

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÖRT FARKLI ALEV GECİKTİRİCİLİ POLİMERİK TEKSTİL
ÜRÜNLERİNİN ALEV DAYANIM PERFORMANSLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Fatih ASLAN

Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı

NİSAN 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÖRT FARKLI ALEV GECİKTİRİCİLİ POLİMERİK TEKSTİL
ÜRÜNLERİNİN ALEV DAYANIM PERFORMANSLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Fatih ASLAN

Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Hakan Serhad SOYHAN

NİSAN 2023

Muhammed Fatih ASLAN tarafından hazırlanan “Dört Farklı Alev Geciktiricili Polimerik Tekstil Ürünlerinin Alev Dayanım Performanslarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 30.12.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Hakan Serhad SOYHAN Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Fehim FINDIK Sakarya Uygulamaları Bilimler Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç.Dr. Murat TUNA Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Dört Farklı Alev Geciktiricili Polimerik Tekstil Ürünlerinin Alev Dayanım Performanslarının İncelenmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(.././2023)

(imza)

Muhammed Fatih ASLAN





Eşime ve çocuklarıma



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan Serhad SOYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Prof. Dr. Turgay SEÇKİN, Doç. Dr. Gökhan ÇOŞKUN, Dr. Öğr. Üyesi Fatih OKUMUŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Fahrettin Burak DEMİR teşekkürlerimi sunarım.

Sabrı ve anlayışıyla manevi desteğini sürekli olarak hissettiğim canım eşim Tuğba'ya, oğullarım Muhammed Mirza ve Ali Ağâh'a teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Fatih ASLAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Yangın ve Yangın Türlerinde Sınıflandırma.....	5
2.2. Yanmaya Dayanıklılık Özelliği.....	8
2.2.1. Kendiliğinden yanmaya dayanıklı yapılar	9
2.2.2. Kimyasal modifikasyon ile yanma dayanıklılığı kazandırılmış yapılar	9
2.2.2.1. Polimerizasyon.....	10
2.2.2.2. Polimerlerin ısı özellikleri.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal	13
3.2. Yöntem.....	14
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler	14
3.2.2. Deney numuneleri	14
3.3. Analizler	15
3.3.1. Radyan ısı deney metodu (TS EN ISO 6942-2007).....	15
3.3.2. Alevli ısı transferi deney metodu (TS EN ISO 9151-2016).....	16
3.3.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması için deney metodu (TS EN ISO 15025-2017)	16
3.3.4. Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvvetinin tayini (TS EN ISO 13937-2-2002)	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	18
4.1. Fire-Resist Ticari İsimli Kumaş Testleri (75% Metaaramid-23% Paraaramid-2%Antistatik).....	18
4.1.1. Radyan ısı transferi deneyi.....	18
4.1.2. Alevli ısı transferi deneyi	20
4.1.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi	21
4.1.4. Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvveti testi	22
4.2. Fire-Blocker Ticari İsimli Kumaş Testleri (93% Metaaramid-2% Paraaramid-2% Antistatik).....	24
4.2.1. Radyan ısı transferi deneyi.....	24
4.2.2. Alevli ısı transferi deneyi	26
4.2.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi	27

4.3. PBI X55 Ticari İsimli Kumaş Testleri (40% PBI-59% Paraaramid-1% Antistatik)	27
4.3.1. Radyan ısı transferi deneyi	27
4.3.2. Alevli ısı transferi deneyi	28
4.3.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi	30
4.3.4. Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvveti testi.....	30
4.4. PBI Gold Ticari İsimli Kumaş Testleri (40% PBI-58% Paraaramid-2% Antistatik)	31
4.4.1. Radyan ısı transferi deneyi	31
4.4.2. Alevli ısı transferi deneyi	33
4.4.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi	34
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	35
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ	43



KISALTMALAR

Dk	: Dakika
H	: Saat
KKD	: Kişisel koruyucu donanım
LOI	: Limit Oksijen İndeksi
PBI	: Polibenzimidazol
S	: Saniye
Tc	: Camsı Geçiş Noktası
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YYE	: Yangına yaklaşma elbisesi
°C	: Santigrat Derece



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Termal koruyucu giysilerde kullanılan ısı ve alev dayanıklı lifler.....	8
Tablo 2.2. Lif türlerine ve lifin kimyasal yapısına göre LOI yüzdeleri.....	8
Tablo 2.3. PBI liflerinin termal dayanımı.....	9
Tablo 3.1. Deney numunelerine ait ticari isim ve numune içerikleri.....	15





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Giyilebilir sensörlerin kullanıldığı vücut/ giysi bölümleri	2
Şekil 2.1. Yangın üçgeni ve dört yüzlüsü	6
Şekil 2.2. Bir polimerin hacim ve sıcaklık eğrisi.....	11
Şekil 3.1. İtfaiyeci giysilerinde katmanlar	13
Şekil 3.2. PBI karışımlı kumaştan mamul YYE	15
Şekil 4.1. Fire-Resist kumaş Radyan ısı T12 süreç grafiği.....	18
Şekil 4.2. Fire-Resist kumaş Radyan ısı T24 süreç grafiği.....	19
Şekil 4.3. Radyan ısı testi.....	19
Şekil 4.4. Orjinal Fire-Resist kumaş Konvektif ısı T12 grafiği.....	20
Şekil 4.5. Fire-Resist kumaş Konvektif ısı T24 grafiği.....	20
Şekil 4.6. Konvektif ısı testi.....	21
Şekil 4.7. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi.....	22
Şekil 4.8. Fire-Resist kumaş atkı mukavemeti.....	22
Şekil 4.9. Fire-Resist kumaş çözgü mukavemeti.....	23
Şekil 4.10. Yırtılma mukavemet testi.....	24
Şekil 4.11. Fire-Blocker kumaş Radyan ısı T12 süreç grafiği.....	25
Şekil 4.12. Fire-Blocker kumaş Radyan ısı T24 süreç grafiği.....	25
Şekil 4.13. Fire-Blocker kumaş Konvektif ısı T12 süreç grafiği.....	26
Şekil 4.14. Fire-Blocker kumaş Konvektif ısı T24 süreç grafiği.....	26
Şekil 4.15. PBI-X55 kumaş Radyan ısı T12 grafiği.....	27
Şekil 4.16. PBI-X55 kumaş Radyan ısı T24 grafiği.....	28
Şekil 4.17. Orjinal PBI-X55 kumaş Konvektif ısı T12 grafiği.....	29
Şekil 4.18. PBI-X55 kumaş Konvektif ısı T24 grafiği.....	29
Şekil 4.19. PBI-X55 kumaş atkı mukavemeti.....	30
Şekil 4.20. PBI-X55 kumaş çözgü mukavemeti.....	31
Şekil 4.21. PBI-Gold kumaş Radyan ısı T12 grafiği.....	32
Şekil 4.22. PBI-Gold kumaş Radyan ısı T24 grafiği.....	32
Şekil 4.23. PBI-gold kumaş konvektif ısı T12 grafiği.....	33
Şekil 4.24. PBI-gold kumaş konvektif ısı T24 grafiği.....	34
Şekil 5.1. Fire-resist isimli kumaş alev maruziyeti.....	35
Şekil 5.2. PBI X55 isimli kumaş alev maruziyeti.....	36
Şekil 5.3. Fire Resist/PBI X-55 numunelerin radyan ısı T12 karşılaştırması.....	36
Şekil 5.4. Numunelerin radyan ısı T24 karşılaştırması.....	37
Şekil 5.5. Numunelerin konvektif ısı karşılaştırması.....	37
Şekil 5.6. Numunelerin radyan ısı karşılaştırması.....	38
Şekil 5.7. Numunelerin konvektif ısı karşılaştırması.....	38
Şekil 5.8. Numunelerin radyan ısı karşılaştırması.....	39
Şekil 5.9. PBI molekülü.....	39



DÖRT FARKLI ALEV GECİKTİRİCİLİ POLİMERİK TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN ALEV DAYANIM PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Tarih boyunca insanlığın en önemli yardımcısı olan ateşin kontrol altında tutulmadığı durumlarda ortaya çıkan yıkıcı etkisini önlemek için birçok önlem almaya çalışılmıştır. Gelişen teknolojiyle beraber yangın güvenlik önlemlerinin artması için yapılan çalışmalar büyük buluşları beraberinde getirse de hala ateşin gücüne dayanacak bir malzeme sentezlenebilmiş değildir. Bu durum yangına müdahale ekiplerinin müdahaleleri esnasında birçok güçlük çıkarmaktadır. Yangın yerindeki tehlikelerin başında gelen yüksek sıcaklığa maruziyet ve doğrudan alevlerle karşı karşıya kalmak itfaiyeciler için çok ağır sonuçlar doğurabilecek olaylardır. Yangınla mücadelede KKD itfaiyeciler için hayati önem arz etmektedir. KKD olarak Yangına yaklaşma elbisesi (YYE) en önemli bileşen olarak gösterilebilir. YYE itfaiyecinin gövdesi, kol, bacak ve boynunu yangın yerindeki tehlikelerden korumak için tasarlanan tek veya daha fazla parçadan oluşan bir ekipmandır. YYE polimer teknolojisinin gelişmesi ile teknik tekstil işletmeciliği, acil durum ekiplerinin yangından korunması için çeşitli malzemeler sentezlemiştir. Sentezlenen polimer liflerinin giyilebilir noktaya getirilebilmesi için süreç içerisinde farklı teknikler geliştirilerek farklı standartlar göz önüne alınarak işlemler yapılmıştır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından hazırlanmış standartlara uygun malzemelerin üretilmesi ve kullanılması sağlanmıştır. Bu malzemelerden, yüksek performanslı aramid tabanlı polimer zincirleri ve polibenzimidazol tabanlı elyaflardan üretilen içerik olarak dört farklı tip kumaş incelenecektir. Bu çalışmanın amacı, yüksek performanslı aramid polimerleri ve polibenzimidazol tabanlı elyaflardan imal kumaşlarla üretilen elbiseler ısı dayanımları ve yırtılmaya dayanımları analizlerini yaparak gerek benzer polimer arasında gerek benzer polimer karışımına sahip kumaşların kıyaslanarak elde edilen veriler ortaya konulacaktır. İnceleme yapılırken uygulanan testler TSE standartlarına uygun olarak hazırlanmış deney düzenekleri kullanılmış olup sonuçlar değerlendirilirken deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır. Çalışmamız da, farklı polimerizasyonlarla elde edilmiş olan kumaşların ısıya ve yırtılmaya karşı davranışlarını kıyaslaması yapılmıştır. Radyan ısı transferi, konvektif ısı transferi, alev yürümezlik testlerinin yanı sıra iki tip kumaş için yırtılma mukavemeti testleride yapılmıştır. Bu sayede, optimum kullanım için hazırlanacak itfaiyeci elbiselerinin performans özellikleri ortaya konarak bilimsel veriler ışığında standartlar gözden geçirilerek gelecekte yapılabilecek benzer konularda ki araştırmalara öncülük edebilecek bazı önerilere yer verilmeye çalışılmıştır.



INVESTIGATION OF FLAME RESISTANCE PERFORMANCES OF FOUR DIFFERENT FLAME RETARDANT POLYMERIC TEXTILE PRODUCTS

SUMMARY

Throughout history, many measures have been tried to be taken to prevent the destructive effect of fire, which is the most important helper of humanity, when it cannot be kept under control. Although the efforts to increase fire safety measures with the developing technology bring great discoveries, a material that can withstand the power of fire still has not been synthesized. This situation creates many difficulties during the intervention of fire fighting teams. Exposure to high temperatures and direct exposure to flames, which are the leading dangers in the fire place, are events that can have very serious consequences for firefighters. PPE is vital for firefighters in firefighting. PPE, approach to fire suit (YYE) can be shown as the most important component. YYE is a single or more piece of equipment designed to protect the torso, arms, legs and neck of the firefighter from hazards at the fire site. With the development of the polymer technology, technical textile business has synthesized various materials for fire protection of emergency teams. In order to bring the synthesized polymer fibers to the wearable point, different techniques were developed during the process and processes were carried out considering different standards. The production and use of materials in accordance with the standards prepared by the Turkish Standards Institute (TSE) was ensured. From these materials, four different types of fabrics will be examined as content produced from high-performance aramid-based polymer chains and polybenzimidazole-based fibers. The aim of this study is to analyze the thermal resistance and tear resistance of clothes produced with high-performance aramid polymers and fabrics made of polybenzimidazole-based fibers, and the data obtained by comparing both similar polymers and fabrics with similar polymer mixtures will be revealed. Test setups prepared in accordance with TSE standards were used during the examination, and the arithmetic averages of the test results were taken while evaluating the results.

In our study, the behavior of fabrics obtained with different polymerizations against heat and tearing will be compared. In addition to radiant heat transfer, convective heat transfer, flame resistance tests, tear strength tests will also be performed for two types of fabric. In this way, the performance characteristics of firefighter's suits to be prepared for optimum use were revealed, and the standards were reviewed in the light of scientific data, and some suggestions for future research on similar issues were included.

Fire is perhaps the most destructive of many disasters. The first action to be taken in the fight against fire is to create a conscious society and then to take active and passive fire safety measures. Responding to a fire should be considered as the last stage of fire protection. Today, although many studies have been carried out in the training and fire safety measures of fire protection stages, the destructive effects of fires are undeniable.

Firefighters responding to such a devastating disaster are working in a very challenging environment. Fire is an environment that is completely out of control and contains many dangers.

The main task of fire teams is to fight fires in buildings, vehicles (land, air and sea) and forest areas, save the injured and extinguish fires in a way that minimizes material losses. In this context, in order for the fire team personnel to perform these services and to ensure their own safety;

- Fire science,
- combustion processes,
- The behavior of fire and its relationships with different types of substances and environments,
- Fire classifications and corresponding extinguishing agents,
- They need to understand fire behavior signs, fire development patterns and potential rapid fire developments.

During fire, volatile organic compounds/semi-volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons, particles, isocyanates, halogenated dioxins, halogenated flame retardants, fiber fly are formed. For this reason, protective work clothes are needed during fire fighting.

Protective work clothes do not only consist of clothes, but also attachment systems and other protective replaceable parts, gloves, caps, shoes, etc. added to the clothes. It is evaluated together with and when it contains these components, it is defined as personal protective equipment (PPE). Protective work clothing, personal protective equipment is expected to be as protective as the job requires, against whatever hazards in the job are concerned.

Meta-aramids are known for their good thermal tolerance and long-term stability at high temperatures and are therefore widely applied in thermal protective clothing. On the other hand, para-aramids are valuable for their high strength, high coefficients, as well as good thermal stability at high temperatures, making them suitable for ballistic applications. In this study, we tried to evaluate only the high temperature factor among the dangers in the fire environment.

Although there are different ways of heat dissipation, we tried to find innovative approaches by examining the performance of fire approach suits, which are the most basic Personal protective equipment that protects firefighters in the fire environment, by conducting tests on radiant and convective heat dissipations in our study. According to the variety of polymeric materials in their (YYE) content, their resistance to heat transfers was observed.

The results were evaluated by applying the tear strength test (YMT) to two samples from the RPP produced with fabrics belonging to different polymeric mixtures. The tests applied were carried out in accordance with the standards determined by the Turkish Standards Institute (TSE). In order to better examine the water absorption performance of the aromatic rings in the polymeric structures in the YYE fabric content, the performances of the fabrics in the tests made by absorbing water (washing) were also included in our study.

Developing Polymer technology shows its effect in every aspect of life. Although a material that can withstand the power of fire has not been synthesized, flame retardant structures synthesized thanks to polymer technology have started to be used today.

In our thesis study, the effects of flame retardant polymers impregnated on cotton fabrics will be observed experimentally and the results will be presented in our thesis to shed light on future studies.





1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yangını birçok afet içerisinde belki de en yıkıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yangına karşı mücadelede ilk yapılması gereken eylem bilinçli bir toplum oluşturmak daha sonrasında aktif ve pasif yangın güvenlik önlemleri almaktır. Meydana gelen yangına müdahale ise yangından korunmanın son aşaması olarak değerlendirilmelidir.

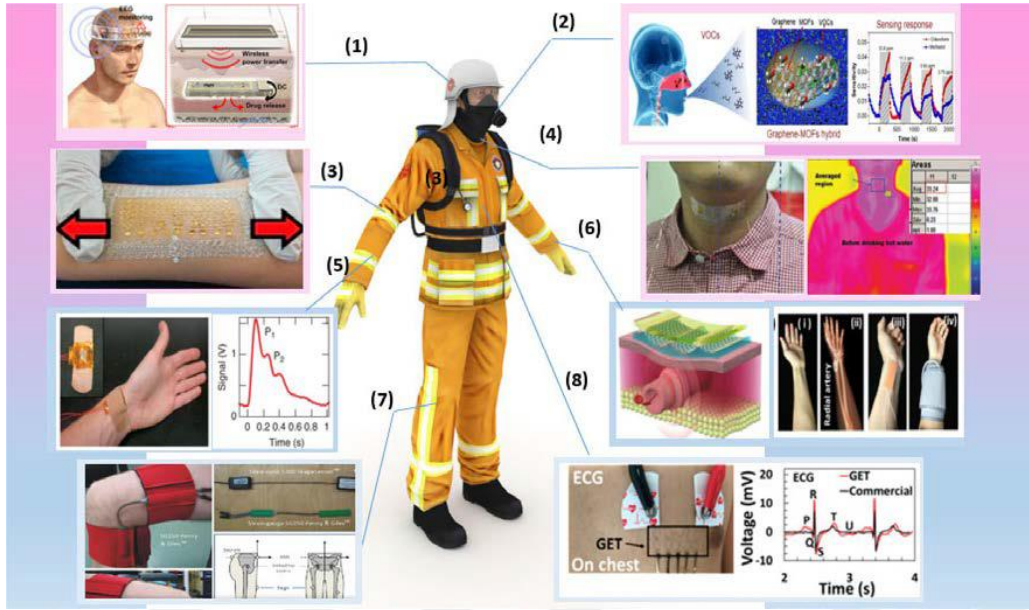
Günümüzde yangından korunma aşamalarının eğitim ve yangın güvenliği önlemleri aşamasında birçok çalışma yapılmasına rağmen meydana gelen yangınların yıkıcı etkileri yadsınamaz boyutlardadır. Böylesi yıkıcı bir afete müdahale eden itfaiyeciler ise çok zorlu bir ortamda görev yapmaktadırlar. Yangın tamamen kontrol dışı ve birçok tehlikeyi bünyesinde barındıran bir ortamdır.

Yangına müdahale eden birimlerin öncelikli amacı görevi yapı, araç ve orman bölgelerinde oluşan yangınların kontrol altına alınması için mücadele etmek, yaralananları kurtarmak ve maddi hasarı asgari düzeye indirgeyecek şekilde yangınlara müdahale etmektir. Bu bağlamda yangına müdahalede görevli personellerin bu görevi gerçekleştirebilmesi ve kişisel emniyetlerini de sağlayabilmeleri adına;

- Yanma prosesleri,
- Yangın ilmi,
- Yangının davranışı, değişik türlerdeki maddeler ve koşullar ile ilişkilerini,
- Yangın sınıflandırmaları ve sınıflandırma sonucu gereken söndürücü maddeleri,
- Yangının hareketinin belirtilerini, yangın ilerleme paternlerini ve potansiyel yangın gelişmelerini anlamaları gereklidir [1].

Yangın sırasında uçucu organik bileşikler/yarı-uçucu organik bileşikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, parçacıklar, izosiyanatlar, halojenlenmiş dioksinler, halojenli güç tutuşurluk maddeleri, lif uçuntuları oluşmaktadır. Bu nedenle yangınla mücadele esnasında koruyucu iş giysilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kişisel koruyucular, sadece elbiselerden meydana gelmemekte, elbiselere eklenen bağlantı mekanizmaları ve farklı muhafaza edici değiştirilebilir ekipmanlar, eldiven, başlık, çizmeler vb. ile beraber değerlendirilmekte ve bu ekipman içeriğinde kişisel koruyucu donanım(KKD) şeklinde tanımlanmaktadır. Koruyucu iş elbiselerinin, kişisel koruyucu donanımın, alakalı alandaki tehlikeler ne ise tamamına karşı görevin gerektirdiği şekilde koruyuculuk sağlaması beklenmektedir [2].



Şekil 1.1.Giyilebilir sensörlerin kullanıldığı vücut/giysi bölümleri [3].

Meta-aramidler, iyi termal toleransları ve yüksek sıcaklıklarda uzun süreli stabiliteyi ile bilinirler ve bu nedenle termal koruyucu giysilerde geniş çapta uygulanırlar. Öte yandan para-aramidler, yüksek mukavemetleri, yüksek katsayıları ve ayrıca yüksek sıcaklıklarda iyi termal kararlılıkları nedeniyle değerlidir ve bu da onları balistik uygulamalar için uygun hale getirir[4]. Bu çalışmamızda yangın ortamında ki tehlikelerden sadece yüksek sıcaklık faktörünü değerlendirmeye çalıştık. Isının farklı yayılım yolları olsa da çalışmamızda ısıyınım ve konvektif ısı yayılımları üzerinde testler yaparak itfaiyecileri yangın ortamında koruyan en temel kişisel koruyucu ekipman olan yangına yaklaşma elbiselerinin performansları inceleyerek inovatif yaklaşımlarda bulunmaya çalıştık. (YYE) içeriklerinde bulunan polimerik malzeme çeşitliliğine göre ısı geçişlerine karşı gösterdikleri dirençler izlenmiştir. Farklı polimerik karışımlara ait olan kumaşlarla üretilen YYE içerisinden iki numune ayrıca yırtılma mukavemeti testi (YMT) uygulanarak sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Uygulanan testler Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenen standartlara uygun olarak yapılmıştır. YYE kumaş içeriklerinde

bulunan polimerik yapıların içerisinde bulunan aromatik halkaların su emme performanslarını daha iyi inceleyebilmek adına kumaşlara su emdirilerek (yıkılarak) yapılan testlerdeki performansları da çalışmamızda yer bulmuştur.

Gelişen polimer teknolojisi hayatın her noktasında etkisini göstermektedir. Her ne kadar ateşin gücüne dayanabilecek bir malzeme sentezlenebilmiş olmasa da polimer teknolojisi sayesinde sentezlenen alev geciktirici yapılar günümüzde kullanılmaya başlanmıştır. Tez çalışmamızda pamuklu kumaşlar üzerine empriye edilen alev geciktirici polimerlerin deneysel olarak etkileri gözlenecek ve eldi edilen sonuçlar gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutacak şekilde tezimizde sunulacaktır.





2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yangın ve Yangın Türlerinde Sınıflandırma

Yangın tanımının genel tanımının daha iyi anlaşılabilmesi için yanma (Oksidasyon) tepkimelerinin incelenmesi önem arz etmektedir.

Yangın, yanma olgusunun bir türevi olduğundan yanma proseslerinin incelenmesi bilgi akışının kaynak noktaya dayandırılmasına ve daha sağlıklı bir akış oluşmasına sebep olacaktır.

Yanma kimya literatüründe incelenecek olursa, bir yakıt ile oksijen arasında çok hızlı bir şekilde meydana gelen sonucunda ısı ve ışık oluşumu görülen zincirleme reaksiyonlardır[5].

Yangın tanımı irdelenecek olursa literatürde karşımıza farklı tanımlar çıkmaktadır. Genel tanım olarak birbirleri ile benzerlik gösteriyor olsalar da farklı coğrafyalar ve farklı ihtiyaçlardan hasıl olan nüanslar tanımlar içerisinde kendini göstermektedir.

Yangın tanımı, Türkiye’de sigortacılık sektöründe “Ateş, ocak veya herhangi bir yanma yeri dışında meydana gelir veya yanma yeri dışına yayılır ve bir zarar verirse yangından bahsedilir” [6]. şeklinde tanımlanmaktadır.

Avrupa Sigortacılar Birliği ise yangın tanımının ülkeler bazında özelleşmesine izin vermiştir. Bu yüzden yukarıda belirttiğim gibi öz olarak birbirlerine benzeseler dahi nüans yönüyle farklı tanımlar oluşmuştur.

Almanya: Yangın, tahsis edildiği yer dışında meydana gelen, yayılan ve kendi kendine gelişen, genişleyen zarar verici bir ateştir.

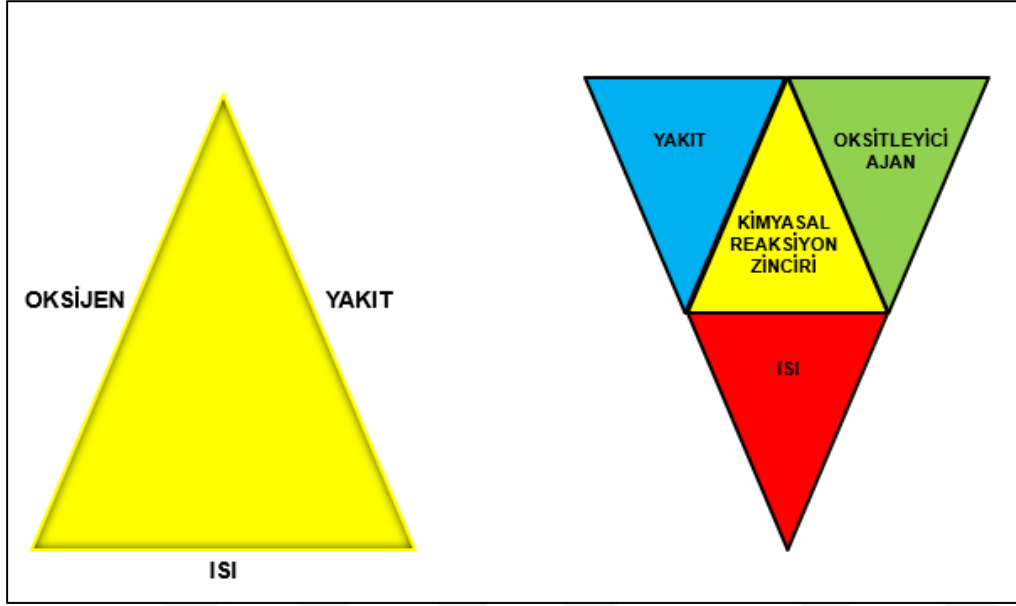
İngiltere: Yangın, sigortalının önceden göremediği bir olay, malın istemeden alev almasıdır.

Fransa: Yangın, meydana geliş sebebine bakılmaksızın tahsis edildiği yerden etrafa yayılmış alevli bir yanmadır.

İtalya: Yangın, malın tahsis edildiği yer dışında kendi kendine yayılabilen ve artabilen alevli yanmasıdır.

İspanya: Yangın, malın istenmeden alev çıkaran bir alevle yanmasıdır.

Türk Dil Kurumu sözlüğü incelenecek olursa yangın tanımı, “Zarara yol açan büyük ateş” olarak tanımlanmaktadır[7].



Şekil 2.1. Yangın üçgeni ve dört yüzlüsü [8].

Yangın ortamında yanan materyallerin yapısı göz önüne alındığında yangın çeşitleri, beş sınıfa ayrılmıştır. Böyle tip sınıflandırma, özellikle yangına müdahalede kullanılacak maddeleri belirlemek açısından gereklidir (TS EN 2, 1998);- A sınıfı yangınlar: Genellikle kor halde yanan genel olarak organik yapıdaki katı madde yangınlarını, - B sınıfı yangınlar: Sıvılar veya sıvılaşabilen katı madde yangınlarını, - C sınıfı yangınlar: Gaz madde yangınlarını, - D sınıfı Yangınlar: Hafif metal yangınlarını kapsar. A sınıfı yangınları; selülozik maddelerin süregelen yanmaları sonucunda kor veya kömür şeklinde transformasyon söz konusudur. A sınıfı yangınlar olarak değerlendirilen ahşap, kâğıt ve belirlenmiş tekstilden mamulleri kapsamaktadır. A sınıfı yangınların söndürülmesinde genel olarak su etkilidir. (TS EN 2, 1998). B sınıfı yangınlar; kolay tutuşan sıvıların yanmasıyla oluşmaktadır. Karbondioksit ve köpük B sınıfı yangınların söndürülmesinde etkilidir (TS EN 2, 1998). C sınıfı yangınlar gaz yangınları olarak tanımlanmaktadır (TS EN 2, 1998). Örneğin, propan ve doğalgaz gösterilebilir. C sınıfı yangınlara müdahalede kuru kimyevi toz kullanılmaktadır.

D sınıfı yangınların meydana gelmesine neden olan metaller, sodyum, zirkonyum, magnezyum ve titanyum içermektedir. D sınıfı yangınlar genel olarak natürel karbon ihtiva eden özel söndürme maddeleri ile müdahale edilir. Metaller aşırı yüksek ısıda yandıklarından dolayı, D sınıfı yangınlara müdahalede su kullanılması uygun değildir. Yangın esnasında metaller, su ile tepkimeye girmesiyle birlikte patlama tepkimesi gösterebilmektedir [9].

Bahse konu yangın sınıfları TSE tarafından değerlendirilse de bu tip yangınların yanı sıra literatür içinde E ve F sınıf yangın türlerinden bahsedilmektedir. E sınıfı yangınlar elektrik yangınları olarak tanımlansa da elektriğin kendi başına yanmayacağı ancak ortamda bulunan diğer yanıcıları tutuşturmak suretiyle yangına sebep olacağı düşüncesi ile literatür içerisinde yangın sınıfı olarak nitelenmemeye başlanmış, bunun yerine elektrik kaynaklı yangınlar olarak yangın sınıfı olarak değil yangın sebebi olarak sınıflandırılmıştır.

F sınıfı yangınlar ise yağ yangınları olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu sınıfın sıvı yangınlarından ayrılmasının temel nedeni yağların birçok sıvıya göre daha yüksek sıcaklıklarda kaynamalarıdır. Yüksek sıcaklıklarda kaynayan yağlar için ayrı söndürme metotları geliştirilmiştir. Bu metotların başında ise boğma yöntemi gelmektedir.

Isı, sistemle, sistemin etkileşim alanı arasında yalnızca sıcaklık farkından kaynaklı akan düzenlenmemiş ve transfer halindeki enerji biçimidir. Isı akışı, tabiatta ve aktüel hayatımızda kullandığımız çeşitli makinelerin çalışmasında numuneleri ile karşılaştığımız fiziksel bir vakadır[10].

Yangının meydana gelmesi ile birlikte ısı transferi, yangının yayılması üzerinde çok etkilidir. Isı akışı yangın olayının gelişimine tesir ettiği gibi, müdahale ekiplerinin vaka yerinde yangının söndürülme çalışmalarında da dikkate alınması gereken bir olaydır. Yangına müdahalede bulunan ekipler, yanan cismin etrafında bulunan maddelere yanmadığı için müdahale etmeyebilirler ancak ısı transferi nedeniyle yanan cismin etrafında bulunan cisimlerde alev alabilirler. Isı transfer yolları etkisi ile bu cisim de yanmasına neden olabilir. Bu sebeple ısı transferinin durdurulması yangının farklı alanlara sıçramasını engelleyecektir [11].

2.2. Yanmaya Dayanıklılık Özelliği

Materyallerin yanma özellikleri çok önemlidir. Yanmanın başlangıcında sıcaklığın yüksekliği kadar, materyalin yanmaya başladıktan sonra yanmanın kendi kendine yayılma hızı çok önemlidir. Misal olarak; esasında organik bir bileşik olan plastikler ateşe karşı çok duyarlılardır. Çoğunlukla termoplastiklerin büyük bir kısmı, alevle veya yüksek sıcaklık ile etkileştikten sonra kullanılmaz bir duruma gelirler. Yanan materyalin yanma sürati, katkı maddeleri ile yavaşlatılabilir [12]. Ancak doğada bazı maddeler moleküler yapıları sayesinde yanmaya daha dayanıklı olabilirler. Tam anlamıyla yanmayan bir malzemeden söz etmek mümkün olmaz iken bu bağlamda iki temel kavram karşımıza çıkıyor. İlk safhada alev geciktirici malzemeleri görürken, daha sonra ısıya dayanıklı malzemeleri görmekteyiz. Bu özellikleri farklı malzemelerde ayrı ayrı görebileceğimiz gibi aynı malzeme üzerinde iki özelliğinde olabilmesi mümkündür.

Tablo 2.1. Termal koruyucu giysilerde kullanılan ısı ve alev dayanıklı lifler [13].

1. Kendiliğinden Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Lifler	2. Kimyasal modifikasyonla Elde Edilen Güç Tutuşur Lifler
• Aramid Lifleri • Polibenzimidazol lifleri (PBI) • Poliamid-imid lifleri • Poliimid lifleri • Novoloid lifleri • Polifenilen sülfür lifleri • Klor lifleri • Poliakrilat lifleri • Yarı karbon lifleri • Melamin lifleri	• Güç tutuşur viskoz lifleri • Güç tutuşur polyester lifleri • Güç tutuşur akrilik/modakrilik lifleri • Güç tutuşur pamuk lifleri • Güç tutuşur yün lifleri

Tablo 2.1 içeriğinden de anlaşılacağı üzere İtfaiyeci elbiselerinde kullanılan bazı lif içerikleri kendiliğinden ısı kararlılığına sahip iken bazı lifler kimyasal modifikasyonlar sonucu ısı kararlılıkları artırılmak suretiyle kullanılmaktadırlar.

Tez çalışmamızda kendiliğinden ısı kararlılığı yüksek elyaflardan mamul itfaiyeci elbiselerinden bazılarının performans özellikleri kıyaslanacaktır.

Tablo 2.2. Lif türlerine ve lifin kimyasal yapısına göre LOI yüzdeleri [14].

Lif Türü	Lifin Yapısı	LOI (%)
Polyester	1-C, H, O + aromatik	21-22
Aramidler	2-C, H, O, N + aromatik	27-30
PBI	3-C, H, N + aromatic	41
Yün, poliamid, ipek,	C, H, N ve O, S	18-25
Pamuk, viskoz,	C, H ve O	17-20

Tablo 2.2 içeriğinde ise bazı tekstil ürünlerinin Limit Oksijen İndeksi (LOI) değerleri görülmektedir. Yün, İpek ve pamuk kıyaslandıklarında teknik tekstil ile üretilen PBI ve aramid liflerin LOI değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum ise güç tutuşurluğa sebep olmaktadır.

2.2.1. Kendiliğinden yanmaya dayanıklı yapılar

Kendiliğinden yanmaya dayanıklı lifler incelendiğinde polimerizasyon esnasında herhangi bir radikal grup eklenmeden hazırlanan lifler görülmektedir. Tablo 1 içeriğinde kendiliğinden yanmaya dayanıklı yapılar içerisinde tekstil sektöründe;

- Aramid Lifleri
- Polibenzimidazol lifleri (PBI)
- Poliamid-imid lifleri
- Poliimid lifleri

kullanımının daha yaygın olduğu görülmektedir.

Poli-[2,2'-(m-fenilen)-5,5'-dibenzimidazol]'ün diğer bir adıyla polibenzimidazol ya da PBI, kimyasal ve ısı dayanımı yüksek olan uzun zincirli aromatik polimer olarak tanımlanabilir [15].PBI lifler termal dayanımları oldukça yüksek sayılabilecek lifler olarak gösterilebilirler.

Tablo 2.3. PBI liflerinin termal dayanımı [16].

Sıcaklık (°C)	Kullanım Ömrü
600.	3-5 sn
450	5 dk.
400	1 sa.
330	24a

2.2.2. Kimyasal modifikasyon ile yanma dayanıklılığı kazandırılmış yapılar

Doğal olarak yanmaya dayanıklılığa sahip molekül yapısına sahip bazı maddeler kimyasal olarak eklenen bazı radikal yapılar ile yanmaya dayanıklılıkları artırılmak sureti ile yanmaya dayanıklı hale getirilebilmektedirler. İtfaiyeci elbiselerinde bu tip lifler daha önce kullanılmış olsa da zaman içerisinde elbiselerin itfaiyecilerin çalışma ortamlarındaki yüksek sıcaklık nedeniyle bozundukları ve radikallerin diğer emisyonlara karışarak sağlık açısından zararlı olabilecek yapılara dönüştükleri tespit edilerek bu tip liflerin kullanımı asgari düzeye indirilmiştir. Bu nedenle; itfaiyeci

elbiseleri için tasarlanan lifler polimerizasyon ile elde edilen liflerden seçilmesi yaygınlaşmıştır.

2.2.2.1. Polimerizasyon

Polimer, fazla sayıda nano molekülün kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak meydana getirdikleri makro moleküldür. Monomer olarak adlandırılan nano moleküller uygun şartlarda Polimerizasyon reaksiyonlarıyla birbirleri ile kimyasal bağ yaparak polimer molekülü halini alırlar. Polimerlerin oluşturduğu yapılar polimerlerin özelliklerini belirlemekte çok etkilidir. Polimerik yapılar doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı yapılar oluşturabilirler. Çapraz bağ yüzdesinin yüksek olması ağ-yapılı polimere neden olur.

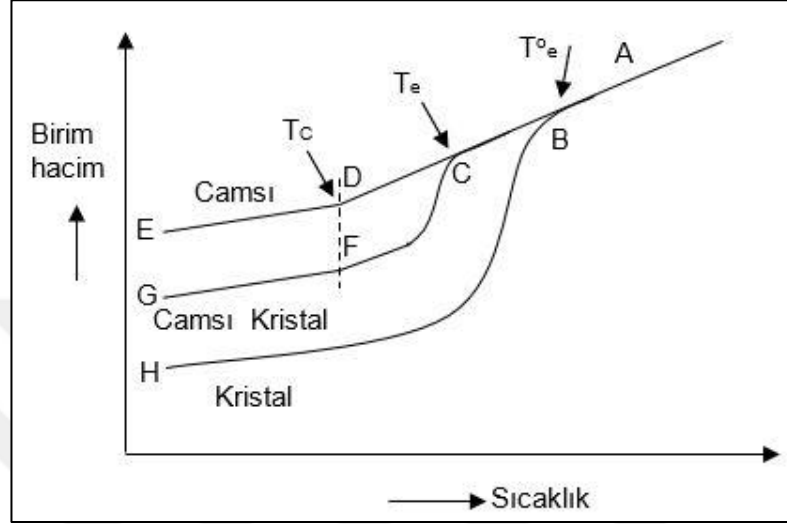
Monomer molekülleri polimerizasyon reaksiyonlarıyla polimer halini alırlar ve bu reaksiyon polimerizasyon (polimerleşme) olarak adlandırılır. Polimerler sentezlenirken uygulanan yöntemler mekanizmaları dikkate alınarak temelde basamaklı polimerizasyon (kondensasyon polimerizasyonu) ve katılma polimerizasyonu (zincir polimerizasyonu) olarak iki grupta incelenir[17].

2.2.2.2. Polimerlerin ısı özellikleri

Isıya karşı davranışları denildiğinde; ısı iletkenliği, ısı genleşme, ısısal dayanıklılık, eğilme sıcaklığı, yanma oranı ve camsı geçiş noktası denilen sertleşme noktası (TC) akla gelir. Doğrusal polimerler yeterince yüksek sıcaklıklarda amorf, kauçuksu şekilde bir sıvı halindedirler. Düşük sıcaklıklarda aynı polimer çok sert bir katı halini alır. Polimerler soğutulduklarında birbirinden farklı iki şekilde katılaşabilir. Bu yöntemlerden ilki kristallenme, ikincisi ise camsılaşmadır.

Polimerlerin hacim-sıcaklık davranışları Şekil 2.2’de görülmektedir. Şekilde erimiş durumdaki sıcak polimerin soğutulduğunda, T_g ’nin altındaki sıcaklıklarda kristallenme başladığı ve genel olarak biraz şekilsiz madde içeren çok kristalli bir kütle oluşturduğu görülür. Soğutma işlemi hızlı bir şekilde yapılırsa, polimerin büyük bir kısmı kristallenme olmadan T_g ’nin alt kısmına inebilir ve termodinamik açıdan yarı kararlı aşırı-soğumuş, şekli olmayan bir madde oluşturulur. Moleküllerin dönme ve bükülme hareketleri devam ettiğinden polimer yumuşak ve kauçuğumsudur. Sıcaklık daha fazla düşürülmeye devam ederse, moleküllerin dönme ve bükülme hareketleri yavaşlar, T_g ’nin alt kısmında hareketsiz hale gelir. Bu şekildeki polimer sert, kırılğan ve camsı bir katı halini alır.

T_c sıcaklığının üstünde ve altında kristallenmiş bir polimerin fiziksel özellikleri de farklıdır. T_c 'nin altında çok kristalli kütle camsı şekilsiz bir ortamda dağılmış küçük kristallerden oluşurken, T_c ve T_e sıcaklıkları arasında kristaller yumuşak şekli olmayan bir ortam içindedirler. Şekilsiz kütle oranı artarsa, madde kırılkan olmayan, sağlam ve dayanıklı bir polimerdir.



Şekil 2.2. Bir polimerin hacim ve sıcaklık eğrisi.

Polimer zinciri farklı yapı nano moleküllerden oluşuyorsa, sürekli şekilsiz, başka bir söylemle amorf yapıda bir polimer söz konusu olup, hacim değişimi ACD eğrisini izler ve sadece T_c geçişi izlenir. Kristal bölgeler olmadığından erime sıcaklığı gözlenmez. Tamamıyla kristal bir polimer ise ABH eğrisini boyunca hareket edip, sadece T_e geçişi göstermektedir. Düzensiz zincirleri (amorf) olmadığı için camsı geçiş sıcaklığı gözlenemez.

Polimerlerin geneli T_e sıcaklığında kısmen kristallendiği için genel olarak her iki geçiş sıcaklığını da göstermektedir (AGEF eğrisi). Bundan dolayı hem kristalik hem de şekilsiz halleri bulunmaktadır. Erime noktası, farklı zincir boylarında kristaller içermesi sebebiyle 10°C kadar geniş aralıkta olabilir. Yinelenen kısımları basit ve düzgün polimerlerde, T_e değeri düşük ise, T_c değerinin de genel düşük olduğu, T_e yüksek olduğunda T_c 'ninde yükseldiği izlenmektedir[18].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

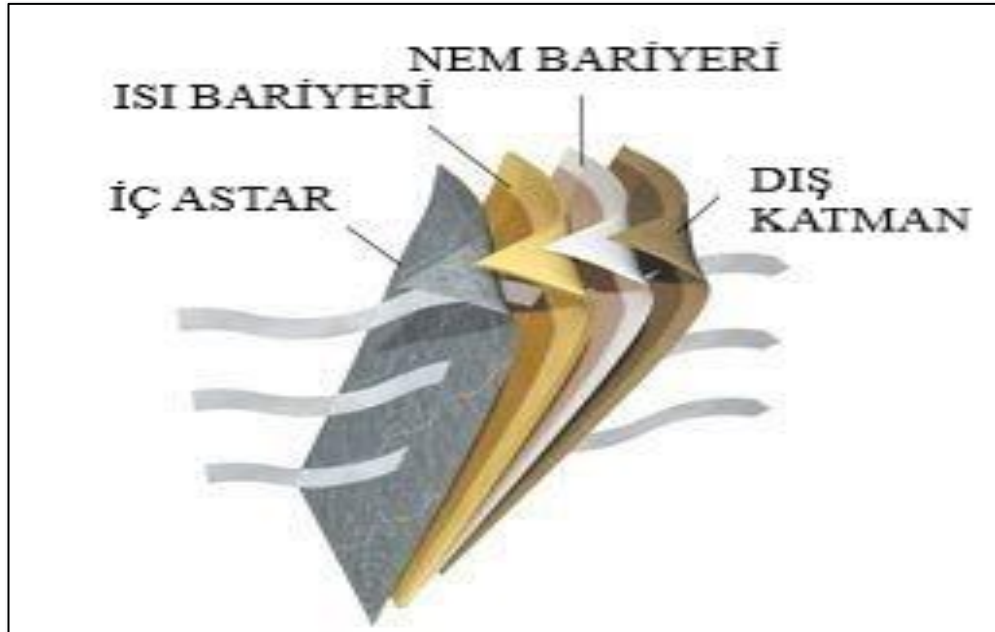
Çalışmamıza konu olan polimerik malzemeden mamul kumaşlar ticari isimleri olarak sınıflandırılarak temin edilmiştir. Çalışmamızda 4 farklı kumaş üzerinde deneyler yapılmıştır.

Bahse konu kumaşlar itfaiyeci elbiselerinde kullanılan kumaşlardan seçilmiştir. Kumaşlar itfaiyeci elbiselerinde tek katman olarak kullanılmak yerine modifiye edilerek farklı katmanlar ile birlikte kullanılmakta olup, bu katmanlar;

- Dış Kumaş (Deney numunesi)
- İç Astar
- Isı Bariyeri
- Nem Bariyeri

olarak isimlendirilmektedirler.

Deney numuneleri tek başlarına test edildiklerinde performans özellikleri net bir şekilde anlaşılamayacağından deneylerde tüm katmanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.1. İtfaiyeci giysilerinde katmanlar[19].

3.2. Yöntem

3.2.1. Kullanılan araç-gereçler

Çalışmada kullanılan başlıca ekipmanlar;

- Işıma yoluyla ısı yayma kaynağı: Işıma yoluyla ısı yayma kaynağı aşağıdaki özelliklerde altı silikon karpit (SiC) ısıtıcı çubuğu içermelidir.
- Numune taşıyıcı,
- Kalorimetre: Kavisli bakır levhali kalorimetre,
- Sıcaklık kayıt cihazı,
- Gaz brülörü: (38 ± 2) mm çapında delikli üst alana ve aşağıdakiler için uygun bir jete sahip düz tepeli bir Meker brülörü propan gazı kullanılacaktır.
- Laboratuvar ekipmanları.

3.2.2. Deney numuneleri

İtfaiyecilerin yangınları söndürme çalışmaları sırasında sürekli olarak farklı dış etmenlere maruz kaldıklarından giriş kısmında bahsetmiştik; bu etmenlerden ısı ile ilgili olan testleri incelerken elbiselerin zaman içerisinde yıpranacaklarının ve bu yıpranma sürecinde en önemli aktörün su olabileceğini öngördük. Bu öngörümüzü desteklemek için itfaiyeciler ile görüş alışverişinde bulunduk ve itfaiyecilerin kullandıkları yangına yaklaşma elbiselerinin genellikle ıslandığını ve doğası gereği kirli ortamlarda çalıştıkları için elbiselerini düzenli olarak yıkadıklarını öğrendik.

Bu nedenle elimizde ki kumaş numunelerini 5 kez yıkayarak testleri tekrarlamının elbiselerin yıkamaya nasıl tepki verdiklerini incelemeye çalıştık. Deney numuneleri Kıvanç Kimya Sanayi ve Tic. AŞ'den temin edilmişlerdir.



Şekil 3.2. PBI karışımı kumaştan mamul YYE [20].

Tablo3.1. Deney numunelerine ait ticari isim ve numune içerikleri.

Numune Ticari Adı	Numune içeriği	Numune Rengi
Fire- Resist PBI X55	75% Metaaramid-23% Paraaramid-2%Antistatik 40% PBI-59% Paraaramid-1% Antistatik	Koyu Lacivert Gold
Fire- Blocker PBI Gold	93% Metaaramid-2% Paraaramid-2% Antistatik 40% PBI-58% Paraaramid-2% Antistatik	Koyu Lacivert Gold

3.3. Analizler

3.3.1. Radyan ısı deney metodu (TS EN ISO 6942-2007)

Bu analiz, radyan yayılımı ısı ışımasına altında kalan ısı karşısında koruyucu giyecekler için malzeme tepkilerinin izlenmesi gayesiyle iki tamamlayıcı metodu ihtiva eder.

Deneyler, ısıya karşı koruma giyeceği için tasarlanmış temsili tek veya çok tabakalı tekstil malzemeler veya diğer malzemelerin denenmesi için yapılır. Bu deneyler aynı

zamanda, iç giyeceği olan veya olmayan ısıdan koruyucu komple giyecek birleşimine karşılık gelen birleşimlere de uygulanabilir.

Metot A, ısı ışıma hareketinden sonra malzemedeki herhangi bir değişikliğin gözle değerlendirilmesinde kullanılır. Metot B ile malzemelerin koruyucu etkisi belirlenir. Malzemeler her iki metotla veya bunlardan sadece biri ile denenebilir.

Malzemelerin sınıflandırılmasında, bu iki metoda uygun deneyler kullanılır. Buna rağmen, koruyucu giyecek için malzeme uygunluğu ile ilgili bir beyanda veya tahminde bulunabilmek amacıyla ilave kriterler dikkate alınmalıdır.

Deneylerin oda sıcaklığında yapılması nedeniyle sonuçlar, genellikle daha yüksek ortam sıcaklıklarındaki malzeme tepkisine karşılık gelmez ve bundan dolayı bu deneyler deneye tabi tutulan malzemelerden yapılmış koruyucu giyecek performansının tahmini için kısıtlı ölçüde uygundur.

3.3.2. Alevli ısı transferi deney metodu (TS EN ISO 9151-2016)

Bu analiz, koruyucu giysilerde kullanılan malzemeler veya malzeme gruplarından geçen ısı iletimini belirlemek için bir yöntemi belirtir. Daha sonra, belirtilen test koşulları altında bağlı ısı iletiminin bir göstergesini sağlayan ısı transfer indeksleri karşılaştırılarak malzemeler sıralanabilir. Isı transfer indeksi, gerçek kullanım koşullarında test edilen malzemeler tarafından verilen koruma süresinin bir ölçüsü olarak alınmamalıdır.

3.3.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması için deney metodu (TS EN ISO 15025-2017)

Bu standart, bir veya daha fazla bileşeni olan kumaşlar biçimindeki dikey şekilde yönlendirilmiş esnek malzemenin alev yayma özelliklerini belirlemek için iki prosedürü (yüzey tutuşması ve alt kenar tutuşması) belirtir. küçük tanımlı alev bu test standardı, diğer test yöntemlerinin daha uygun olduğu, kısıtlı hava beslemesinin olduğu veya büyük yoğun ısı kaynaklarına maruz kaldığı durumlar için geçerli değildir. Bu test yöntemi, yoğun erime veya büzülme gösteren malzemeler için uygun değildir.

3.3.4. Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvvetinin tayini (TS EN ISO 13937-2-2002)

Bu standart, kumaşın yırtılma kuvvetini tayin etmek için pantolon şeklinde kesilmiş bir deney numunesinin kullanıldığı ve pantolon deneyi olarak bilinen tek yırtma metodunu kapsar.

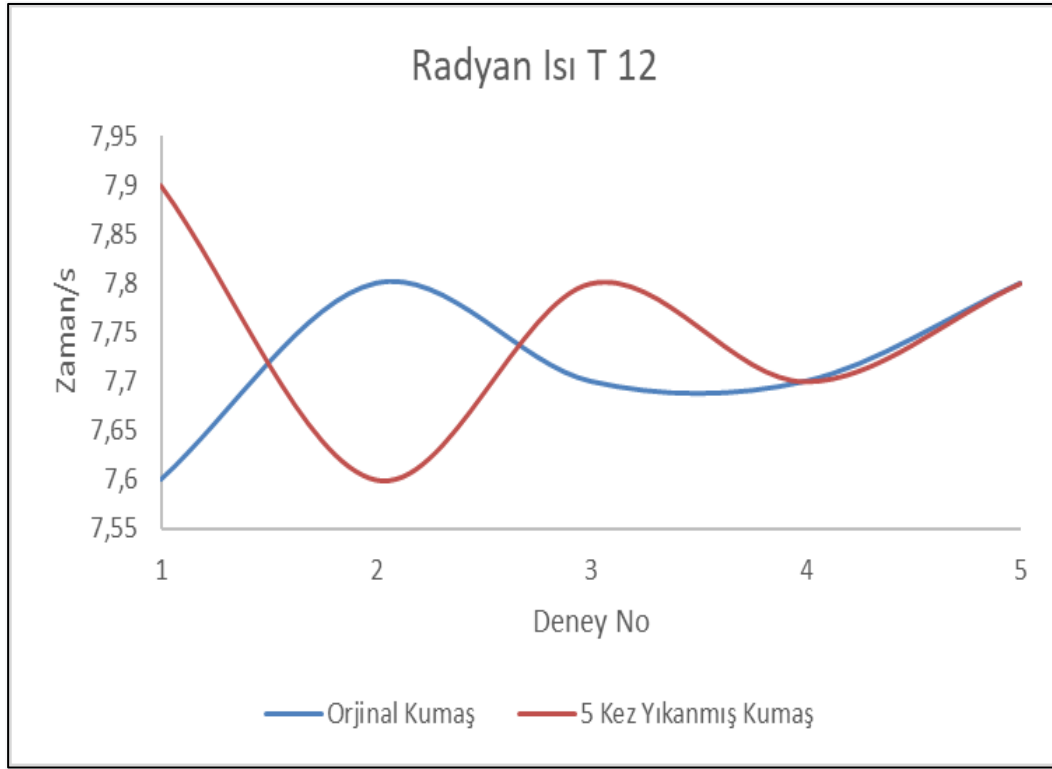


4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Fire-Resist Ticari İsimli Kumaş Testleri (75% Metaaramid-23% Paraaramid-2% Antistatik)

4.1.1. Radyan ısı transferi deneyi

Fire-Resist isimli kumaşın orijinalinden alınan numune Radyan ısı testlerine 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 ve T24 süreçleri izlenmiştir.

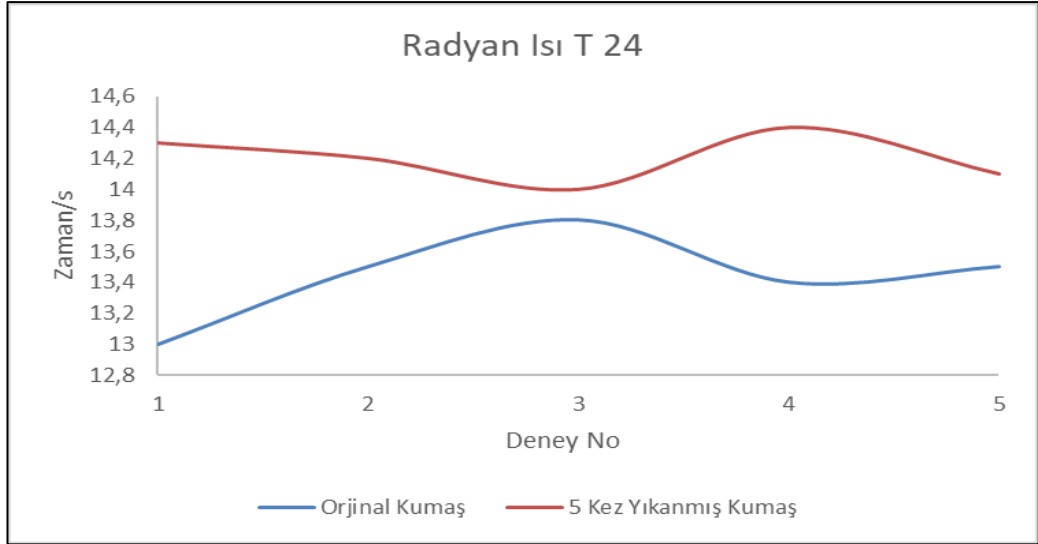


Şekil 4.1. Fire-Resist kumaş Radyan ısı T12 süreç grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal Fire-Resist isimli numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 7,72 s olduğu gözlenmiştir.

Fire-Resist isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan enerji testine alınmıştır. Test 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 süreçleri izlenmiştir.

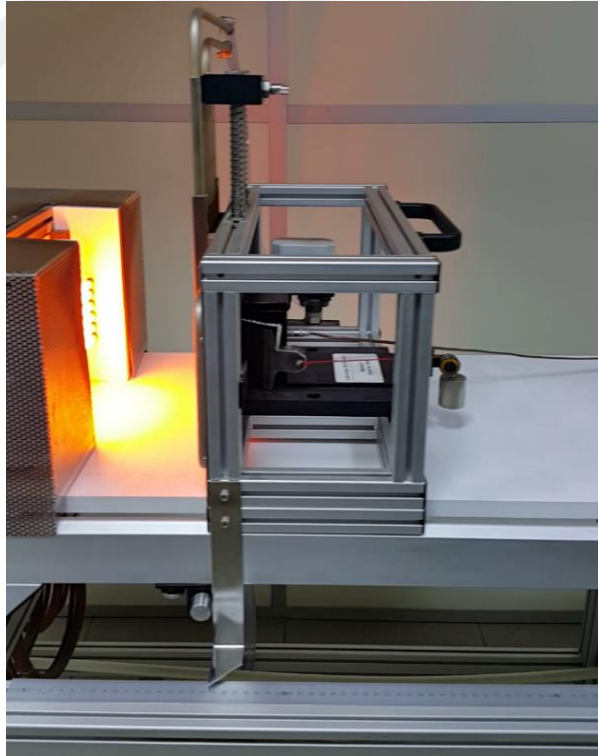
Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 7,76 s olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Fire-Resist kumaş Radyan ısı T24 süreç grafiği.

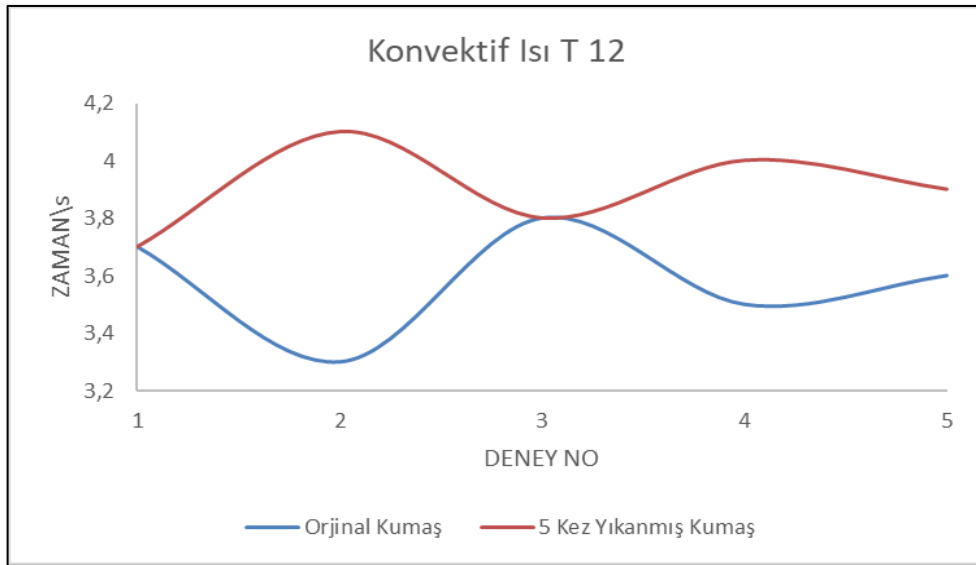
Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 13,44 sn olduğu gözlenmiştir.

Grafik incelendiğinde Fire-Resist isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 14,20 s olduğu gözlenmiştir.



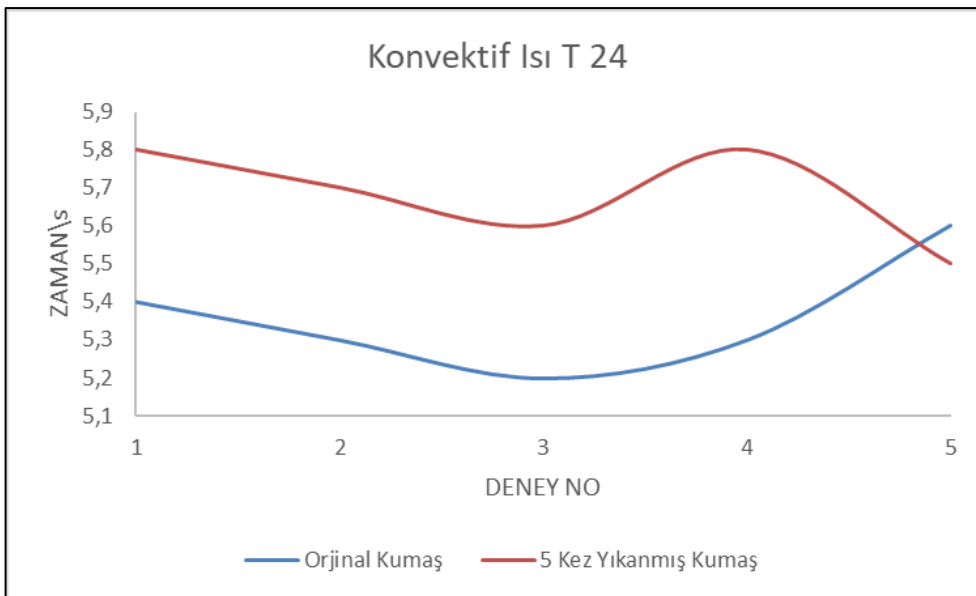
Şekil 4.3. Radyan ısı testi.

4.1.2. Alevli ısı transferi deneyi



Şekil 4.4. Orjinal Fire-Resist kumaş Konvektif ısı T12 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 3,58 s olduğu gözlenmiştir. Fire-Resist isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T12 süreci izlenmiştir. Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 3,90 s olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.5. Fire-Resist kumaş Konvektif ısı T24 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 5,36 s olduğu gözlenmiştir. Fire-Resist isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T24 süreci

izlenmiştir. Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 5,68 s olduğu gözlenmiştir.

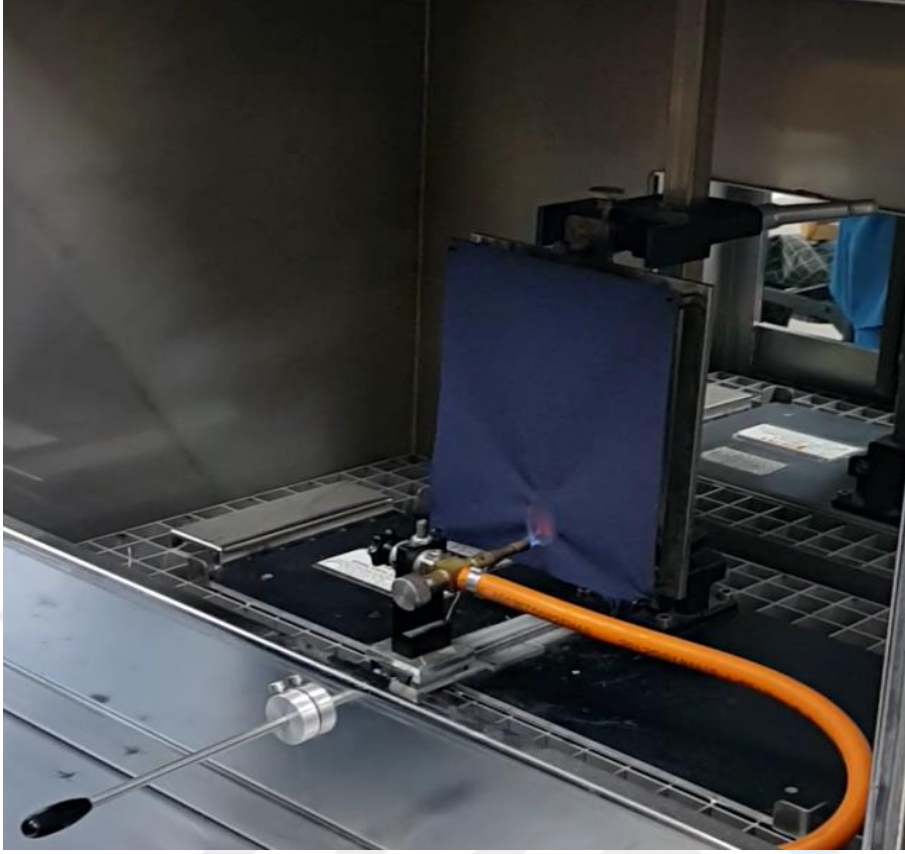


Şekil 4.6.Konvektif ısı testi.

4.1.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi

Alev almazlık testinde orijinal Fire-Resist kumaş numunesi doğrudan 10 s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

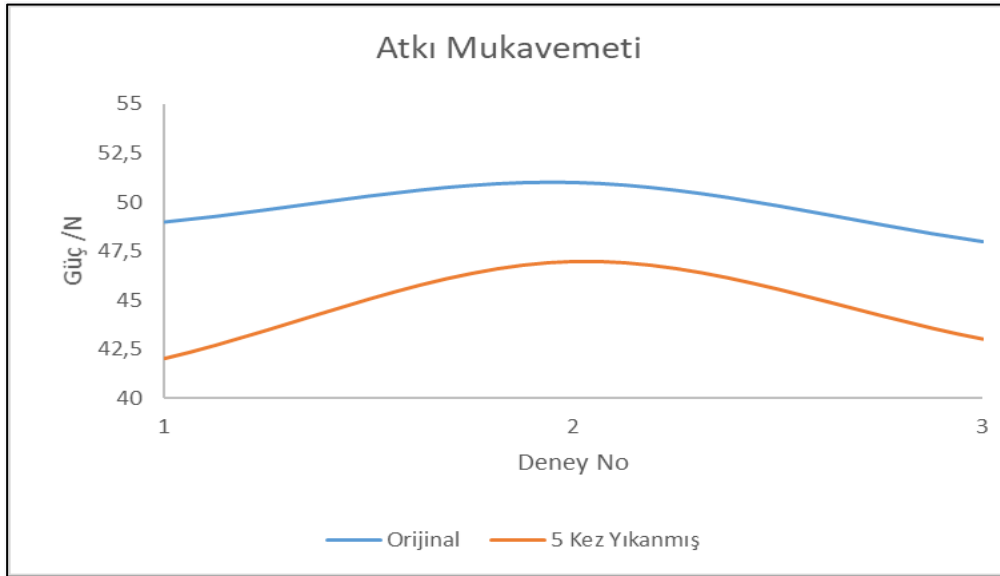
Test Fire-Resist kumaşdan 5 yıkama sonrası alınan numuneye uygulanmıştır. Doğrudan 10s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi.

4.1.4. Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvveti testi

Bu standart testleri yapılacak olan testin içeriğine uygun olarak atkı ve çözgü yönlerinde ayrı ayrı yapılmıştır.



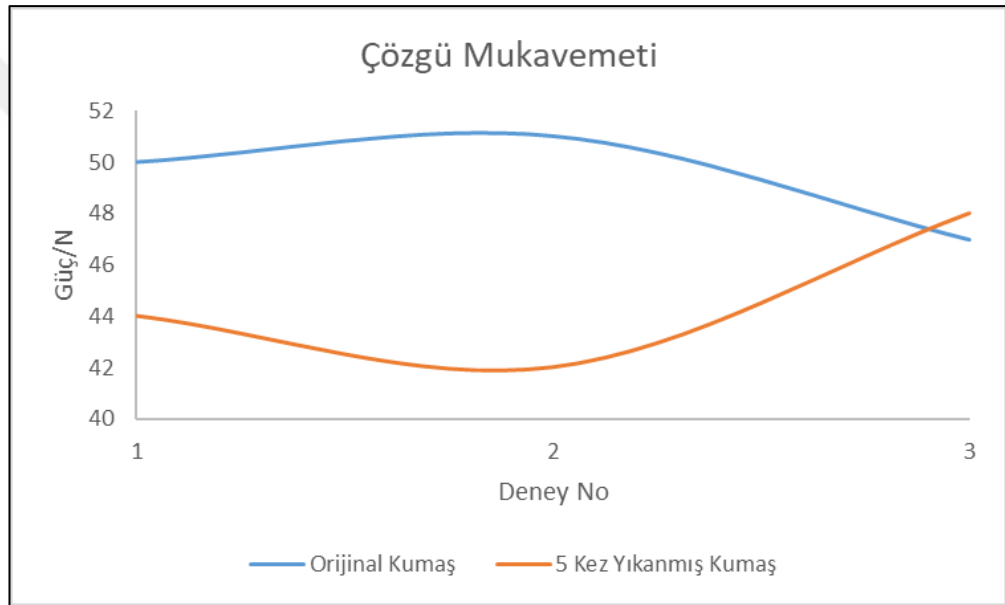
Şekil 4.8. Fire-Resist kumaş atkı mukavemeti.

Elde ettiğimiz verilerin ortalamalarına baktığımızda fire-resist isimli kumaşın orijinal halinde Atkı yönünde yapılan testlerde yaklaşık 49,33 N güce mukavemet gösterdiği ölçülmüştür.

Aynı kumaş 5 kez yıkanarak pantolon şeklinde kesilen numuneler Atkı yönünde Yırtılma mukavemeti testine belirtilen veriler elde edilmiştir.

5 kez yıkama yapılan Fire-resist isimli kumaşın atkı yönündeki test verileri 47 N ve 42 N aralığında bulunmuştur.

Elde edilen verilerin ortalamasına bakıldığında 5 yıkama sonrasında kumaşın atkı yönünde mukavemetinin 44 N seviyelerine düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.9. Fire-Resist kumaş çözgü mukavemeti.

Testler sonucunda elde edilen verilere bakıldığında orijinal Fire-Resist kumaşın çözgü yönünde mukavemetinin ortalamasının 49,33 N olduğu görülmüştür.

Aynı kumaş 5 kez yıkanarak pantolon şeklinde kesilen numuneler çözgü yönünde Yırtılma mukavemeti testine alınmış test sonucunda belirtilen veriler elde edilmiştir.

Yapılan testler sonrasında 5 yıkama sonrası Fire-Resist kumaşın çözgü yönünde mukavemetinin 44 N ve 48 N aralığında olduğunu göstermiştir.

Elde edilen verilerin ortalamasına bakıldığında 5 yıkama sonrasında kumaşın çözgü yönünde mukavemetinin 44,66 N seviyelerine düştüğü görülmüştür.

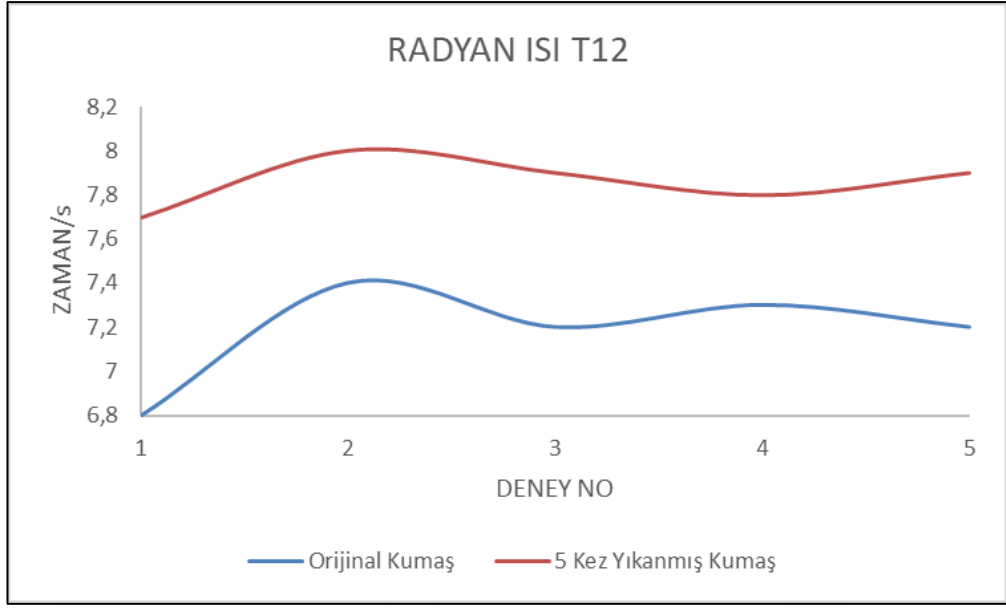


Şekil 4.10. Yırtılma mukavemet testi.

4.2. Fire-Blocker Ticari İsimli Kumaş Testleri (93% Metaaramid-2% Paraaramid-2% Antistatik)

4.2.1. Radyan ısı transferi deneyi

Fire-Blocker isimli kumaşın orijinalinden alınan numune Radyan ısı testlerine 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 ve T24 süreçleri izlenmiştir.

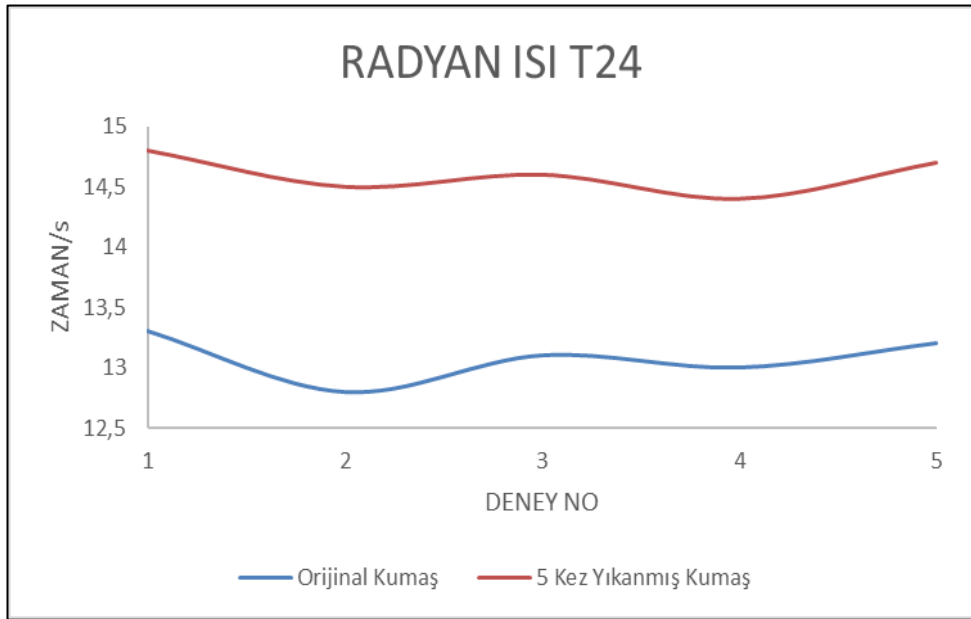


Şekil 4.11. Fire-Blocker kumaş Radyan ısı T12 süreç grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal Fire- Blocker isimli numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 7,18 s olduğu gözlenmiştir.

Fire- Blocker isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan enerji testine alınmıştır. Test 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 süreçleri izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 7,86 s olduğu gözlenmiştir.

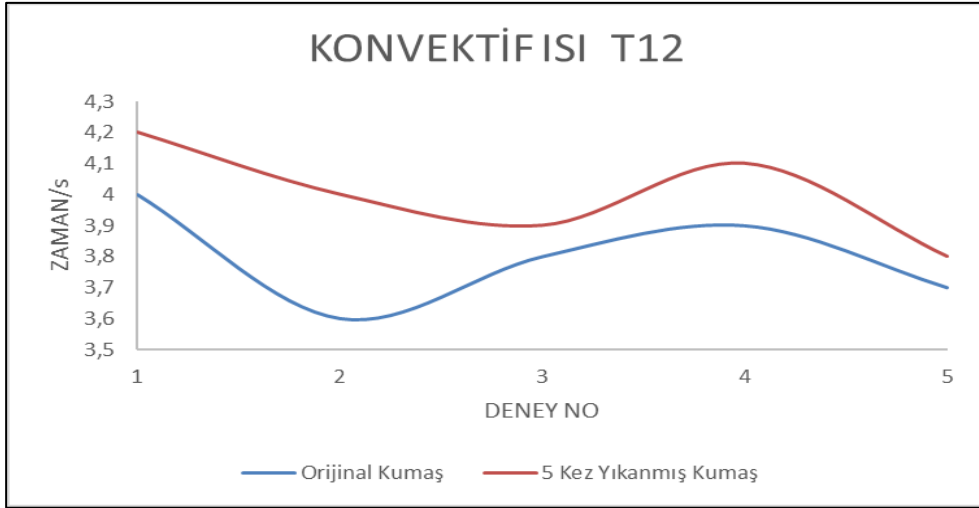


Şekil 4.12. Fire-Blocker kumaş Radyan ısı T24 süreç grafiği.

Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 13,08 sn olduğu gözlenmiştir.

Grafik incelendiğinde Fire-Resist isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 14,60 s olduğu gözlenmiştir.

4.2.2. Alevli ısı transferi deneyi

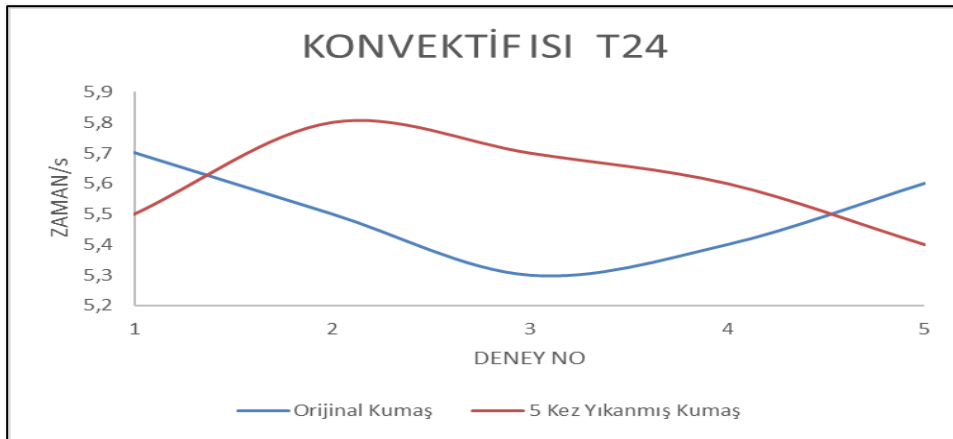


Şekil 4.13.Fire-Blocker kumaş Konvektif ısı T12 süreç grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 3,8 s olduğu gözlenmiştir.

Fire-Blocker isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T12 süreci izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 4 s olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.14.Fire-Blocker kumaş Konvektif ısı T24 süreç grafiği.

Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 5,5 sn olduğu gözlenmiştir.

Grafik incelendiğinde Fire-Blocker isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 5,60 s olduğu gözlenmiştir.

4.2.3.Sınırlandırılmış alev sıçraması testi

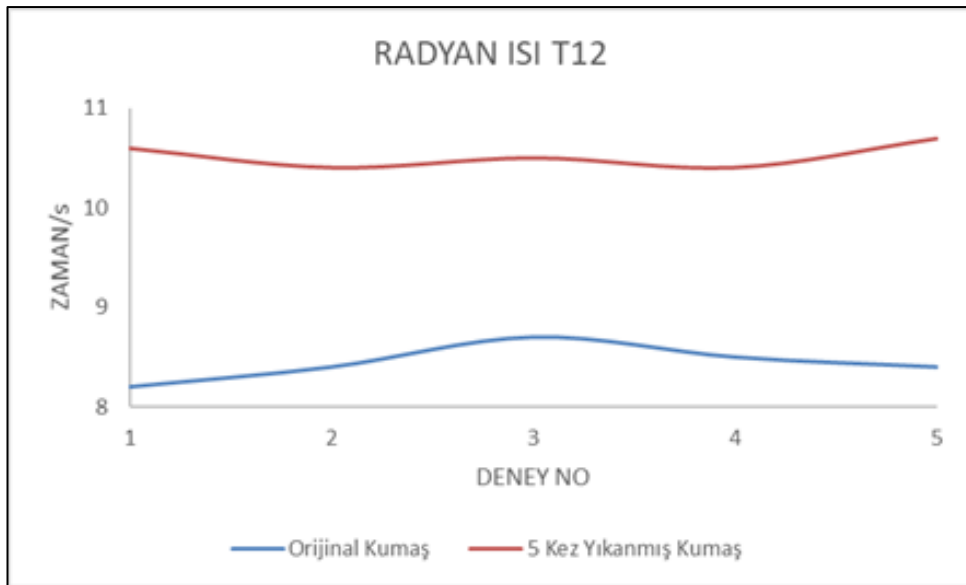
Alev almazlık testinde orijinal Fire-Blocker kumaş numunesi doğrudan 10 s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

Test Fire-Blocker kumaşdan 5 yıkama sonrası alınan numuneye uygulanmıştır. doğrudan 10s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

4.3. PBI X55 Ticari İsimli Kumaş Testleri (40% PBI-59% Paraaramid-1% Antistatik)

4.3.1. Radyan ısı transferi deneyi

PBI X55 isimli kumaşın orijinalinden alınan numune Radyan ısı testlerine 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 ve T24 süreçleri izlenmiştir.

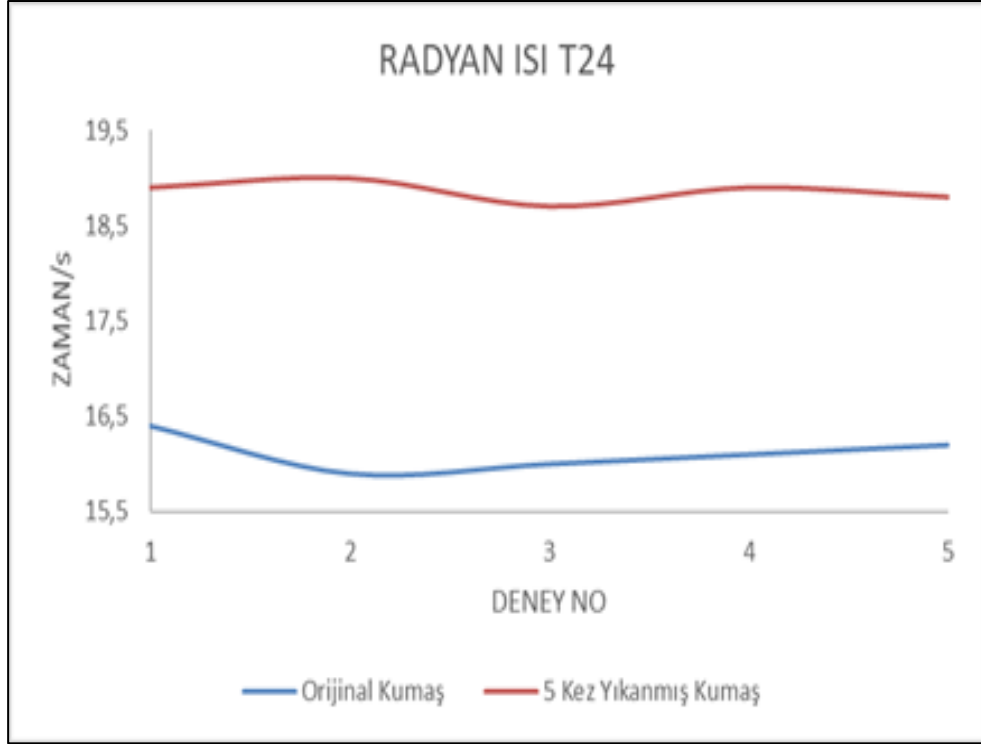


Şekil 4.15.PBI-X55 kumaş Radyan ısı T12 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal PBI-X55 isimli numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 8,44 s olduğu gözlenmiştir.

PBI-X55 isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan enerji testine alınmıştır. Test 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 süreçleri izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 10,52 s olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.16. PBI-X55 kumaş Radyan ısı T24 grafiği.

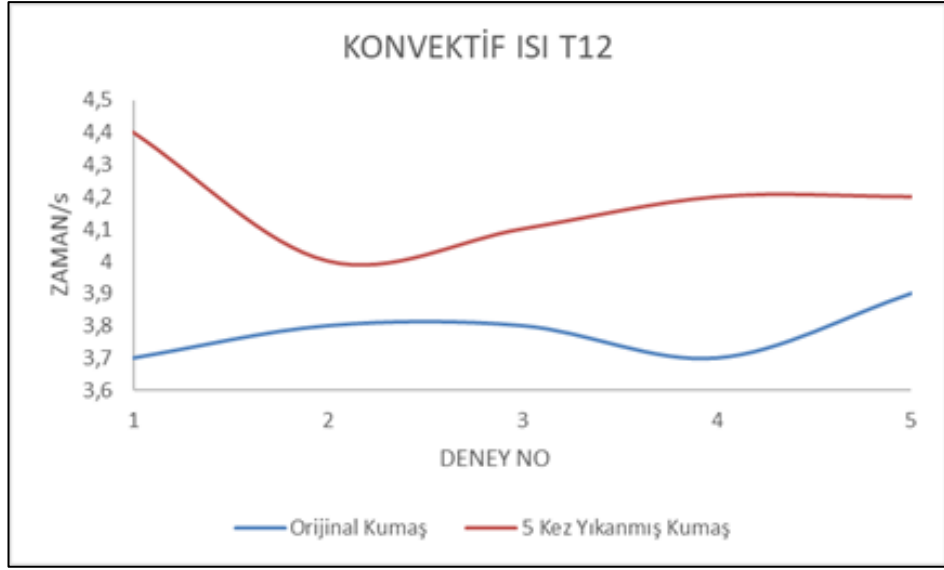
Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 16,12 s olduğu gözlenmiştir.

PBI-X55 isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan enerji testine alınmıştır. Test 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T24 süreci izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının ise 18,86 s olduğu gözlenmiştir.

4.3.2. Alevli ısı transferi deneyi

PBI-X55 isimli kumaşın orijinalinden alınan numune Konvektif Isı testinde 80 KW enerji verilmiş T12 süreci, T24 süreçleri izlenmiştir.



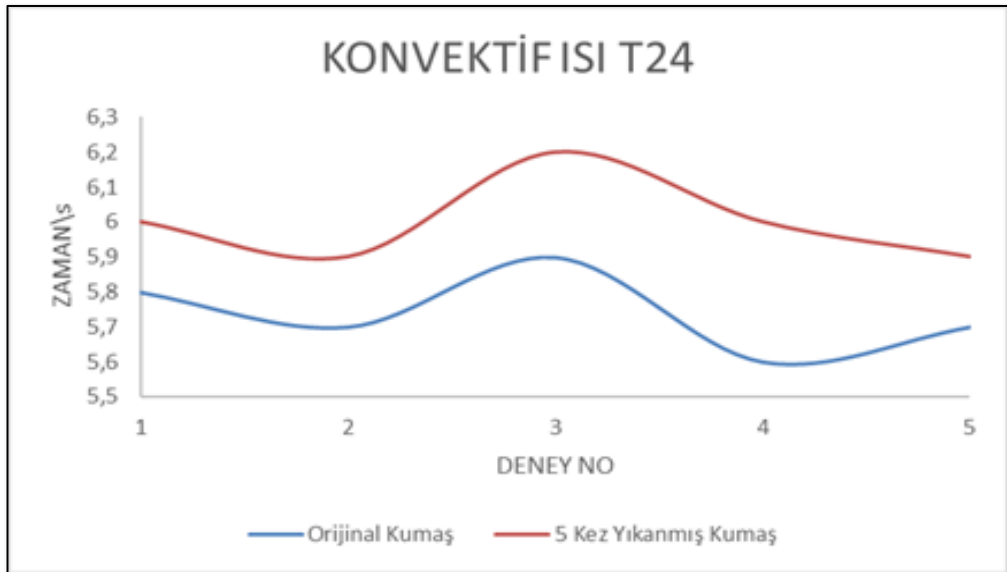
Şekil 4.17.Orjinal PBI-X55 kumaş Konvektif ısı T12 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 3,78 s gözlenmiştir.

PBI-X55 isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T12 süreci izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 4,18 s olduğu gözlenmiştir.

PBI-X55 isimli numune Konvektif Isı testine alınmış, Test esnasında 80 KW enerji verilmiş T24 süreci izlenmiştir.



Şekil 4.18. PBI-X55 kumaş Konvektif ısı T24 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 5,74 s gözlenmiştir.

PBI-X55 isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T24 süreci izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 6,00 s olduğu gözlenmiştir.

4.3.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi

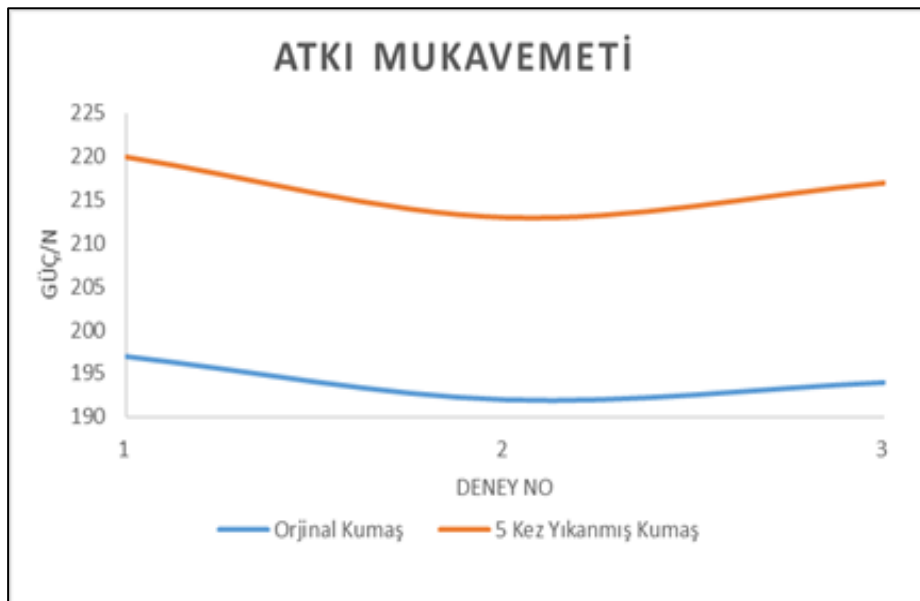
Alev almazlık testinde orijinal PBI-X55 kumaş numunesi doğrudan 10 s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

Test PBI-X55 kumaşdan 5 yıkama sonrası alınan numuneye uygulanmıştır. Doğrudan 10s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

4.3.4. Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvveti testi

Orijinal numune, Atkî yönünde pantolon şeklinde kesilerek Yırtılma mukavemeti test düzeneğinde incelenmiş ve aşağıda grafikte gösterilen sonuçlara ulaşılmıştır.

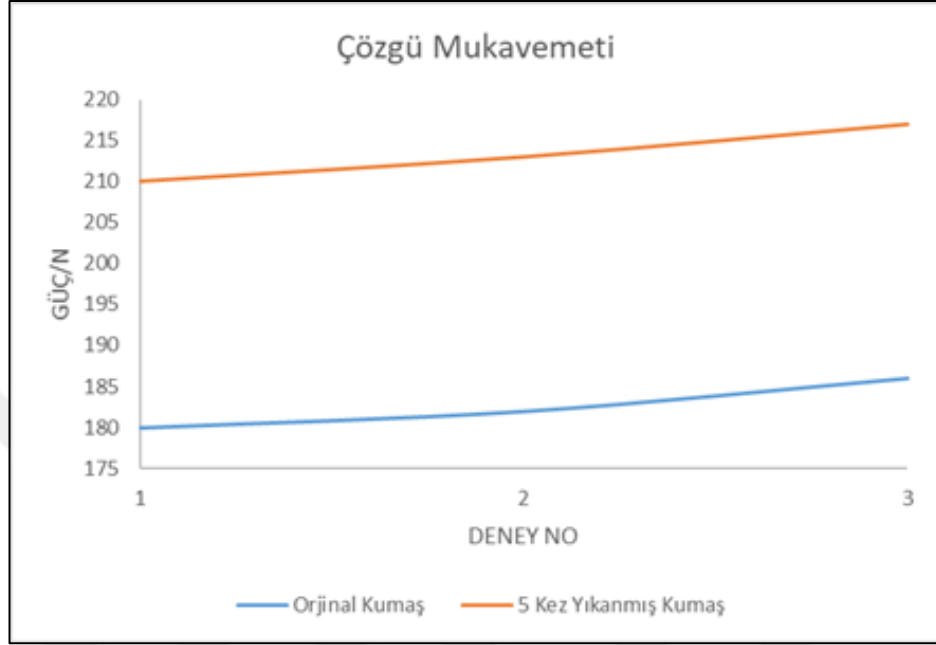
Yapılan testler sonrasında atkî yönünde kumaşın mukavemetinin 192 N ile 197 N arasında olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.19.PBI-X55 kumaş atkî mukavemeti.

Elde edilen veriler incelendiğinde kumaş numunesinin atkı yönünde mukavemetinin ortalama 194,33 N olduğu görülmüştür.

Yapılan testler sonrasında çözgü yönünde kumaşın mukavemetinin 180 N ile 186 N arasında olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.20.PBI-X55 kumaş çözgü mukavemeti.

Elde edilen veriler incelendiğinde kumaş numunesinin çözgü yönünde mukavemetinin ortalama 182,66 N olduğu görülmüştür.

Aynı kumaş 5 kez yıkanarak pantolon şeklinde kesilen numuneler atkı yönünde Yırtılma mukavemeti testine alınmış test sonucunda aşağıdaki tabloda belirtilen veriler elde edilmiştir.

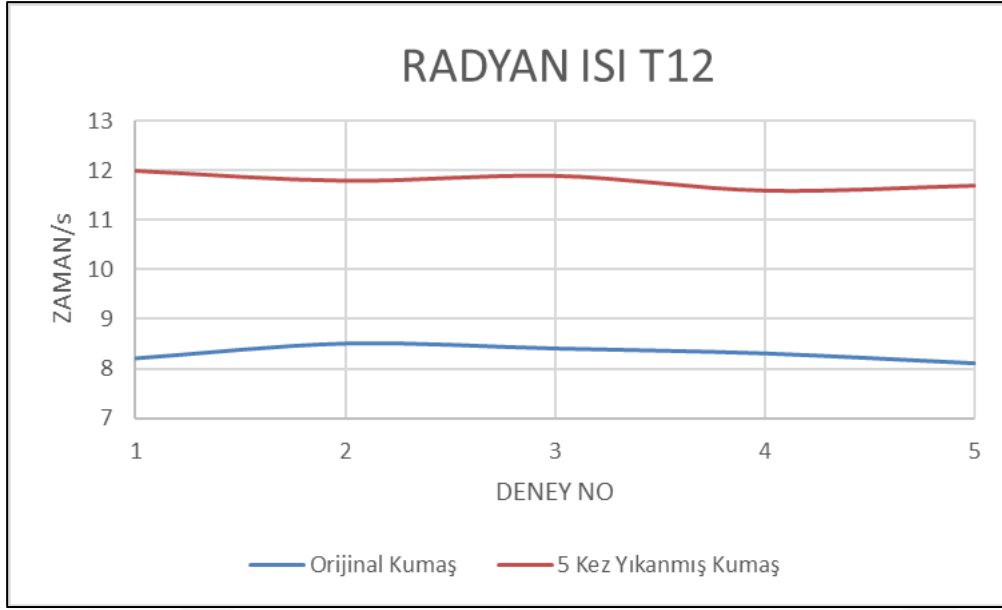
Yapılan testler sonrasında 5 kez yıkanmış kumaşın atkı yönünde mukavemetinin 213 N ile 220 N arasında olduğunu göstermiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde kumaş numunesinin atkı yönünde mukavemetinin ortalama 216,66 N olduğu görülmüştür.

4.4.PBI Gold Ticari İsimli Kumaş Testleri (40% PBI-58% Paraaramid-2% Antistatik)

4.4.1. Radyan ısı transferi deneyi

PBI Gold isimli kumaşın orijinalinden alınan numune Radyan ısı testlerine 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 ve T24 süreçleri izlenmiştir.

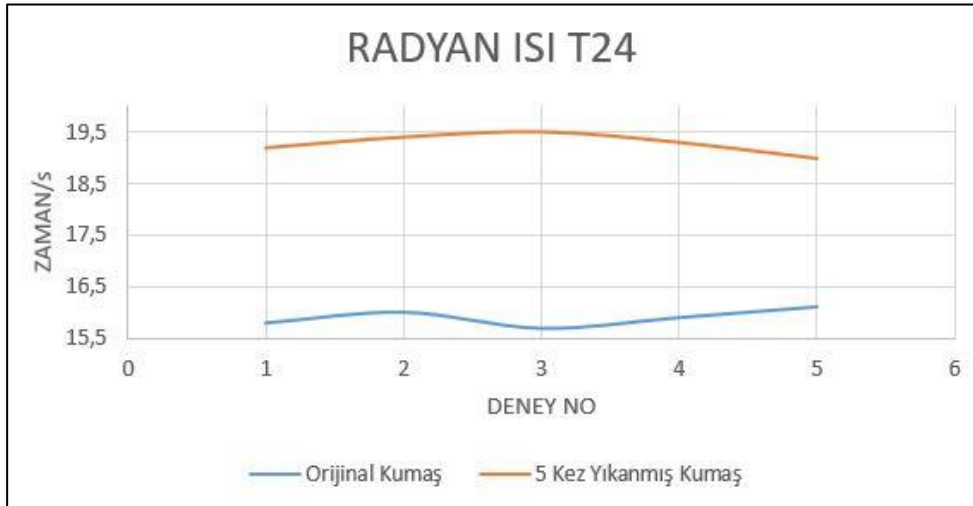


Şekil 4.21. PBI-Gold kumaş Radyan ısı T12 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal PBI-Gold isimli numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 8,3 s olduğu gözlenmiştir.

PBI- Gold isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan enerji testine alınmıştır. Test 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T12 süreçleri izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 11,8 s olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.22. PBI-Gold kumaş Radyan ısı T24 grafiği.

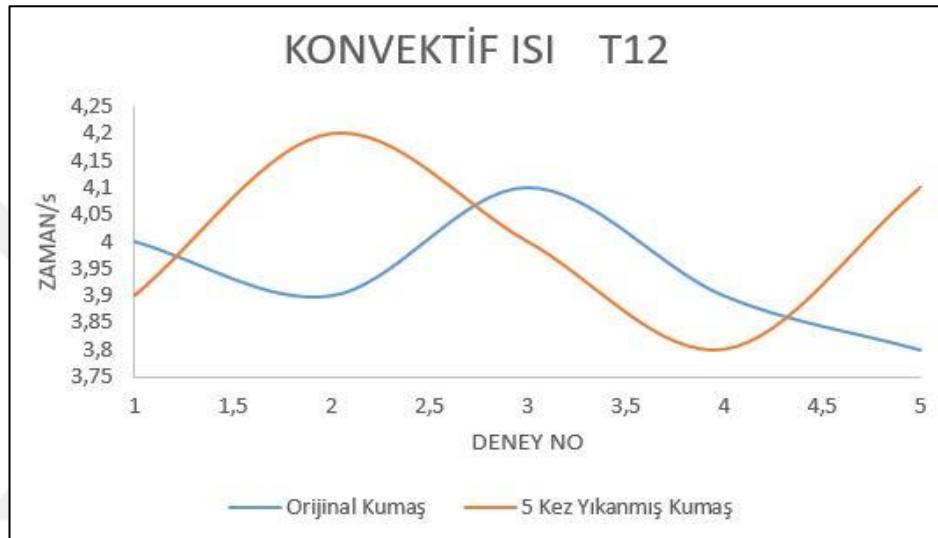
Grafik incelendiğinde orijinal PBI-Gold isimli numunenin Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 15,9 s olduğu gözlenmiştir.

PBI- Gold isimli numune 5 yıkama sonrası Radyan enerji testine alınmıştır. Test 20 KW enerji altında gerçekleştirilmiş, T24 süreçleri izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Radyan ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 19,28 s olduğu gözlenmiştir.

4.4.2. Alevli ısı transferi deneyi

PBI-X55 isimli kumaşın orijinalinden alınan numune Konvektif Isı testinde 80 KW enerji verilmiş T12 süreci, T24 süreçleri izlenmiştir.



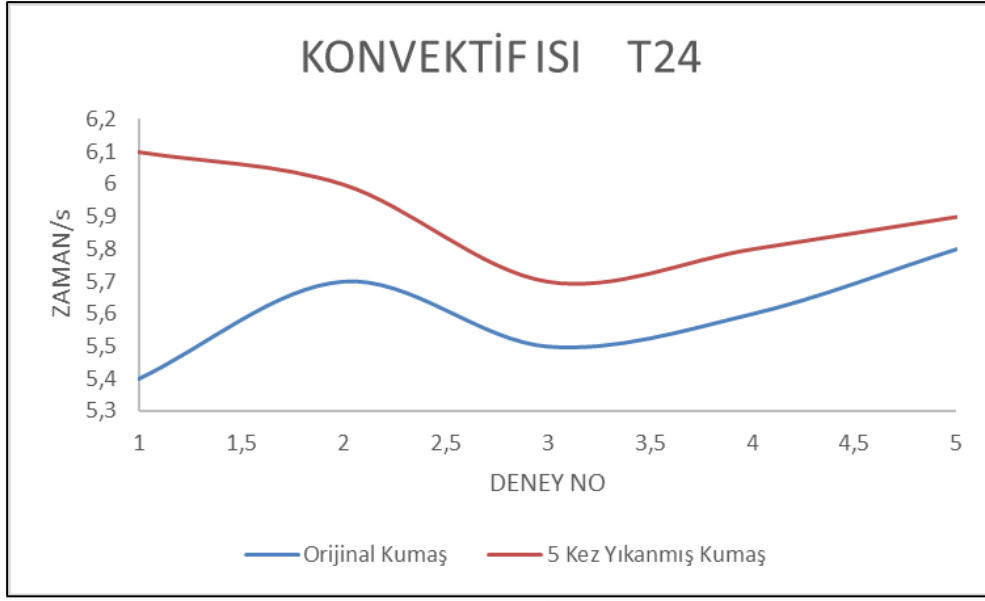
Şekil 4.23. PBI-gold kumaş konvektif ısı T12 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 3,94 s gözlenmiştir.

PBI-Gold isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T12 süreci izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T12 süre ortalamasının 4 s olduğu gözlenmiştir.

PBI-Gold isimli numune Konvektif Isı testine alınmış, Test esnasında 80 KW enerji verilmiş T24 süreci izlenmiştir.



Şekil 4.24.PBI-gold kumaş konvektif ısı T24 grafiği.

Grafik incelendiğinde orijinal numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 5,6 s gözlenmiştir.

PBI-Gold isimli numune 5 yıkama sonrası Konvektif Isı testinde alınmıştır. Test 80 KW enerji verilmiş T24 süreci izlenmiştir.

Grafik incelendiğinde numunenin Konvektif ısı testlerinde T24 süre ortalamasının 5,9 s olduğu gözlenmiştir.

4.4.3. Sınırlandırılmış alev sıçraması testi

Alev almazlık testinde orijinal PBI-Gold kumaş numunesi doğrudan 10 s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

Test PBI-Gold kumaşdan 5 yıkama sonrası alınan numuneye uygulanmıştır. Doğrudan 10s boyunca alev ile teması sağlanmış alevin uzaklaşması ile birlikte yanma gerçekleşmediği ve alevin yürümediği gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çok tehlikeli bir ortamda görev yapmaya çalışan itfaiyeciler müdahale esnasında birçok parametre ile mücadele etmek zorunda kalmaktadırlar. Bu parametreleri minimize etmek için kullandıkları kişisel koruyucu ekipmanlardan hayati öneme sahip olan Yangına yaklaşma giysilerinden seçilen 4 numune çalışmamızda incelenmiştir.

İnovatif bir yaklaşımla yangına yaklaşma elbiseleri içerisinde bulunan elyafların itfaiyecileri yangında esnasında oluşan ısıdan korudukları görülürken PBI elyaflarından dokunmuş kumaşların ısıl kararlılıklarının daha yüksek olmasının yanında yırtılma mukavemetlerinin de fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 5.1. Fire-resist isimli kumaş alev maruziyeti.

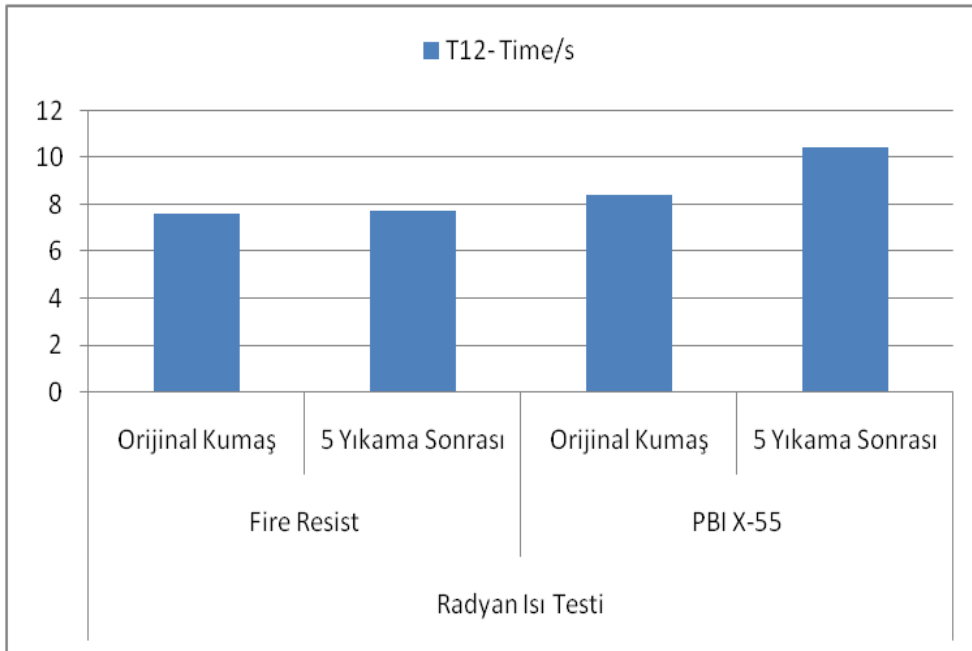
Yanma testlerinin sonuçlarında fire-resist isimli kumaş aleve maruz kaldıktan sonra karbonlaşma gözlenmiş ve kumaş kırılgan bir hale gelmiştir.



Şekil 5.2. PBI X55 isimli kumaş alev maruziyeti.

PBI X55 isimli kumaşta sadece kararma gözlenmiştir.

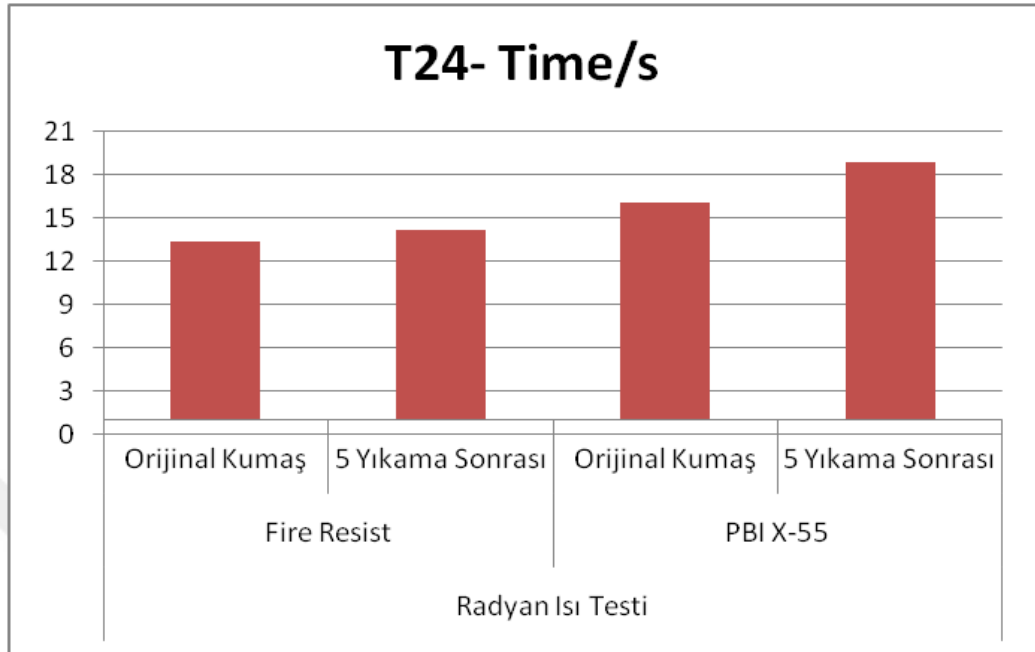
Radyan ısı testlerinde T12 süreleri karşılaştırılacak olursa aşağıdaki grafik elde edilmektedir.



Şekil 5.3. Fire Resist/PBI X-55 numunelerin radyan ısı T12 karşılaştırması.

Grafik incelenecek olursa 5 kez yıkama sonrası yapılan testlerde numunelerin radyan ısıya karşı mukavemetlerinin arttığı görülmektedir.

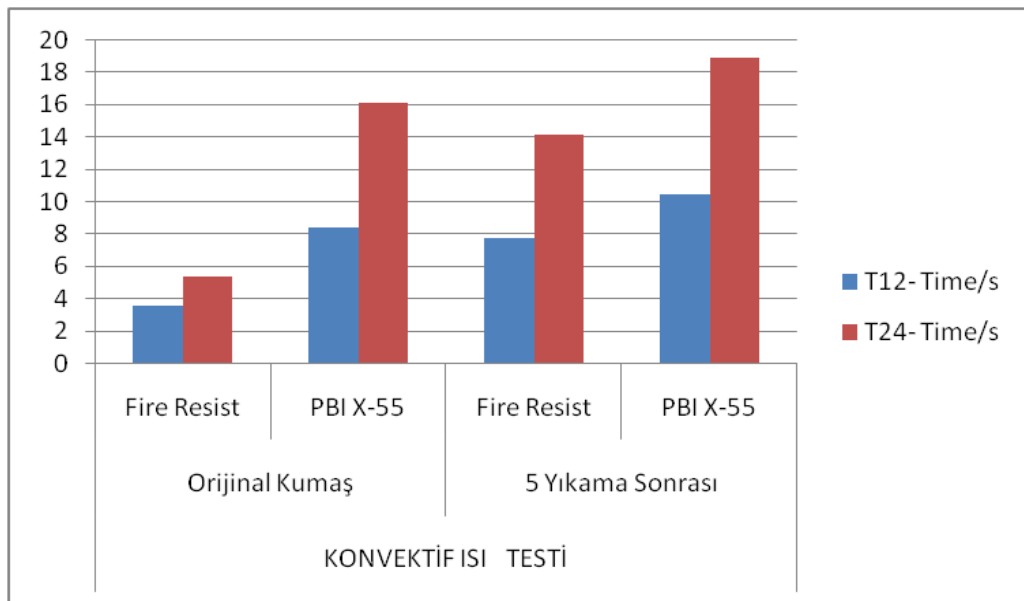
Radyan ısı testlerinde T24 süreleri karşılaştırılacak olursa aşağıdaki grafik elde edilmektedir.



Şekil 5.4. Numunelerin radyan ısı T24 karşılaştırması.

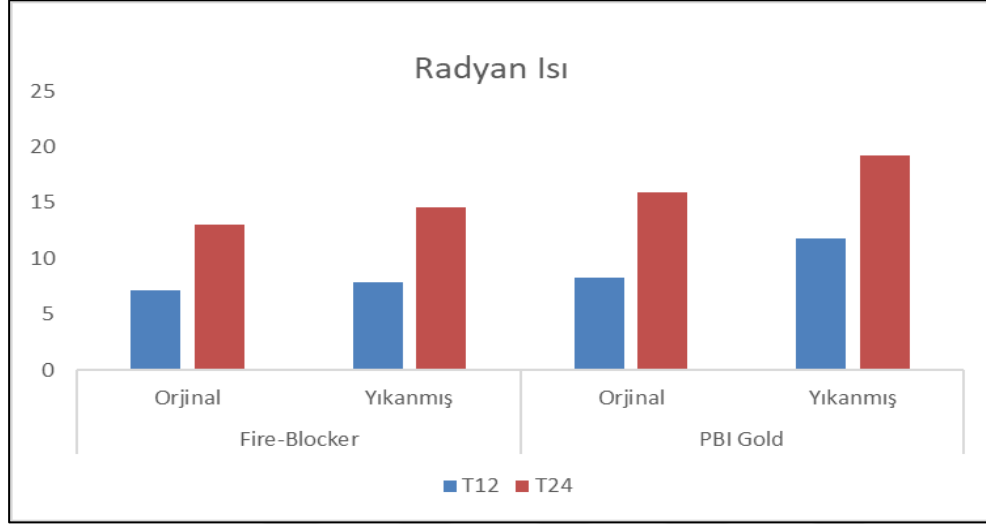
Bu grafiğin incelemesi sonucunda yine 5 yıkama sonrası radyan ısı testlerinde numunelerin performanslarında artış gözlenmiştir.

Konvektif ısı testleri incelendiğinde ise sonuçlar aşağıdaki grafikte incelenmiştir.



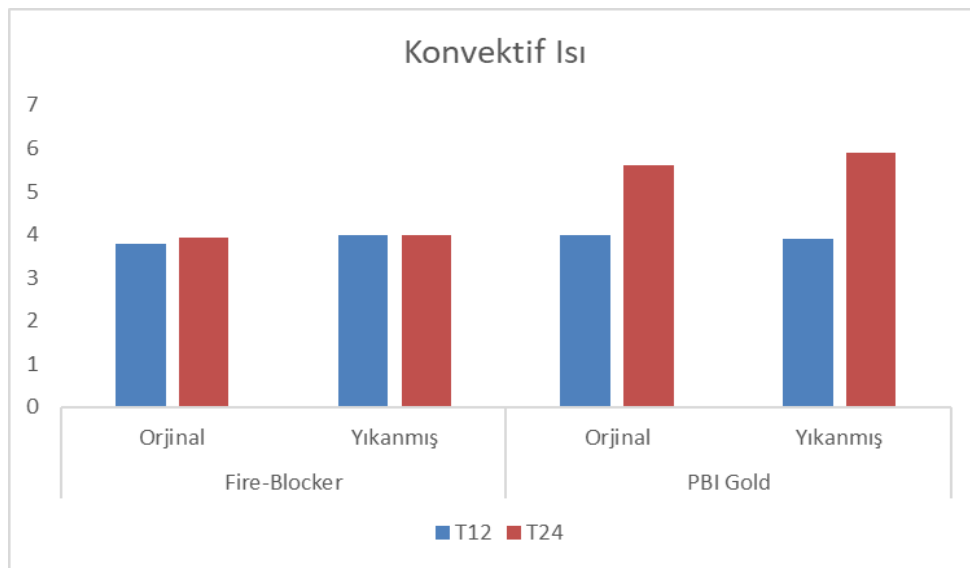
Şekil 5.5. Numunelerin konvektif ısı karşılaştırması.

Grafikler incelenecek olursa yıkama sonrası numunelerin ısı testlerine karşı dayanırlıklarının arttıkları gözlenmiştir. Kumaş numunelerin içerikleri tekrar gözden geçirilecek olursa her iki numunenin içerisinde de paraaramid ve anti statik bulunduğu görülmektedir. Numunelerin testlere karşı verdikleri farklı sonuçların PBI ve metaaramid içeriklerinden kaynaklandığı görülmektedir.



Şekil 5.6. Numunelerin radyan ısı karşılaştırması.

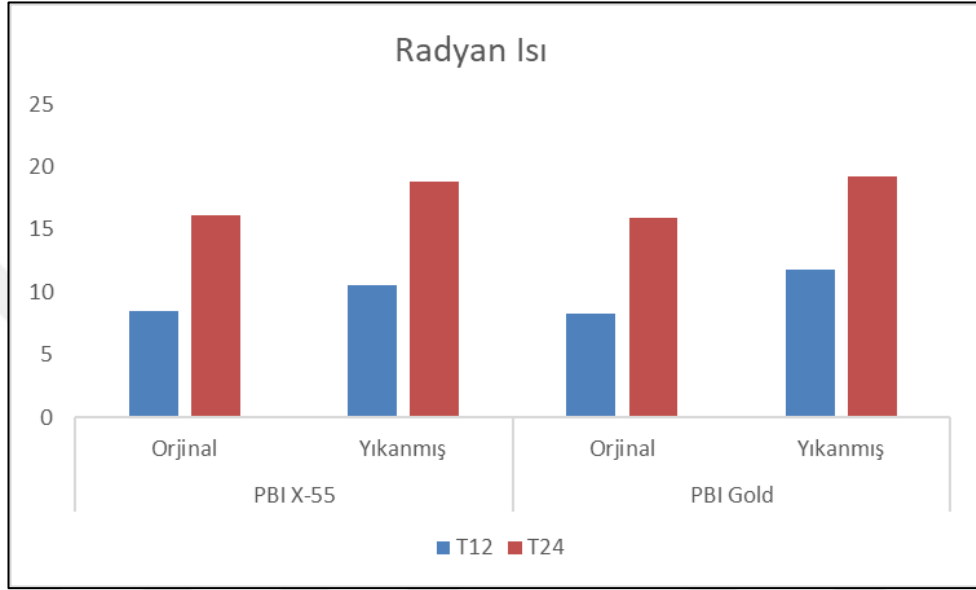
Şekil 5.7 incelendiğinde ise bu kez Fire Blocker isimli kumaş ile PBI Gold isimli kumaşların karşılaştırıldıkları görülmektedir. PBI Gold isimli kumaşın Radyan ısı testlerinde fire Blocker isimli kumaşa göre çok daha yüksek bir performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 5.7. Numunelerin konvektif ısı karşılaştırması.

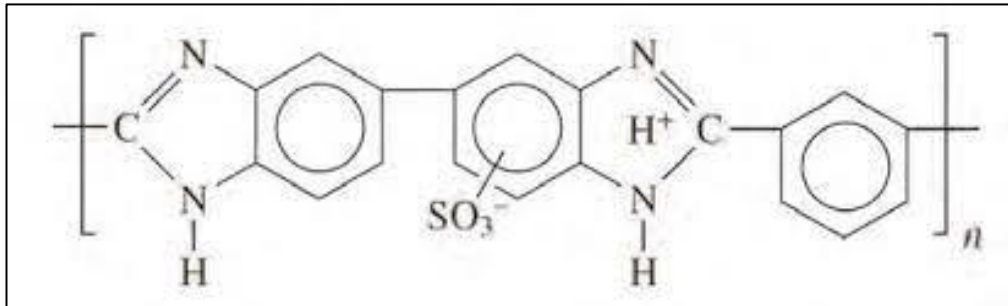
Şekil 5.8 incelendiğinde ise bu kez Fire Blocker isimli kumaş ile PBI Gold isimli kumaşların karşılaştırıldıkları görülmektedir. Konvektif ısı testlerinde T12 süreleri çok hızlı geçildiği için pek ayırt edici bir veri elde edilememiş olsa da T24 süreleri incelendiğinde PBI Gold isimli kumaşın performansının daha iyi olduğu grafikten görülebilmektedir.

PBI temelli numuneler kıyaslandığında ise;



Şekil 5.8. Numunelerin radyan ısı karşılaştırması.

PBI temelli her iki numune arasında çok büyük bir performans farkı bulunmasa da numunelerin yıkama sonrası performanslarındaki artış dikkat çekicidir. Bu performans artışı daha öncede belirttiğimiz gibi polimer yapıda bulunan aromatik moleküllerden kaynaklıdır.



Şekil 5.9. PBI molekülü [21,22,23,24].

Uygulanan LOI (Limit Oksijen İndeksi) testlerinde de görüldüğü gibi yanma için gerekli minimum oksijen miktarı %41 civarındadır [21,25,26,27]. PBI lifinin diğer liflerle karşılaştırıldığında yanmaya oldukça dayanıklı bir lif olduğu görülmektedir.

LOI (Limit Oksijen İndeks) değeri polimerlerin kimyasal yapıları ile yakından ilgilidir. LOI değeri molekül içerisindeki H-C gibi oksitlenebilir atom ya da moleküllerin varlığı artıkça azalmaktadır yani yanması için ihtiyaç duyduğu minimum oksijen miktarı daha az olmaktadır. Polibenzimidazol liflerinin de aralarında bulunduğu aromatik yapıli malzemelerin ise yanmaya dayanıklı olduğu ve LOI değeriinin yüksek olduğu gözlemlenmektedir [21,28,25].

Sonuç olarak çalışmamızdan elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Çalışmamızda elde ettiğimiz verilere dayanarak ısıl kararlılığı yüksek elyaflardan yapılan yangına yaklaşı elbiselerinin koruyucu etkisinin daha fazla olduğu bu etkiyi sağlayan elyafların kumaşlar içerisinde oranlarının imkânlar ölçüsünde artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Kumaşlar içerisinde bulunan metaaramid elyafların yerine PBI elyaflarının kullanımının artırılması gerekliliğini vurgularken tamamlayıcı elyaf olarak paraaramid yerine daha etkin modifiye edici elyafların denenmesi ve kumaş performans özelliklerinin artırılması sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Stowell, M., Frederick, Essentials of Fire Fighting and Fire Department Operations Sixth Edition, Oklahoma State University Fire Protection Publications, 207, 2015.
- [2] Kutlu B. Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu // 29-30 Eylül 2022 sy. 279-285
- [3] Shakeriaski, F., Ghodrat, M., 2022. Challenges and limitations of wearable sensors used in firefighters' protective clothing, Journal of Fire Sciences, 40(3), 214-245.
- [4] Hertleer, C., Odhiambo, S., Van Langenhove, L. 2013. Protective Clothing for Firefighters and Rescue Workers, in *Smart Textiles for Protection*, Woodhead Publishing, Cambridge, ISBN: 978-0-85709-056-0
- [5] Stollard, P., Abrahams, J., Fire from First Principles, 4-5, 1999.
- [6] Akpınar, Ö., Türkiye’de Yangın Sigortaları ve Uygulamaları, 21-22, 2018
- [7] Akpınar, Ö., Türkiye’de Yangın Sigortaları ve Uygulamaları, 21-22, 2018
- [8] Mammacıoğlu, O., Coşkun, G., Soyhan, H., S., (2017) Su ile karışmayan yağ (B, F, K Sınıfı) yangınlarda yangın söndürme cihazının doğru kullanımı, Uluslararası yakıtlar yanma ve yangın dergisi, 5, 19-23. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/fce>.
- [9] TS EN 2, 1998
- [10] YEŞİLATA, Bülent. Isı Transferi, Ders Kitapları Serisi-2, 1, 2007
- [11] Prof. Dr. Soyhan, H., Serhad, Özkalay, Cemil, Can, Kadir, Mammacıoğlu, Onur, Yangın ve Yaşam, Cenevre Yayınları, 81-82, 2018.
- [12] Gürü M., Yalçın H., Malzeme Bilgisi, 2. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2006
- [13] Kutlu, B., (2002), “Isıya Dayanıklı ve Isıdan Koruyucu Giysilerin Termal Analizi ve Performans Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.
- [14] Kayan S., (2004), Tekstil Materyallerinin Yanma Mekanizması ve Limit Oksijen İndeks Değerleri, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [15] Kalaycı E, Avinç O, Yavaş A (2014). Polibenzimidazol (PBI) Lifleri. Tekstil ve Mühendis, 21(96), 52 – 67
- [16] Hearle J.W., (2001), High-Performance Fibres, CRC Press, Cambridge.
- [17] Saçak M. Polimer Kimyasına Giriş, 18-19, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No:50, Ankara, 1998
- [18] Saçak M. Polimer Kimyasına Giriş, 18-19, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No:50, Ankara, 1998

- [19] https://cdn2.hubspot.net/hubfs/3475623/Imported_Blog_Media/Whats-Inside-Your-Turnout-Gear-2.jpg adresinden 23.Aralık.2022 tarihinde alınmıştır.
- [20] <https://kivancgroup.com/itfaiyecilerbisesi/alexus-832265/> adresinden 15 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- [21] Kalaycı E, Avinç O, Yavaş A (2014). Polibenzimidazol (PBI) Lifleri. Tekstil ve Mühendis, 21(96), 52- 67.
- [22] Hearle J.W., (2001), High-Performance Fibres, CRC Press, Cambridge. Çukurova University, Adana
- [23] Scott R.A., (2005), Textiles for Protection, CRC Press, Cambridge.
- [24] Karmakar S.R., (1999), Chemical Technology in the PreTreatment Processes of Textiles, Elsevier, Amsterdam.
- [25] Zengin İ., (2000), Isıya ve Alev Dayanıklı Lifler, Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanlarına Göre Karşılaştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [26] Ülger B., (2012), Yeni Nesil Teknik Lifler (Karbon, LeinzinFr, Metaaramid, Paraaramid) Kullanılarak Özellikli İpliklerin Üretimi ve Kalite-Maliyet Analizi,
- [27] Schindler W.D., Hauser P.J., (2004), ChemicalFinishing of Textiles, Elsevier, Cambridge.
- [28] Hutten I.M., (2007), Handbook of NonwovenFilter Media, Elsevier, Oxford.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Muhammed Fatih ASLAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2014, Anadolu Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Kamu Yönetimi
- **Lisans** :2021, İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2011 yılları arasında Ankara Büyükşehir Belediyesin’de itfaiye eri olarak çalıştı.
- 2011-2019 yılları arasında Malatya Büyükşehir Belediyesin’de itfaiye Eri olarak çalıştı.
- 2019 yılından itibaren Malatya Turgut Özal Üniversitesi Doğanşehir Vahap Küçük Meslek Yüksekokulu uhdesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.