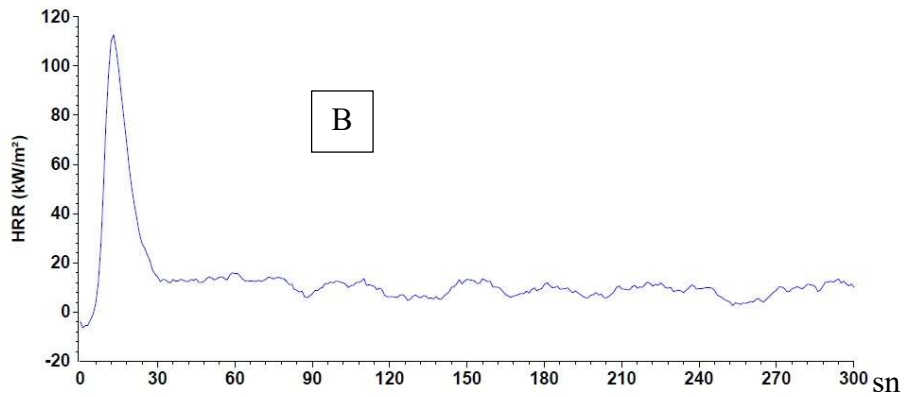
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	109.8	17	58.4

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	112.6	13	39.3

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



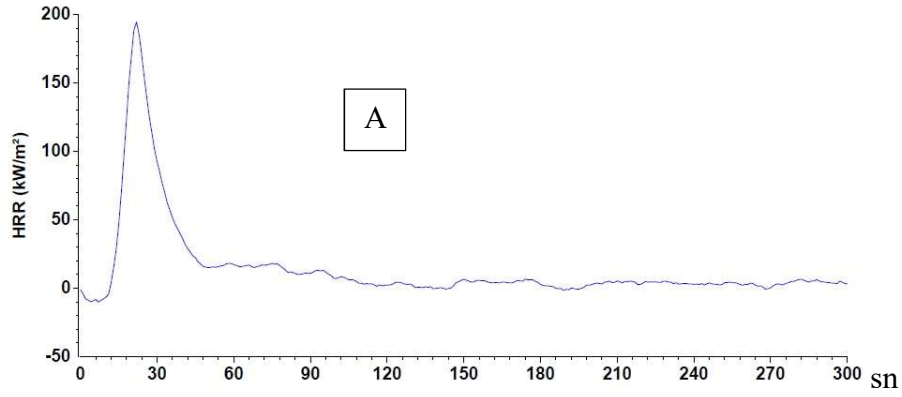


Şekil 4.9. Soldan sağa sırasıyla; %5 IFR36 içeren test öncesi, %5 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %5 IFR36 içeren test sonrası, %5 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.30. A: %5 IFR içeren numune test sonucu, B: %5 IFR + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

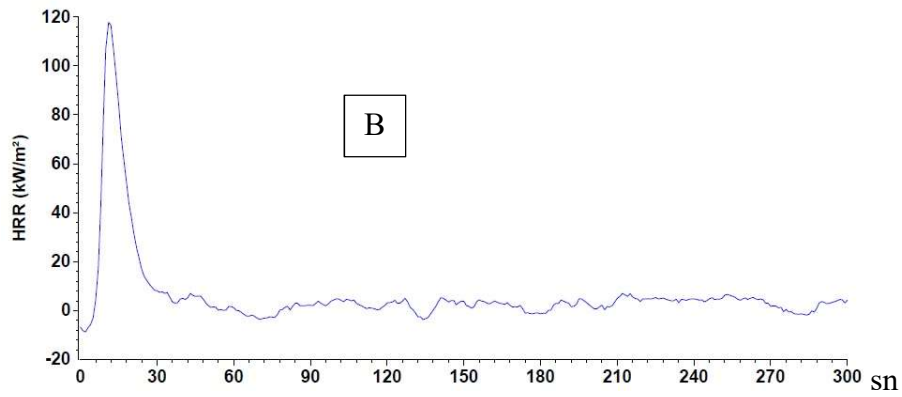
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	194.4	22	62.4

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	117.7	11	23.5

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



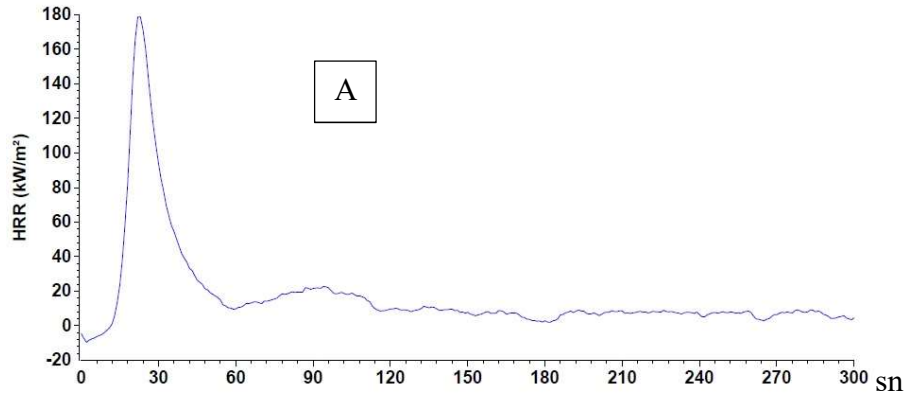


Şekil 4.10. Soldan sağa sırasıyla; %10 IFR36 içeren test öncesi, %10 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %10 IFR36 içeren test sonrası, %10 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.31. A: %10 IFR içeren numune test sonucu, B: %10 IFR + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

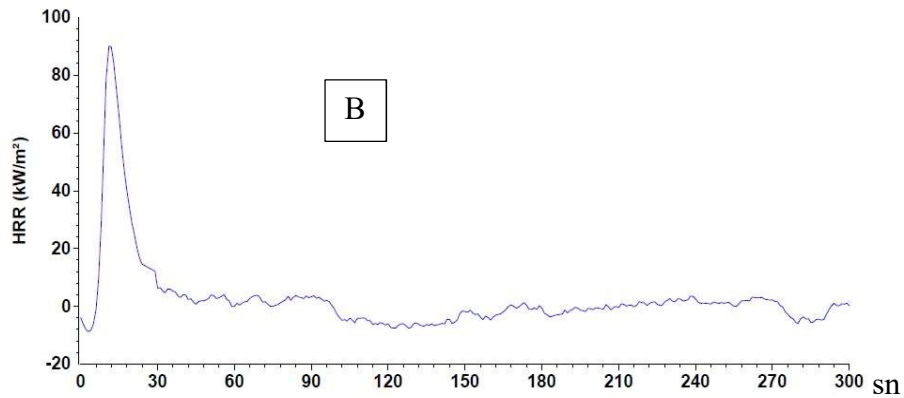
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	178.8	22	64.8

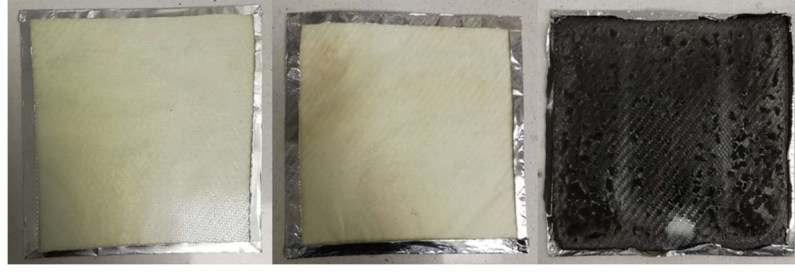
(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	90.0	11	18.5

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



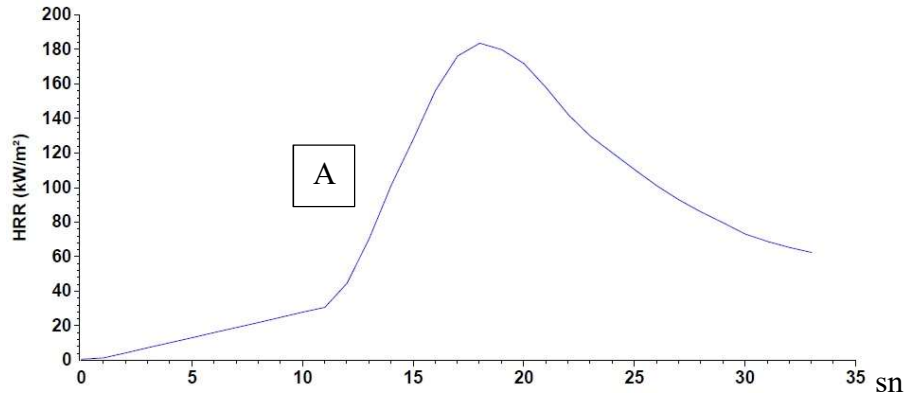


Şekil 4.11. Soldan sağa sırasıyla; %15 IFR36 içeren test öncesi, %15 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %15 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.32. A: %15 IFR 36 içeren numune test sonucu, B: %15 IFR 36 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

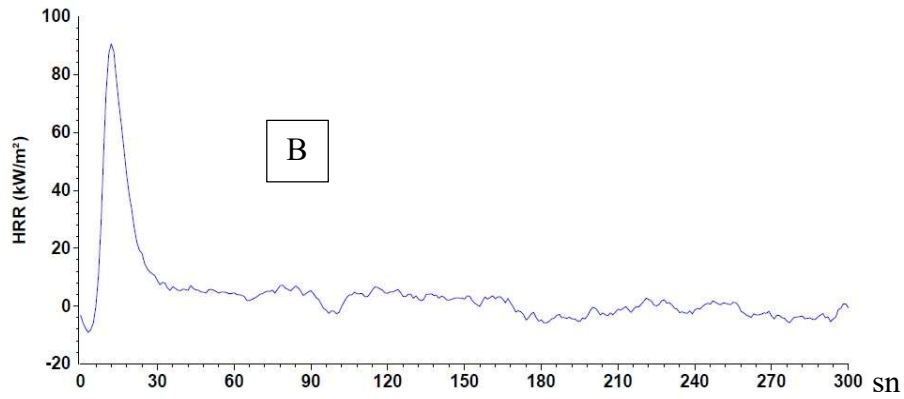
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	183.5	18	44.6

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	90.6	12	22.8

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



A numunesi analiz hatasından dolayı tamamlanamamıştır.

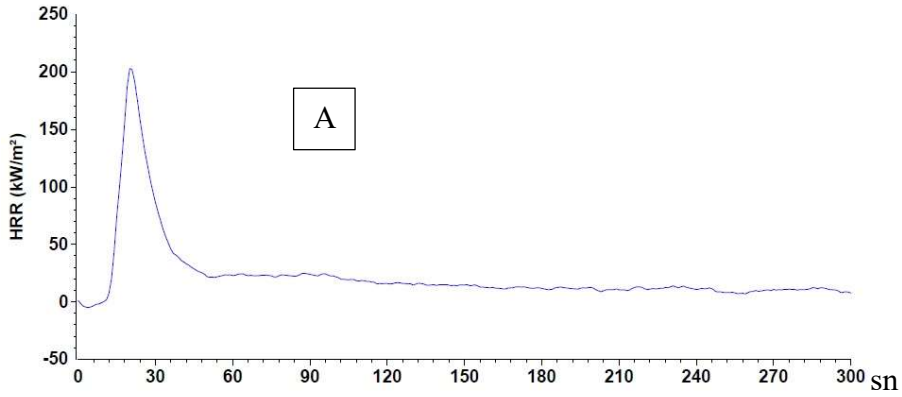


Şekil 4.12. Soldan sağa sırasıyla; %20 IFR36 içeren test öncesi, %20 IFR36 +Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %20 IFR36 içeren test sonrası, %20 IFR36 +antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.33. A: %20 IFR 36 içeren numune test sonucu, B: %20 IFR 36 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

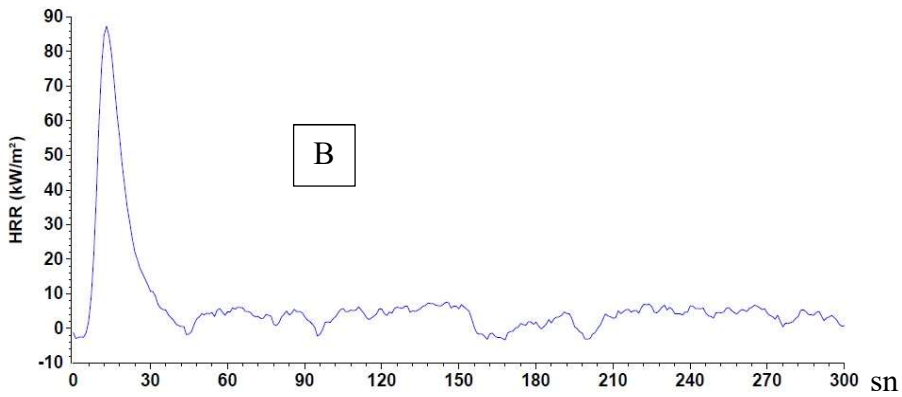
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	202.9	20	77.4

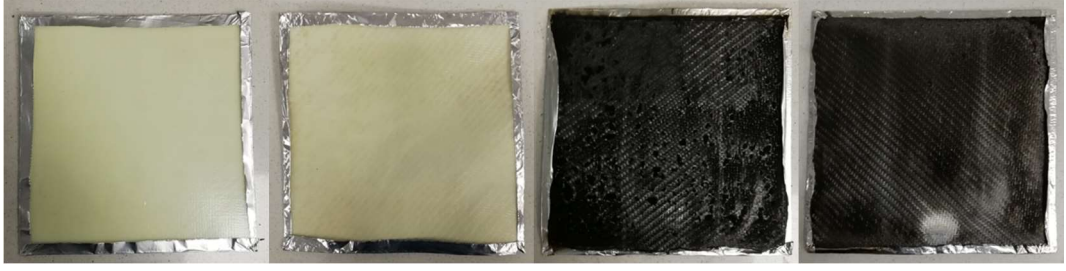
(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	87.4	13	22.7

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



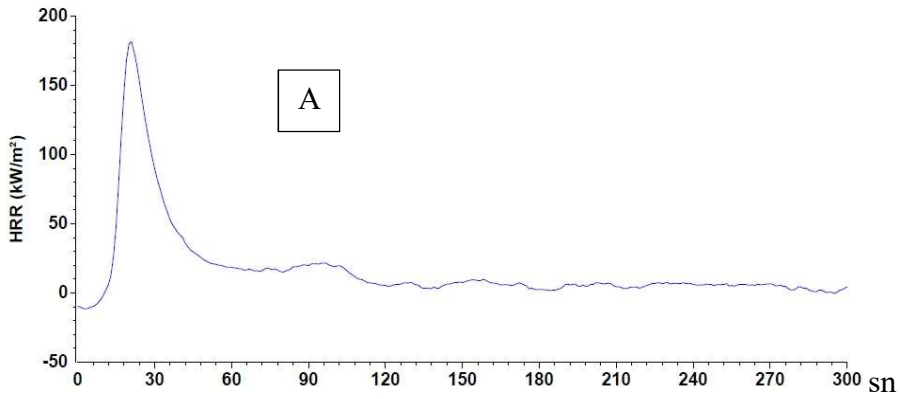


Şekil 4.13. Soldan sağa sırasıyla; %5 IFR36+AP750 içeren test öncesi, %5 IFR36 + AP 750 + Antibakteriyel işlem görmüş test öncesi, %5 IFR36+AP750 içeren test sonrası, %5 IFR36 + AP 750 + Antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.34. A: %5 IFR36 + AP750 içeren numune test sonucu, B: %5 IFR36 + AP 750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu.

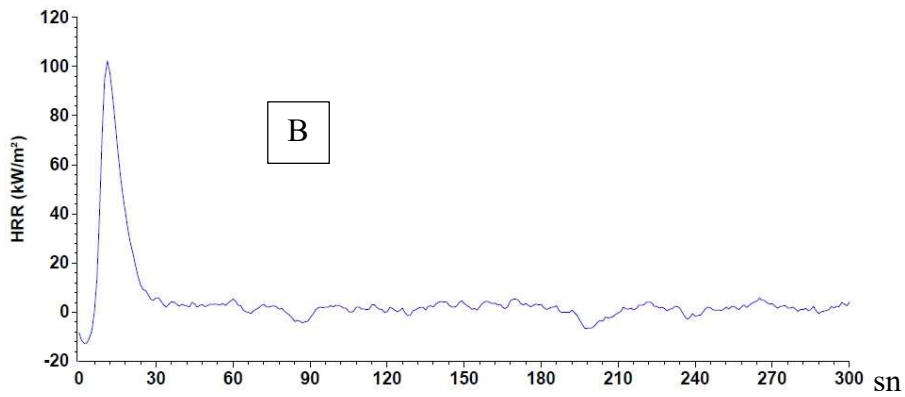
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	181.5	21	69.5

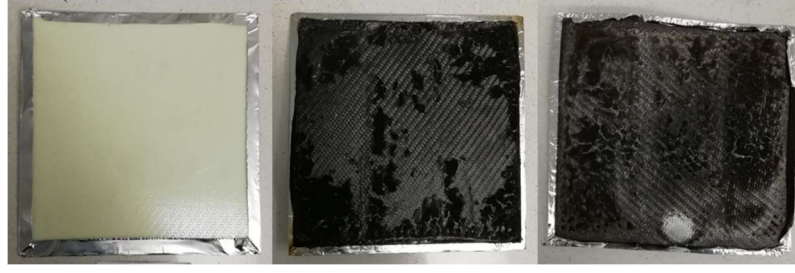
(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	102.2	11	19.2

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



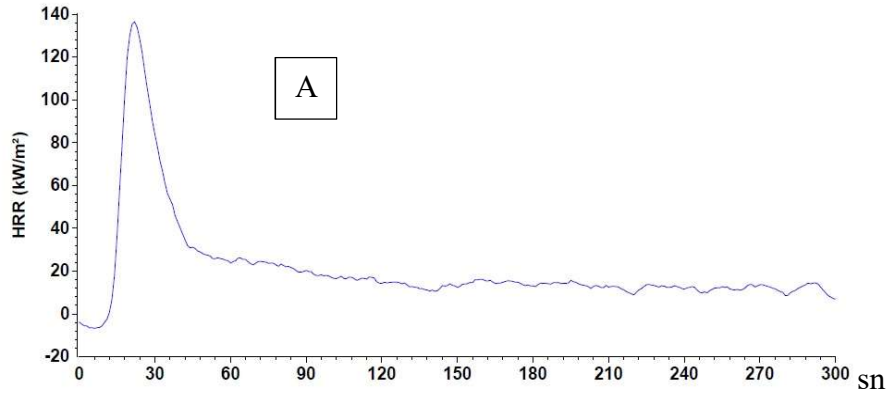


Şekil 4.14. Soldan sağa sırasıyla; %10 IFR36+AP750 içeren test öncesi, %10 IFR36+AP750 içeren test sonrası, %10 IFR36 + AP 750 + Antibakteriyel işlem görmüş test sonrası numunelerinin görselleri

Tablo 4.35. A: %10 IFR36 + AP750 içeren numune test sonucu, B: %10 IFR36 + AP 750 + antibakteriyel işlem görmüş numune test sonucu

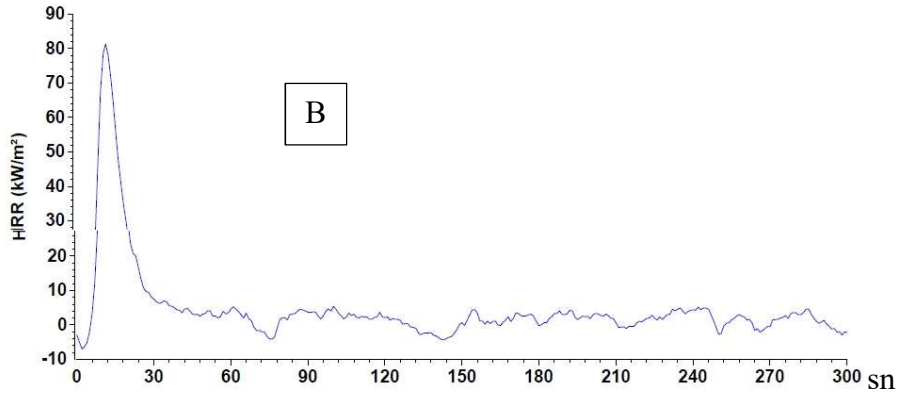
Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	136.1	22	67.0

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



Specimen #	Peak HRR (kW/m ²)	Time to peak HRR (s)	2-min THR (kW·min/m ²)
1	81.3	12	19.2

(THR calculation ignores all negative heat release rates)



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

ICAO/IATA verilerine göre Dünya genelinde 5000 ila 5500 havayolu firması bulunmaktadır. Bu havayolu firmalarına ait on binlerce uçak ile her yıl milyarlarca insan yolculuk yapmaktadır. Söz konusu yolculuklar sırasında bir kaza yaşanmaması veya yaşanması durumunda can ve mal kaybını minimize etmek amacıyla havacılık endüstrisinde benzeri olmayan standartlar ve güvenlik önlemleri bulunmaktadır. Bu kapsamda uçak imalatında, bakımında hatta temizlenmesi aşamalarında kullanılacak malzeme, iş gücü ve niteliği çok sıkı şekilde takip edilmektedir. Tüm bu önlemlere rağmen kaçınılmaz olarak birtakım kazalar yaşanmakta ve uçakların taşıdığı yakıt miktarı veya irtifa düşünüldüğünde can kayıpları yaşanmaya devam etmektedir.

Havacılık endüstrisinde son 15 yıldır kaygı duyulması gereken kavramların, yalnızca malzeme, personel, hava şartları vb. kaynaklı kazalardan ibaret olmadığı, aynı zamanda küresel risklerin meydana gelmesine yol açan mikrobiyolojik unsurlarında dikkate alınması gerektiği giderek önem kazanmaktadır. Özellikle sebep olunan can ve mal kayıplarının miktarı değerlendirildiğinde hava taşımacılığında kontaminasyon kavramının en az diğer risk unsurları kadar önem arz ettiği gözlemlenmektedir. Gerek bilimsel literatürde, gerek hava yolu firmalarının konu ile ilgili yaptıkları araştırma-geliştirme faaliyetleri değerlendirildiğinde şüphesiz ki kısa ve orta vadede söz konusu problemlerle ilgili olarak çeşitli düzenlemeler yapılmalı ve uygulanmalıdır.

Mevcut mikrobiyolojik potansiyelin ortaya konması konusunda çok sayıda zorluk bulunmaktadır. Sahada analiz yapılmasının getirmiş olduğu güçlükler, her uçağın heterojen bir şekilde kontamine olma olasılığının yüksek olması, aynı güzergahta kullanılan uçakların da birbirinden çok farklı kirlilik yüklerine sahip olması, mevsimsel değişiklikler vb. Tüm bu zor koşullara rağmen gerekli testlerin havaalanlarında, henüz iniş yapmış uçaklarda ve sahada yapılması en büyük güçlüklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde 2018 yılı itibarıyla faaliyete geçen İstanbul Havalimanı'nın tüm fazlarının tamamlanmasıyla yıllık yolcu kapasitesinin 200 milyon yolcuya ulaşması beklenmektedir. Bu anlamda İstanbul Havalimanı'nın Dünya'nın en büyük transfer noktalarından biri haline gelmesi kaçınılmazdır. Tez çalışmalarıyla, kontaminasyonun önemi anlaşılmış ve en büyük risk unsurlarının transfer yolcularından kaynaklanacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle yolculuk sırasında yolcudan yolcuya, ortamdan yolcuya bulaşmaların mümkün olduğu kadar önlenmesinin büyük yarar sağlayacağı

düşünülmektedir. Bu amaçla birtakım çalışmalar yapılmış ve giderek artan bir oranda yapılmaya devam etmektedir. Örneğin “MarketsandMarkets” araştırma şirketinin havacılık ve uzay sanayisinde yer alan, yalnızca antimikrobiyal kaplama uygulamaları pazarının 2022 yılına kadar %6.9 artarak 31.2 milyon dolara ulaşması beklenmektedir.

Havacılık ve uzay sanayii için malzeme üreten büyük üreticilerin antibakteriyel/antimikrobiyal yüzey kaplaması, hava filtrasyon sistemleri gibi konular üzerinde belirli bir pazar oluşturduğu bilinmektedir. Ancak çalışmalar mevcut potansiyelin net anlaşılmaması, ürünlerin etkinliğinin kalıcılığı, toksik etkilerinin olması veya miktarı anlamlarında henüz çok geniş bir alana yayılmadığından söz konusu olumsuz durumlar ile ilgili belirgin bir azalmayla ilgili yeterli veri bulunmamaktadır. Yine de ticari olarak ar-ge aşamasında olan veya kullanılan bazı malzemeler bulunmaktadır. Örneğin, ar-ge aşamasında olan ve/veya ticari olarak üretilip kullanılan bazı üreticilere ait antibakteriyel koltuk kumaşları ile ilgili olarak bazı antibakteriyel etkinlik testleri farklı standart metotlarla gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları tablo 5.1. ve 5.2.’de verilmiştir (ticari örnekler olması nedeniyle numune kodları farklı şekillerde verilmiştir).

Tablo 5.1. ASTM 2149-13a dinamik metot ile gerçekleştirilen 5 farklı kompozisyonda üretilen kumaş malzemelerinin sonuçları(Referans numune herhangi bir apre işlemi görmemiştir)

Örnek Kodu	Bakteriyel Azalma	Değerlendirme
Referans	Yaklaşık %70	Etkinlik yok (ancak bazı petriler temiz)
A	>2 (log10) veya >%99	Etkinlik mevcut
B	>2,5 (log10) veya >%99.5	Etkinlik mevcut
C	>2 (log10) veya >%99	Etkinlik mevcut
D	>2 (log10) veya >%99	Etkinlik mevcut
E	>2 (log10) veya >%99	Etkinlik mevcut

Bazı çalışma örneklerinin antibakteriyel etkinlikleri (aynı numuneler için) farklı standart metotları kullanılarak da karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tablo 5.2.’de verilmiştir.

Tablo 5.2. ASTM 2149-13a dinamik metot ve JIS L 1902 test metotları ile gerçekleştirilen ve 4 farklı kompozisyonda üretilen kumaş malzemelerinin antibakteriyel etkinlik test sonuçlarının karşılaştırılması

	Bakteriyel Azalma		Değerlendirme	
Örnek Kodu	JIS L 1902	ASTM	JIS L 1902	ASTM
I	$< \log_{10} 1$ veya %60-%70 azalım	$\leq \log_{10} 2$ veya %50-%99 azalım	Etkinlik mevcut değil	Bazı numunelerde etkinlik mevcut
II	$< \log_{10} 1$ veya %60-%70 azalım	$\leq \log_{10} 2$ veya %80-%99 azalım	Etkinlik mevcut değil	Bazı numunelerde etkinlik mevcut
III	$>2 (\log_{10})$ veya $>\%99$	$>3 (\log_{10})$ veya $>\%99.9$	Etkinlik mevcut	Etkinlik mevcut
IV	$>2 (\log_{10})$ veya $>\%99$	$>3 (\log_{10})$ veya $>\%99.9$	Etkinlik mevcut	Etkinlik mevcut

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde artık işlevsel ürünlerin kullanılmaya başlandığı anlaşılmaktadır. Ancak kumaş malzemelerin sürtünme vb. testler ile antibakteriyel başarı etkisi, antimikrobiyal ajanların sağlık ve çevre toksisiteleri konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Analizlerden elde edilecek bir diğer sonuç güç tutuşur malzemelerin de belirli oranlarda bakterisidal veya bakteriyostatik etki göstermesinin mümkün olmasıdır.

Antimikrobiyal tekstil konusunda tez kapsamında yapılan çalışmalar, mevcut teknolojilerin çalışılıyor olması ve işlevsel ürünlerin bulunması, teknik altyapının kumaş apreleri çalışmak için uygun olmaması, tekstil uzmanlığı gerektirmesi gibi sebeplerle sınırlı tutulmuştur.

Prepreg malzemeler ile ilgili hazırlanan reçeteler, benzoksazin ve epoksi sistemler üzerinde temas süresi ve zon inhibisyon testleri yapılarak mikrobiyolojik anlamda detaylı olarak çalışılmıştır. Buna göre söz konusu materyallerin, hazırlanan reçeteler ile kürlenmesi sonucunda, ekonomik olarak ve havacılık standartları dışına çıkmaksızın bakteri öldürücü yetenek kazanmasının mümkün olduğu laboratuvar ölçekli olarak gösterilmiştir.

Kompozit malzemelerde yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi ve benzoksazin reçineli sistemler için farklı iki reçete ve uygulama kullanılmıştır. Benzoksazin sistemler, yanma davranışı anlamında standartları sağlaması sebebiyle yalnızca antibakteriyel özellikte hazırlan malzeme ile kürlenmiş ve zon inhibisyon testinde bakterisidal etkisi gözlemlenmiştir. Katkı olarak sistemde farklı oranlarda TiO_2 , MnO_2 , ZnO , CuO , Al_2O_3 ve $AgNO_3$ malzemeleri nano veya iyonik formda bulunmaktadır. Böylece kontaminasyon etmenleri genel olarak değerlendirilerek en geniş spektrumda mikroorganizma giderimi hedeflenmiştir. Testlerin farklı mikroorganizmalarla da devam ettirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Epoksi sistemlerde, antibakteriyel ve güç tutuşur malzeme olarak 4 farklı reçete çalışılmış, sistem için en uygun olduğu gözlemlenen reçete tercih edilmiştir. Bu anlamda 36,5 gr $Ca(OH)_2$ (Saflık %96) ve 3 gr $AgNO_3$ 'ün 982gr su kullanılarak bir çözelti hazırlanmış ve titrant kullanılarak (40 gr H_3PO_4 + 80 ml distile su ile hazırlanmıştır) pH 5.5 düzeyinde olacak şekilde ayarlanmıştır. Kütleme işleminden sonra numunelerde log3 düzeyinde mikroorganizma giderimi olduğu standart metotlarla gözlemlenmiştir. Uçaklarda kabin içerisinde bu malzemelerin yıkanması gibi bir durum söz konusu olmasa da etkinliğinin kalıcılığı konusundaki çalışmalar sınırlı tutulmuştur. Materyal yüzeyleri su ile temizlenerek mükerrer testler yapılmış ve benzer giderim oranları elde edilmiştir.

Yanma davranışı testleri ile ilgili olarak yukarıda ifade edilen reçete ile kürlenmiş epoksi prepreg sistemlerinin test sonuçları değerlendirildiğinde, nihai ürünün ısı salınımı ve duman yoğunluğu oluşumu üzerinde faydalı etki yaptığı ve bu etkinin çoğu numunede anlamlı değerlerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Geliştirilen malzeme antibakteriyel etkiye sahip olması ve ilave bir ısı salınımı veya duman yoğunluğu etkisine sahip olmaması sebebiyle bu sistemlerde kullanılabilecektir. Yalnızca yüzeyin kaplanması hem ağırlık olarak avantaj sağlayacak hem kabul edilebilir bir maliyete sahip olmasıyla uygulanabilir olacak hem de malzemeyle reaksiyona girmeyeceğinden sistem parametrelerini olumsuz olarak etkilemeyecektir. Dar veya geniş gövdeli bir uçakta bu sistemin uygulanması sadece birkaç kg'lık ilave ağırlık getirecektir.

Havacılık endüstrisinde kullanılan malzemeler ticari olarak kullanıldığından bireysel perakende satışları mümkün olmamaktadır. Bunun bir sonucu olarak yakma testlerinde kullanılan ve antibakteriyel-güç tutuşur reçete ile kürlenmiş epoksi sistemlerde test için geçerli ısı salınım değerinin sağlanması hedeflenmemiştir. Bunun nedeni kullanılan epoksi reçine ve güç tutuşur malzemelerin (AP 750 ve IFR 36) havacılık

endüstrisinde kullanılan özelliklere yakın olmasına rağmen, mevcut ticari ürünlerden olmamasıdır. Ancak, metalik veya kalsiyum hidroksit malzemenin güç tutuşurluğu arttırma gibi bir reaksiyon oluşturmayacağı farklı sistemler için de rahatlıkla öngörülebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abo El-Ola S.M. (2007). New Approach for Imparting Antimicrobial Properties for Polyamide and Wool Containing Fabrics. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 46(9), 831-839.
- American Society for Testing and Materials (International). (2006). *Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials, ASTM E 662*. West Conshohocken, PA.
- Aycicek, H., Oguz, U. and Karci, K. (2006). Comparison of results of ATP bioluminescence and traditional hygiene swabbing methods for the determination of surface cleanliness at a hospital kitchen. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209 (2), 203-206.
- Barani, H., Montazer, M., Samadi, N., Toliyat T. (2012) In situ synthesis of nano silver/lecithin on wool: Enhancing nanoparticles diffusion. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 92, 9–15.
- Boroumand, M.N., Montazer, M., Simon, F., Liesiene, J., Saponjic, Z., Dutschk V. (2015). Novel method for synthesis of silver nanoparticles and their application on wool. *Applied Surface Science*, 346, 477–483.
- Council, N.R. (2002). *The airliner cabin environment and the health of passengers and crew*. Washington (DC): National Academies Press.
- Danish Environmental Protection Agency (Danish EPA). (1999). *Brominated Flame retardants – substance flow analysis and assessment of alternatives*.
- Dodd, C. E., Aldsworth, T. G. and Stein, R. A. (Eds.). (2017). *Foodborne diseases (3rd ed.)*. USA: Academic Press.

- Eberhart-Phillips, J., Besser, R.E., Tormey, M.P., Koo, D., Feikin, D., Araneta, M.R., Wells, J., Kilman, L., Rutherford, G.W., Griffin, P.M., Baron, R., Macola, L. (1996). An outbreak of cholera from food served on an international aircraft. *Epidemiology & Infection*, 116(1), 9-13.
- Eberth, C. J. (1880). Die Organismen in den Organen bei Typhus abdominalis. *Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medizin*, 81(1), 58-74.
- Fàbrega, A. and Vila, J. (2013). Salmonella enterica serovar Typhimurium skills to succeed in the host: virulence and regulation. *Clinical microbiology reviews*, 26(2), 308-341.
- Federal Aviation Administration. (2000). Report DOT/FAA/AR-00/12. *Aircraft Material Fire Test Handbook*.
- FDA—Center for Food Safety and Applied Nutrition.(2008). *FDA/CFSAN—Food Safety A to Z Reference Guide—Salmonella*.
- Hadad, L., Perkas, N., Gofer, Y., Moreno, J.C., Ghule, A., Gedanken, A. (2007). Sonochemical deposition of silver nanoparticles on wool fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 104 (3), 1732-1737.
- Hardy, A. (1999). Food, hygiene, and the laboratory. A short history of food poisoning in Britain, circa 1850–1950. *Social History of Medicine*, 12(2), 293-311.
- Hasselbrack, S.A. (1995). Flame-retarding wool textile materials and the evaluation of thermally stable polymers for commercial planes. National Research Council. *Improved Fire- and Smoke-Resistant Materials for Commercial Aircraft Interiors: A Proceedings*. (165-174). Washington, DC: The National Academies Press.
- Heymann, D.A., Alcamo, I.E., Heymann, D.L. (2006). *Salmonella*. Philadelphia: Chelsea House Publishers.

- Kaisersberger-Vincek M., Strancar J. and Kokol V. (2016). Antibacterial activity of chemically versus enzymatic functionalized wool with ϵ -poly-L-lysine. *Textile Research Journal*, 87(13), 1604–1619.
- Kandola, B.K and Kandare, E. (2008). Composites having improved fire resistance. A. Richard Horrocks and D. Price (Eds.), *Advances in Fire Retardant Materials*. (398–442). UK: Woodhead Publishing
- Ki, H.Y., Kim, J.H., Kwon, S.C., Jeong, S.H. (2007). A study on multifunctional wool textiles treated with nano-sized silver. *Journal of Applied Polymer Science*, 42(19), 8020-8024.
- Kilinc, M., Canbolat, S., Merdan, A., Dayioglu, H. , Akin, F. (2015). Investigation of the Color, Fastness and Antimicrobial Properties of Wool Fabrics Dyed With the Natural Dye Extracted From the Cone of *Chamaecyparis Lawsoniana*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2152–2159.
- Kuhn, D. M. and Ghannoum, M. A. (2003). Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clinical microbiology reviews*, 16(1), 144-172.
- Kurtzman, C., Fell, J. W. and Boekhout, T. (Eds.). (2011). The yeasts: a taxonomic study. *Yeasts Pathogenic to Human* (9-19). USA: Elsevier Science.
- Liu, X., Lin, T., Peng, B. and Wang X. (2012). Antibacterial activity of capsaicin-coated wool fabric. *Textile Research Journal*, 82(6), 584–590.
- Long, S. S., Pickering, L. K. and Prober, C. G. (Eds.). (2012). *Principles and practice of pediatric infectious disease*. USA: Elsevier Saunders.
- Mangili, A. and Gendreau, M. A. (2005). Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *The Lancet*, 365(9463), 989-996.

- McElroy, W. D. (1951). Properties of the reaction utilizing adenosinetriphosphate for bioluminescence. *Journal of Biological Chemistry*, 191 (2), 547–557.
- McMullen P. D., Freitag N. E. (2015). *Listeria monocytogenes*. Y.W.Tang, D. Liu, J. Schwartzman, M. Sussman, I. Paxton (Eds.), *Molecular Medical Microbiology (2nd ed.)*. (1345-1361). USA: Academic Press.
- Montazer, Behzadnia, M., Pakdel, A.E., Rahimi, M.K., Moghadam, M.B. (2011). Photoinduced silver on nano titanium dioxide as an enhanced antimicrobial agent for wool. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 103(3), 207-214.
- Olsen, S.J., Chang, H.L., Cheung, T.Y., Tang, A.F., Fisk, T.L., Ooi, S.P., Kuo, H.W., Jiang, D.D., Chen, K.T., Lando, J., Hsu, K.H., Chen, T.J., Dowell, S.F. (2003). Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft. *New England Journal of Medicine*, 349(25), 2416-2422.
- Pavia, A.T. (2007). Germs on a plane: aircraft, international travel, and the global spread of disease. *The Journal of Infectious Diseases*, 195 (5), 621-622.
- Pollini, M., Paladini, F., Licciulli, A., Maffezzoli, A., Nicolais, L., Sannino, A. (2012). Silver-coated wool yarns with durable antibacterial properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 125(3), 2239.
- Posner, S. (2006). *Survey and technical assessment of alternatives to TBBPA and HBCDD*. Sweden: Kemikalieinspektionen.
- Rad, P.S., Montazer, M., Rahimi, M.K. (2011). Simultaneous antimicrobial and dyeing of Wool: a facial method. *Journal of Applied Polymer Science*, 122 (2), 1405-1411.
- Smith, E., Williams, J.T., Walsh, S.E., Painter, P. (2010). *Comparison of antimicrobial textile treatments Medical and Healthcare Textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

- Tortora, G. J., Funke, B. R., Case, C. L., & Johnson, T. R. (2008). *Microbiology: an introduction (Vol. 9)*. San Francisco, CA: Benjamin Cummings.
- U.S Department of Transportation. Federal Aviation Administration. (2000). *Aircraft Materials Fire Test Handbook*. Springfield, Virginia.
- U.S Department of Transportation. Federal Aviation Administration. (2007). *Advisory Circular*. USA.
- U.S Department of Transportation. Federal Aviation Administration. (1997). *Fire-Resistant Materials: Research Overview*. Springfield, Virginia.
- Vaglenov, K.A. (2014). *Survival and Transmission of Selected Pathogens on Airplane Cabin Surfaces and Selection of Phages Specific for Campylobacter jejuni*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Alabama/Auburn: Graduate faculty of Auburn University.
- Wang S. and Orsi R. H. (2013). Listeria. J. G. Morris and M. Potter (Eds.), *Foodborne Infections and Intoxications (4th ed.)* (199-216). USA: Academic Press.
- Xu, B., Wang, S., Hou, W., Wei, L., Jia, H., Liu, X. (2007). Antibacterial activity of nano-SiO₂ antibacterial agent grafted on wool surface. *Surface and Coating Technology*, 202(3), 460-465.
- Yoltaş, A. and Haliki-Uztan, A. (2008). Hava kaynaklı küflerin toksinleri. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 6(3), 39-52.