

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANTİBAKTERİYEL BOR BİLEŞİKLERİNİN TEKSTİL
ÜRÜNLERİNE UYGULANABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN ENES ALTINOK

DENİZLİ, NİSAN - 2024

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ANTİBAKTERİYEL BOR BİLEŞİKLERİNİN TEKSTİL
ÜRÜNLERİNE UYGULANABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HÜSEYİN ENES ALTINOK

DENİZLİ, NİSAN - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

HÜSEYİN ENES ALTINOK

ÖZET

**ANTİBAKTERİYEL BOR BİLEŞİKLERİNİN TEKSTİL ÜRÜNLERİNE
UYGULANABİLİRLİĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HÜSEYİN ENES ALTINOK
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. DENİZ AKIN ŞAHBAZ)
(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. METİN GÜRÜ)
DENİZLİ, NİSAN - 2024**

Tekstil sektörü ülkemizde önemli sektörlerden olup, gelişen teknoloji ve artan talepler doğrultusunda hızla büyümektedir. Bu büyümeyle birlikte rekabet artmakta, nitelikli ürün üretimi önem kazanmaktadır. Tekstilde kumaşa kazandırılan güç tutuşurluk, su geçirmezlik, antibakteriyellik gibi özellikler bu nitelikler arasındadır. Bu çalışmada antibakteriyel olduğu bilinen sodyum perborat tetrahidrat ve boraks dekahidrat 10, 20 ve 30 g/L derişimde %100 pamuk kumaşa uygulanmıştır. Uygulama yapılan kumaş numunelerinin kimyasal bağ yapıları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR), yüzey morfolojileri ve kumaş yüzeyinde bor element dağılımı ise Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Ray Spektroskopisi (EDX), ısı davranışları Simültane Termal Analiz (STA) ile incelenmiştir. Numunelerin yıkama dayanımlarını incelemek ve karşılaştırmak için SEM-EDX, FTIR, mukavemet, hidrofilit, pH analizleri ve beyazlık indis ölçümleri yapılmıştır. SEM-EDX analiz sonuçları incelendiğinde, kumaş üzerinde kütlece %9-9,5 oranında borun homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu bor miktarı yıkama sonunda kumaş üzerinde benzer oranda kalmaktadır. Antibakteriyel analizler ASTM 2149 metoduna göre Methicillin-resistant Staphylococcus aureus ATCC 43300 (MRSA) ve Escherichia coli ATCC 8739 (E. coli) üzerinde yapılmıştır. Yaklaşık pH 9 değerinde olan numunelerin belirli oranda antibakteriyel aktivite gösterdikleri görülmüştür. Bu değer en fazla MRSA için %49'dur. Fakat yıkama sonrası pH değeri 7'ye yaklaşan numunelerde E.coli için %80 üzerinde antibakteriyel aktivite tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Tekstil, Antibakteriyel, Perborat, Boraks, MRSA, E.coli

ABSTRACT

APPLICABILITY OF ANTIBACTERIAL BORON COMPOUNDS TO TEXTILE PRODUCTS

MSC THESIS

HÜSEYİN ENES ALTINOK

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CHEMICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC.PROF.DR. DENİZ AKIN ŞAHBAZ)

(CO-SUPERVISOR: PROF.DR. METİN GÜRÜ)

DENİZLİ, APRIL 2024

The textile industry is one of the important sectors in our country and is growing rapidly in line with developing technology and increasing demands. With this growth, competition increases and the production of qualified products gains importance. In textile, properties such as flame retardancy, water proofness and antibacterial properties imparted to the fabric are among the sought-after qualities. In this study, sodium perborate tetrahydrate and borax decahydrate, which are known to be antibacterial, were applied to 100% cotton fabric at 10, 20 and 30 g/L concentrations. The chemical bond structures of the applied fabric samples were examined by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR), surface morphologies and boron element distribution on the fabric surface were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX), thermal behavior was examined by Simultaneous Thermal Analysis (STA), SEM-EDX, FTIR, strength, hydrophilicity, pH analyzes and whiteness indices measurement were performed to examine and compare the washing resistance of the samples. When the SEM-EDX analysis results were examined, it was seen that 9-9.5% boron by mass was distributed homogeneously on the fabric. This amount of boron remains on the fabric at a similar rate after washing. Antibacterial analyzes were performed on Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MRSA) and *Escherichia coli* ATCC 8739 (*E. coli*) according to the ASTM 2149 method. It was observed that samples with a pH value of approximately 9 showed a certain amount of antibacterial activity. This value is at most 49% for MRSA. However, over 80% antibacterial activity for *E.coli* was detected in samples with a pH value approaching 7 after washing.

KEYWORDS: Textile, Antibacterial, Perborate, Borax, MRSA, *E.coli*

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. BOR VE BOR BİLEŞİKLERİ	3
2.1 Boraks Dekahidrat	5
2.2 Sodyum Perborat Tetrahidrat	6
3. TEKSTİLDE ANTİBAKTERİYEL UYGULAMALAR VE ÖNEMİ	8
3.1 Bakteri Üremesinin Farklı Tekstil Liflerine Göre Değerlendirilmesi ..	8
3.1.1 Sentetik Elyaflar	8
3.1.2 Doğal Elyaflar	10
4. BOR BİLEŞİKLERİNİN ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLERİ VE TEKSTİL SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI	13
4.1 Antibakteriyel Bor Bileşiklerinin Tekstil Üzerindeki Etkileri	14
5. YÖNTEM	19
5.1 Materyal.....	19
5.2 Tez Çalışmasında Kullanılan Cihazlar	21
5.3 Tekstil Numunelerinin Hazırlanması	25
5.3.1 Yakma	25
5.3.2 Haşıl Sökme	26
5.3.3 Sıcak Kasar	26
5.3.4 Merseerize	27
5.4 Bor Bileşiklerinin Pamuklu Kumaş Numunelerine Uygulanması.....	28
5.5 Bor Bileşikleri Uygulanmış Kumaşların Yıkama Dayanım Analizi ..	29
5.6 SEM-EDX Analizi	29
5.7 FTIR Analizi.....	30
5.8 TGA Analizleri	30
5.9 Kopma ve Yırtılma Mukavemet Testi.....	30
5.10 Kumaşlarda pH Tayini	31
5.11 Kumaşlarda Hidrofilite Tayini	31
5.12 Kumaşlarda Beyazlık İndisi Ölçümü	31
5.13 Kumaşlarda Antibakteriyel Özellik Tayini	32
6. BULGULAR	33
6.1 Bor Bileşikleri Uygulanmış Numunelerin SEM Görüntüleri.....	33
6.2 SEM Haritalama Görüntüleri ve Grafikler	36
6.3 FTIR Analiz Sonuçları	51
6.4 TGA ve Sonuçları.....	53
6.5 Mukavemet, pH ve Hidrofilite Sonuçları	55
6.6 Beyazlık İndis Ölçüm Sonuçları.....	56
6.7 Antibakteriyel Aktivite Sonuçları	57

6.8	Tekstil Uygulamalarında Kullanılan Bazı Antibakteriyel Kimyasalların Maliyetleri	59
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	61
8.	KAYNAKLAR.....	65
9.	ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1: Nanobor konsantrasyonunun <i>E. Coli</i> koloni sayısı üzerindeki 5 saatlik etkisi	15
Şekil 4.2: Nanobor konsantrasyonunun MRSA koloni sayısı üzerindeki 5 saatlik etkisi	16
Şekil 4.3: Nanobor konsantrasyonunun <i>V. Kolera</i> koloni sayısı üzerindeki 5 saatlik etkisi.....	16
Şekil 5.1: Kumaş yakma işlemi	25
Şekil 5.2: Örnek haşıl sökme işlemi	26
Şekil 6.1: İşlem uygulanmamış referans pamuklu kumaş numunesi (PK) SEM görüntüsü.....	33
Şekil 6.2: Sodyum perborat ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesi SEM görüntüleri (a) PK_10NaBO ₃ , (b) PK_20NaBO ₃ , (c) PK_30NaBO ₃ , (d) PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC	34
Şekil 6.3: Sodyum perborat ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama sonrası SEM görüntüleri (a) PK_30NaBO ₃ (b) PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC	34
Şekil 6.4: Boraks ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesi SEM görüntüleri (a) PK_10Na ₂ B ₄ O ₇ , (b), PK_20Na ₂ B ₄ O ₇ , (c) PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ , (d) PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC	35
Şekil 6.5: Boraks ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama sonrası SEM görüntüleri (a) PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ (b) PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC	36
Şekil 6.6: PK SEM haritalama görüntüsü.....	36
Şekil 6.7: PK numunesine ait EDX grafiği.....	37
Şekil 6.8: PK_10NaBO ₃ SEM haritalama görüntüsü	38
Şekil 6.9: PK_10NaBO ₃ numunesine ait EDX grafiği	38
Şekil 6.10: PK_20NaBO ₃ SEM haritalama görüntüsü	39
Şekil 6.11: PK_20NaBO ₃ numunesine ait EDX grafiği	39
Şekil 6.12: PK_30NaBO ₃ SEM haritalama görüntüsü	40
Şekil 6.13: PK_30NaBO ₃ numunesine ait EDX grafiği	40
Şekil 6.14: Yıkama sonrası PK_30NaBO ₃ SEM haritalama görüntüsü	41
Şekil 6.15: Yıkama sonrası PK_30NaBO ₃ numunesine ait EDX grafiği	41
Şekil 6.16: PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü	42
Şekil 6.17: PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği	42
Şekil 6.18: Yıkama Sonrası PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü.....	43
Şekil 6.19: Yıkama sonrası PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği.....	43
Şekil 6.20: PK_10Na ₂ B ₄ O ₇ SEM haritalama görüntüsü	44
Şekil 6.21: PK_10Na ₂ B ₄ O ₇ numunesine ait EDX grafiği.....	44
Şekil 6.22: PK_20Na ₂ B ₄ O ₇ SEM haritalama görüntüsü.....	45
Şekil 6.23: PK_20Na ₂ B ₄ O ₇ numunesine ait EDX grafiği.....	45
Şekil 6.24: PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ SEM haritalama görüntüsü.....	46
Şekil 6.25: PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ numunesine ait EDX grafiği.....	46
Şekil 6.26: Yıkama sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ SEM haritalama görüntüsü.....	47

Şekil 6.27: Yıkama sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ numunesine ait EDX grafiği.....	47
Şekil 6.28: PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü	48
Şekil 6.29: PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği	48
Şekil 6.30: Yıkama sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü.....	49
Şekil 6.31: Yıkama sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği.....	49
Şekil 6.32: PK(a), PK_30NaBO ₃ (b) ve yıkama sonrası PK_30NaBO ₃ (c) numunelerine ait FTIR grafiği	51
Şekil 6.33: PK(a), PK_30 Na ₂ B ₄ O ₇ (b) ve yıkama sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ (c) numunelerine ait FTIR grafiği	52
Şekil 6.34: PK(a), PK_30NaBO ₃ (b), PK_30 Na ₂ B ₄ O ₇ (c) numunelerine ait TGA termogramları.....	53
Şekil 6.35: PK(a), PK_30NaBO ₃ (b), PK_30 Na ₂ B ₄ O ₇ (c) numunelerine ait DTG grafiği.....	54
Şekil 6.36: CIE renk uzayının gösterimi.....	57

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Bor elementinin özellikleri	3
Tablo 2.2: Boraks dekahidrat kimyasal ve fiziksel özellikleri	5
Tablo 2.3: Boraks dekahidratın sıcaklığa göre çözünürlük değerleri.....	6
Tablo 2.4: Sodyum perborat tetrahidratın fiziksel ve kimyasal özellikleri	7
Tablo 2.5: Sodyum perborat tetrahidratın sıcaklığa göre çözünürlük değerleri.	7
Tablo 4.1: Bor bileşiklerinin MİK değerleri	14
Tablo 4.2: Numune konsantrasyonlarına göre inhibisyon bölge çap değerleri	18
Tablo 4.3: Numunelere göre 5 yıkama sonrası inhibisyon bölge çap değerleri.....	18
Tablo 5.1: Boraks dekahidrat ve sodyum perborat tetrahidrata ait fiziksel özellikler.....	19
Tablo 5.2: Tez çalışmasında kullanılan kimyasal maddeler ve yapıları	20
Tablo 5.3: Tez çalışmasında kullanılan cihazlar	21
Tablo 5.4: Kumaş numunelerinin adlandırılması.....	28
Tablo 5.5: Hazırlanan bor çözeltilerinin özellikleri	29
Tablo 6.1: SEM-EDX kütlece element oranları	50
Tablo 6.2: Tekstil numunelerine bor bileşiklerinin ve yıkamanın etkisi.....	55
Tablo 6.3: Beyazlık indisi ve renk koordinat değerleri.....	56
Tablo 6.4: İşlem görmemiş pamuklu kumaşın MRSA üzerindeki antibakteriyel etkisi	57
Tablo 6.5: Yıkama öncesi numunelerin MRSA üzerindeki antibakteriyel etkisi	58
Tablo 6.6: Yıkama sonrası numunelerin MRSA üzerindeki antibakteriyel etkisi	58
Tablo 6.7: İşlem görmemiş pamuklu kumaşın E. coli üzerindeki antibakteriyel etkisi	58
Tablo 6.8: Yıkama öncesi numunelerin E. coli üzerindeki antibakteriyel etkisi	59
Tablo 6.9: Yıkama sonrası numunelerin E. coli üzerindeki antibakteriyel etkisi	59
Tablo 6.10: Antibakteriyel kimyasallara ait birim fiyatlar.....	60

SEMBOL LİSTESİ

MİK	: Minimal İnhibisyon Konsantrasyonu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	: Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
STA	: Simultane Termal Analiz
TGA	: Termogravimetrik Analiz
PK	: Pamuklu Kumaş
N	: Newton
g	: Gram
L	: Litre
mL	: Mililitre
°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
Ne	: İplik numarası
dk	: Dakika

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca akademik gelişimime büyük katkı sağlayan, çalışmalarında desteğini esirgemeyen, danışmanım Doç. Dr. Deniz AKIN ŞAHBAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimim boyunca tüm bilgi ve birikimiyle yol gösteren, kimya mühendisliğini bana sevdiren, mesleki motivasyonumu sürekli yenilememi sağlayan eş danışmanım Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın FTIR ve TGA analizlerinde yardımcı olan Pamukkale Üniversitesi İleri Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (İLTAM) ekibine, SEM-EDX analizlerinde yardımcı olan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (MERLAB) ekibine, antibakteriyel analizlerinde yardımcı olan Ege Üniversitesi Fen Fakültesi EGEMİKAL Çevre Sağlığı Laboratuvarı ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Mesleğimi uzun bir süre icra ettiğim, çalışmada ihtiyacım olan malzeme tedarikini sağlayan ve kalite kontrol test laboratuvarı imkanlarını sunan Rateks Baskı Boya A.Ş.'ne, yöneticilerime ve ekip arkadaşlarıma bu süreçte bana destek oldukları için teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Ülkemizin üretim alanında en önde gelen sektörlerinden olan tekstil sektörü, gelişen teknolojiyle birlikte yün ve pamuk temelli ürünlerin dışında polyester, naylon, viskon gibi doğal ve sentetik ürünlerin de üretilmesini sağlamaktadır. Hammaddeden ürüne kadar olan süreç, iplik elyaflarının üretiminden başlayarak iplik üretimi, iplik boyama, dokuma, örme, baskı ve boyama, konfeksiyon gibi birçok üretim hattıyla devam etmektedir.

Sektörün özellikle baskı ve boyama hattındaki üretim teknikleri, tekstil ve kimya alanlarını doğrudan ilgilendiren tekniklerdir. Kumaşların baskı veya boyanmalarıyla birlikte bu işlemlere hazırlanması, baskı ve boyama işlemlerinden sonra istenilen kalite standartlarında nihai ürün haline getirilmesi tekstil boyahanelerinde yapılmaktadır.

Dokuma bir kumaş için genel boyahane süreci incelendiğinde sodyum hidroksit, hidrojen peroksit gibi ana kimyasalların kumaşı beyazlatmak, dolgun ve parlak yüzey görünümü elde etmek ve hidrofıl özellik kazandırmak amacıyla ön işlemlerde kullanıldığı bilinmektedir. Bununla birlikte birçok boyarmadde elyafla kimyasal veya fiziksel bağ yaparak baskı ve boyama işlemlerinde kullanılmakta, nihai ürüne hidrofillek, su iticilik, yanmazlık, yumuşaklık ve antibakteriyellik vb. sağlayan kimyasal materyaller bitim işlemlerinde kullanılmaktadır.

Farklı boya ve kimyasallar tekstil materyallerine çektirme, baskı, emdirme gibi yöntemlerle uygulanabilmektedir. Dokuma kumaşlarda en çok uygulanan yöntemlerden biri ise emdirme yöntemidir. Bu yöntemde boya veya kimyasal çözeltisiyle dolu bir tekneye daldırılan kumaş, sıkma silindirlerinden belirli bir sıkma basıncıyla geçirilir. Sonrasında ise gerekirse belirli sıcaklıkta yıkanıp kurutularak işlem tamamlanmış olur.

Günümüzde her sektörde olduğu gibi tekstil sektöründe de gelişen uygulama metotlarıyla birlikte nihai ürünlerde birçok özellikler beklenmektedir. Bu nedenle ürün geliştiriciler tarafından tekstil ürünlerine su iticilik, yanmazlık, antibakteriyellik

gibi özellikler kazandıran birçok kimyasal madde geliştirilmektedir. Bu kimyasallar da özellikle dış giyim kumaşlarına emdirme yöntemiyle uygulanmaktadır.

Dünya üzerinde artan nüfusla birlikte salgın hastalıklarda da artış görülmektedir. Özellikle salgın dönemlerinde insanlar kişisel hijyen ürünlerine yönelmenin yanında günlük hayatta kullandıkları kıyafetlerin de antibakteriyel özellikte olmasını beklemektedir. Bunun yanında sağlık sektöründe de birçok antibakteriyel özellikte tekstil materyali kullanılmaktadır. Kumaşlara bu özelliği kazandıran gümüş etken maddeli birçok ticari ürün kullanılmaktadır. Fakat gümüşün ağır metal elementi olmasından dolayı alternatif ürün geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarda deterjan, dezenfektan gibi temizlik ürünlerinde kullanılan bor bileşiklerinin de tekstil ürünlerine uygulanabildiği ve belirli düzeyde antibakteriyellik kazandırdığı görülmektedir.

Bu çalışmada hem sektöre hem de literatüre katkı sağlamak için boraks ve perborat bileşiklerinin kumaşa uygulanarak antibakteriyellik özellik kazandırılması amaçlanmıştır.

2. BOR VE BOR BİLEŞİKLERİ

Periyodik tablonun 5. elementi olan bor, hidrojen, lityum, helyum ve berilyumdan sonra gelen IIIA grubu elementidir. Grubundaki diğer elementler gibi bazı metalik özelliklere sahip olsa da bu elementlere kıyasla bir yarı iletken ve metaloid (yarı metal) olarak kabul edilir. Bor, kimyasal özellikleri bakımından diğer IIIA grubu elementlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu bakımdan daha çok silisyum ve karbonu anımsatmaktadır (Yünlü 2016).

Tablo 2.1: Bor elementinin özellikleri (Yünlü 2016).

Element Özellikleri	
Atom Ağırlığı (g/mol)	10.811
Atom Numarası	5
Elektron Düzeni	$1s^2 2s^2 2p^1$
Kaynama Noktası (°C)	3660
Erime Noktası (°C)	2200
Yoğunluğu (g/cm ³)	2.34

Bor zengin kimyası sayesinde organik ve inorganik kimya, metalurji ve malzeme bilimlerindeki ürün gruplarına sahiptir. Başlıca ürün grupları ise şunlardır:

- **Bor Okso Bileşikleri:** Bor-oksijen (B-O) bağımlı içeren bor okso bileşikleri, en yaygın ürün gruplarından biridir. Bor minerallerinin tamamı bu grup içerisinde. B-O ve B-C bağlarını içeren boronik ve borinik asitlerle birlikte, borik asit, borat esterler, boratlar, bor trioksit bu grupta bulunmaktadır. Bu bileşikler yaygın bir şekilde endüstriyel olarak üretilir ve kullanılır.
- **Borhidrürler:** Bor-hidrojen (B-H) bağımlı içeren borhidrürler, (C-H) bağlarına sahip hidrokarbonlar gibi doğada bulunmazlar. Boran (BH₃) veya diboran (B₂H₆) en bilinen örneklerdir.

- **Bor Halojenürler:** Bor halojenür bileşiklerinde F, Cl ve Br önemli halojenlerdir. Oldukça reaktif bileşikler olan bor halojenürler, katalizör ve yarı iletken katkı maddesi olarak organik sentez ve polimerizasyonlarda kullanılmaktadır.
- **Bor-N Bileşikleri:** Bu grupta genel olarak B-N bağı olan bileşikler veya azot bileşiklerinin bor ile eklenti kompleksleri oluşturduğu maddeler bulunmaktadır. Bu borazinler de yine bu grup ürünlerindedir.
- **Bor-S ve Bor-Se Bileşikleri:** Boroksinlerdeki O atomu yerine S atomu almış olan bor sülfür (B_2S_3) ve bor selenür (B_2Se_3) bu gruba örnek olarak verilebilir.
- **Bor-P ve Bor-As Bileşikleri:** Yine boroksinlerdeki gibi O atomu yerine fosfor(F) atomunun yer aldığı borofanlar, bor fosfür (BP) ve fosfin boranları örnek olarak gösterebiliriz. Bununla birlikte B-As bağı içeren bileşikler geliştirilmiştir ve bunların arasında bor arsenür (BAs) gösterebilir.
- **Organobor Bileşikleri:** Karbon atomunun bir organik liganda bağlı olan trialkil boran veya triaril boranlar organobor bileşikleri grubunda yer almaktadır.

Bu ürünlerin yanı sıra bor karbür (B_4C), bor nitrür (BN), elementel bor (B) ve metalborür (M_xB_y) gibi malzemeler refrakter özellik göstermektedir. Bu malzemeler sert, kuvvetli, sıcaklığa ve aşınmaya dirençli, yüksek erime noktasına sahip ürünler olup ileri malzeme geliştirmelerinde kullanılmaktadır (Yünlü 2016).

Bor okso bileşikleri içerisinde yer alan boraks dekahidrat ve sodyum perborat tetrahidrat endüstriyel olarak üretilen ve kullanılan başlıca bor bileşiklerindedir.

2.1 Boraks Dekahidrat

Doğada boraks minerali (tinkal) olarak bulunan boraks dekahidrat ticari olarak en önemli boratlardan biridir. Boraks dekahidrat sulu çözeltilerinden monoklinik prizmalar şeklinde kristallenir. Kristal yapısı kristalizasyon şartlarının değiştirilmesi ve farklı katkı maddeleri ile değiştirilebilir. Boraks dekahidratlar sodyum borat cevherlerinden üretilmektedir. ABD, Türkiye ve Arjantin sodyum borat cevherinin üretildiği ülkelerdir. Türkiye’ de Eskişehir-Kırka’ da bu tinkal cevheri işlenebilmektedir. Cevherler öğütüldükten sonra çözelti içerisinde çözülür. Çözeltide çözünen sodyum boratlar istenmeyen diğer minerallerden çöktürme veya filtrasyon yardımıyla ayrılır. Daha sonra berrak çözeltiden kristalizasyonla sodyum boratlar üretilir (Erkan 2002).

Tablo 2.2: Boraks dekahidrat kimyasal ve fiziksel özellikleri (Yünlü 2016).

Özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	1.73
Erime Noktası (°C)	60
Mohs Sertliği	2
20 °C’ de 100 g Sudaki Çözünürlüğü(g)	2.48
Kimyasal Formülü	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O
Molekül Kütlesi (g/mol)	381.4

Boraks dekahidrat suda çözüldüğünde alkali bir çözelti oluşturmaktadır. Bu çözelti çok iyi bir tampon özelliği göstermektedir ve derişimden çok az etkilenir. Örneğin %0,1’ lik çözeltinin pH değeri 9.2 iken, %4.1’lik çözeltinin pH değeri 9.3’ tür (Erkan 2002).

Boraksın çözünürlük değeri çözeltinin sıcaklığı ile doğrudan bağlantılıdır ve sıcaklık arttıkça sudaki çözünme miktarı da artar. Bu değişim Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Boraks dekahidratın sıcaklığa göre çözünürlük değerleri (Yünlü 2016).

Sıcaklık (°C)	100 g Sudaki Boraks Miktarı (g)
0	1.05
5	1.30
10	1.63
15	2.00
20	2.48
25	3.06
30	3.80
35	4.76
40	5.92

2.2 Sodyum Perborat Tetrahidrat

Sodyum perborat; tetrahidrat, trihidrat, monohidrat gibi farklı hidratlar şeklinde bilinmektedir. En çok bilinen perborat sodyum perborat tetrahidrat ($\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)'tır. Soğuk ortamlarda aktif oksijenin yılda %1 azaldığı bilinmektedir. Sodyum perboratın bozunmaması için 15 °C'de depolanması gerekmektedir. Sodyum perborat tetrahidrat, ağartıcılarda, kozmetik ve ilaç sanayinde aktif oksijen kaynağı olarak kullanılmaktadır. Deterjanlarda ise %30'a kadar perborat kullanıldığı bilinmektedir (Köroğlu ve diğ. 2003).

Sodyum perborat tetrahidrat sulu çözeltilerde 63 °C'nin üzerinde oksijen açığa çıkarmaya başlar. Teorik olarak %10.38 aktif oksijen içeren sodyum perborat tetrahidrattaki aktif oksijen miktarının %10 altına düşmesi ticari olarak istenmeyen bir durumdur (Yüksel 1989).

Boraks ve sodyum karbonatın oluşturduğu bir çözeltinin elektrolizinde, borat iyonunun anodik oksidasyonu ile elektrokimyasal yöntemle elde edilebilen sodyum perborat tetrahidrat, sodyum metaborat çözeltisinin hidrojen peroksit çözeltisiyle reaksiyonu sonucunda çözeltilerden kristallendirilerek kimyasal yöntemle de elde edilebilmektedir (Yüksel 1989).

Tablo 2.4: Sodyum perborat tetrahidratın fiziksel ve kimyasal özellikleri (Briggs M. 2001).

Özellikler	
Yığın Yoğunluk (g/cm ³)	0.7-0.8
Erime Noktası (°C)	63
20 °C' de 100 g Sudaki Çözünürlüğü(g)	2.50
Kimyasal Formülü	NaBO ₃ .4H ₂ O
Molekül Kütlesi (g/mol)	153.6

Tablo 2.5: Sodyum perborat tetrahidratın sıcaklığa göre çözünürlük değerleri (Yüksel ve diğ. 1996).

Sıcaklık (°C)	100 g Sudaki Perborat Miktarı (g)
14.2	1.94
15.7	2.09
17.5	2.29
19.6	2.50
21.5	2.78
23.4	3.04
25.0	3.28
27.0	3.59
30	4.05

3. TEKSTİLDE ANTİBAKTERİYEL UYGULAMALAR VE ÖNEMİ

Tekstil teknolojisi antik dönemlerden itibaren insanların konfor ve sağlıklı yaşam ihtiyaçları doğrultusunda sürekli gelişmektedir. Günümüzde antimikrobiyal, yüksek dayanım, su geçirmezlik gibi özellikler bu ihtiyaçlarla birlikte geliştirilmektedir. Günlük yaşamda kıyafetleri sürekli yıkama imkanı olmaması, askeri personellerin uzun süre hijyenik olmayan zorlu koşullarda yaşamak zorunda kalabilmesi veya sağlık çalışanlarının sürekli antimikrobiyal tekstil materyalleri kullanmak zorunda olması, bu özelliklerin geliştirilmesini gerektirmiştir (Chakrabarti ve Banerjee 2015).

3.1 Bakteri Üremesinin Farklı Tekstil Liflerine Göre Değerlendirilmesi

Tekstil lifleri, doğal ve sentetik lifler olarak sınıflandırılan tekstil kumaş üretimi için en yaygın ve temel hammaddelerdir. Doğal lifler pamuk gibi bitkilerden veya yün, ipek gibi hayvanlardan üretilen liflerdir. Sentetik lifler ise kimyasal proseslerle oluşturulan naylon, PVC, akrilik ve polyester gibi liflerdir (Andra ve diğ. 2021).

3.1.1 Sentetik Elyaf

Sentetik elyaf geleneksel olarak kimyasal bazlı monomerler kullanılarak polimerizasyon yöntemiyle üretilmektedir. Bu polimerik sentetik elyaf, dayanıklılığı artırılmış poliamid, polyester ve akrilik kumaşlar gibi farklı çeşitlerde üretilir. Ancak bu lifler, polimerizasyon işleminde monomer olarak toksik kimyasalların yer alması nedeniyle çevre için toksik özellik göstermektedir. Bununla birlikte mikroplar polimerleri parçalayıp besin olarak tüketebildikleri için sentetik lifler mikrobiyal büyüme için besin ortamı görevi görebilir (Andra ve diğ. 2021).

- **Poliamidler:** Poliamidler, esas olarak amid gruplarından oluşan makromoleküler yapılardır. Özellikle naylon 6 olarak da bilinen alifatik poliamid, poliamidler arasında en önemli polimerdir. Bu poliamid, yüksek mukavemet, elastikiyet, aşınma direnci ve boyanma kabiliyeti gibi önemli özelliklere sahip olduğundan dolayı giyim ve ev mobilyası uygulamaları için tercih edilmektedir. Ayrıca poliamidler, aşırı simetrik moleküler yapıları ve moleküler zincirler arasındaki hidrojen bağlarının güçlü olması nedeniyle mikrobiyal üremelere karşı oldukça dirençlidir (Andra ve diğ. 2021).
- **Polyester:** Polyester, etilen tereftalatın polimerizasyonu ile üretilen sentetik bir elyaftır. Polyester bazlı kumaşlar, kırılma direnci, yüksek elastikiyet gibi özelliklere sahiptir. Bu nedenle bu tür kumaşlar yağmurluk, pantolon, gömlek, elbise, çocuk giyim ve spor giyimde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polyesterlerin güçlü hidrofobik özellikleri, diğer moleküllerle hidrojen bağları oluşturmamaları nedeniyle onları mikrobiyal kirlenmeye karşı oldukça dirençli hale getirmektedir. Polyester kumaşlar mikroplara karşı oldukça dayanıklı olmasına rağmen, tekstillerin terbiye işlemleri sırasında kullanılan eğirme yağları gibi yağlar, polyester kumaşlar üzerinde mikroorganizmaların çoğalması için besin kaynağı sağlamaktadır (Andra ve diğ. 2021).
- **Akrilik:** Akrilik elyaf, ağırlığının %85'i akrilonitril birimlerinden oluşan uzun zincirli sentetik bir polimerdir. Dünyadaki toplam sentetik elyaf üretiminin %20'sini oluşturmaktadır ve üretim hacmi en büyük üçüncü sentetik elyafır. Akrilik elyaf, UV ışınlarına, küf ve bakterilere karşı dirençli olmakla birlikte mükemmel ısı yalıtım özellikleri gibi doğal özellikleri nedeniyle, tekstil endüstrisinde zorlu çevre koşullarına dayanacak kumaşlar üretmek için kullanılan ideal bir elyaftır. Ancak %90 bağıl nemli havalarda küflenmeyle karşılaşmaktadır. Bu nedenle nemli ortamlar akrilik kumaş kullanımını sınırlandırmaktadır (Andra ve diğ. 2021).

3.1.2 Doğal Elyaf lar

Doğal lifler genellikle bitkilerden, hayvanlardan ve mineral kaynaklarından elde edilmektedir. Giyim ve ev eşyası uygulamalarında yaygın olarak kullanılan doğal liflerin başında, koyundan vb. hayvanlardan elde edilen yün, böceklerden elde edilen ipek, bitkilerden elde edilen pamuk gelmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilirlik, kanserojen olmama ve maliyet avantajı göz önünde bulundurulduğunda, doğal elyaf lar çevreye ve insanlara karşı toksik olan sentetik elyaf lara göre tercih edilmektedir. Dahası, doğal liflerin daha yüksek mekanik mukavemeti ve düşük ağırlığı, tekstille ilgili çeşitli uygulamalarda kullanması bakımından önemlidir. Ancak doğal liflerin suyu, oksijeni ve besin maddelerini tutan hidrofilik yapısı, mikroorganizmaların büyümesi için uygun bir ortam sağlamaktadır ve mikrobiyal transfer için mükemmel bir substrat görevi görmektedir. Bu nedenle, bu doğal kumaşlar üzerinde patojenik mikropların varlığı, insanlarda ve hayvanlarda kötü kokuya, kumaş mukavemetinin kaybolmasına, renk bozulmasına, alerjik reaksiyonlara ve ciltle ilgili diğer bulaşıcı hastalıklara yol açmaktadır (Andra ve diğ. 2021).

- **Yün:** Yün, eski çağlardan beri insanoğlunun giysi ve elbise olarak kullandığı doğal bir elyaf tır. Doğal yün, koyun gibi hayvanlardan elde edilir ve on sekiz farklı amino asit grubundan oluşur; bunların içinde sistein (%13,1), glutamat (%11,1) ve serin (%10,8) tekstil uygulamaları için oldukça önemlidir. Yündeki keratin, kütikül hücreleri ve kortikal hücreler gibi iki farklı hayvan hücresi tipinde mevcuttur ve burada kütikül hücreleri kortikal hücrelerle üst üste binmiştir. Yün, hidrofobik kütikül pulları aracılığıyla suyu korteksten emerek lif çekirdeğinin şişmesine neden olmaktadır. Yün lifinin verdiği bu mekanik tepki, hayvanları çevresel değişikliklerden korur. Doğal kökenli yün, çeşitli özelliklerinden dolayı erkek ve kadın dış giyim, triko, iç giyim, çorap, el örgü iplikleri, battaniye, döşeme, dolgulu yatak, kilim ve halı üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yün doğal elyaf lardan olmasına rağmen, doğal elyaf yününde mikrobiyal kirlenmeyi önleyen balmumu içeriğinin bulunması nedeniyle mikrobiyal saldırıya karşı oldukça dayanıklıdır. Yündeki keratin varlığı, kükürt içeriğine sahip yüksek düzeyde çapraz bağlı yapısı nedeniyle mikrobiyal kontaminasyona karşı belirli bir direnç

göstermektedir. Ayrıca yünün yüzeyi, mikroorganizmaların ve enzimlerin elyafa nüfuz etmesini engelleyen su itici membranla kaplıdır (Andra ve diğ. 2021).

- **İpek:** İpek, genellikle ipekböceği, örümcek, akrep, arı gibi böceklerden üretilen doğal bir protein polimeridir. Son yıllarda ipekböceğinden elde edilen ipek, gelişmiş biyouyumluluğu, mekanik performansı, işleme kolaylığı nedeniyle yurt içinde de üretilmektedir. Ayrıca ipek böceğinden elde edilen ipeğin yaklaşık bin yıldır geleneksel tekstil sektöründe kullanıldığı da dikkat çekmektedir. İpek esas olarak ipek fibroin ve serisin gibi iki ana protein bileşeninden oluşur. İpek, çekme mukavemeti, uzayabilirlik ve dayanıklılık gibi mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca ipekböceklerinden üretilen doğal ipek elyafı, pürüzsüz dokusu, yüksek mekanik mukavemeti ve dayanıklılığı nedeniyle paraşüt kordonları, uçaklardaki kompozit malzemeler ve koruyucu giysiler gibi ileri tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapısındaki serisin fibroini saran tutkal benzeri bir proteindir ve zamk giderme işleminde uzaklaşabilmektedir. Mikroorganizmalar serisini fibroinden daha kolay asimile ettikleri için zamkı giderilmiş ipekler antimikrobiyal etkinlik göstermektedir. Bu nedenle zamkı giderilmiş ipek diğer doğal liflerle karşılaştırıldığında bakteriyel kirlenmeye karşı daha dirençlidir (Andra ve diğ. 2021).
- **Pamuk:** Yün, viskon, polyester, ipek gibi birçok lif türünden üretilen kumaşların yanı sıra daha iyi nem emme, yumuşaklık ve kolay bakım gibi özellikleri nedeniyle pamuk kumaşlar, yaygın olarak kullanılmaktadır. Pamuk kimyasal olarak %95,6 selüloz, %1 protein, %1 pektin, %0,8 mumlu bileşikler ve %0,9 külden oluşmaktadır. Selülozdan gelen nem emme özelliği(hidrofillik), bakteri üremesi gibi olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir (İpek ve Ertekin 2021).

Pamuklu kumaşlardaki geniş yüzey alanı ve higroskopisite özelliği mikroorganizmaların kolayca yapışmasını sağlamaktadır. Bu nedenle kumaşlara özellikle tıbbi alanda antibakteriyel aktivite kazandırmak gerekmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte doğal, organik ve inorganik antimikrobiyaller kumaşlara

uygulanmaktadır. Doğal antimikrobiyal ajan olarak bitki ve hayvan ekstraktlarından elde edilen kitosan türevleri (Korica ve diğ. 2021; Li ve diğ. 2021; Ardean ve diğ. 2021) ve pigmentler (Mouro 2023) kullanılmaktadır.

Organik antimikrobiyal ajanlara kuaterner amonyum tuzları (Kwaśniewska ve diğ. 2020), guanidin (Kim ve diğ. 2021), peptit (Cardoso ve diğ. 2021), zwitteriyonik betain ve halojenürler, inorganik antimikrobiyal ajanlara nano çinko oksit (Jin ve Jin 2021), nano gümüş (Abram ve Fromm 2020), nano titanyum dioksit (Younis 2023) ve karbon kuantum noktaları (Chatzimitakos ve Stalikas 2020) örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte antibakteriyel uygulamalarda, kumaşın standart yıkama prosedürlerine göre farklı yıkama dayanımlarına sahip olması beklenmektedir (Gao ve diğ. 2021).

4. BOR BİLEŞİKLERİNİN ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLERİ VE TEKSTİL SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

Bor (B), toprakta, suda, kayalarda ve havada bulunan atom numarası 5 olan bir element olup endüstriyel olarak birçok alanda kullanılmaktadır. 19. ve 20. yüzyıllar arasında toksisite etkisi bilinen borun, 21. yüzyıldan itibaren insan ve hayvan sağlığı açısından olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda bitkiler için de önemli bir besindir. Olumlu etkileriyle beraber doza bağlı olarak olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Borun çeşitli bakteri ve mantarlara karşı antibakteriyel özelliklerinin bilinmesinin yanında aşırı miktarlarının protein sentezinin ve mikroorganizmalardaki bazı enzimlerin aktivitesini bozduğu da bilinmektedir (Sayın ve diğ. 2016)

Günümüzde hastane ve toplum kaynaklı enfeksiyonlar karşılaşılan temel sorunlardan biridir. Artan antibiyotik direnç nedeniyle, gram pozitif ve gram negatif temelli enfeksiyonların tedavisinde zorluklar yaşanmaktadır. Bu direncin oluşmasının nedenlerinden biri de bakterilerin biyofilm oluşturmalarıdır. Gram pozitif *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus viridans* ve gram negatif *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Proteus mirabilis* ve *Pseudomonas aeruginosa* gibi bakteriler biyofilm üreten bakteriler arasında yer alır. Oluşan biyofilmler antibiyotiklere karşı planktonik formlara göre 1000 kat dirençli olduğu bilinmektedir (Çelebi ve diğ. 2024).

Bor canlılar üzerinde önemli biyolojik etkileri olan, eksikliğinde birçok sağlık probleminin yaşandığı nadir elementlerdendir. Yapılan çalışmalar, bor ve türevlerinin antikanser aktivitesinin (Cebeci ve diğ. 2022), antibakteriyel etkisinin, ilaç üretiminde (Das ve diğ. 2022) kullanılması gibi biyolojik etkilerinin araştırılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır (İpek ve Ertekin 2021).

Celebi ve diğ. (2023) yapmış oldukları çalışmada, 9 farklı bor bileşiği olan kalsiyum metaborat (CMB), sodyum metaborat tetrahidrat (SMTB), çinko borat

(ZB), sodyum tetrafloroborat (STFB), sodyum tetraborat (STB), potasyum tetrafloroborat (PTFB), amonyum pentaborat tetrahidrat (APTB), sodyum perborat monohidrat (SPM), boraks (STBD) ve amonyum tetrafloroboratin (ATFB) gram pozitif ve gram negatif bakterileri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır (Çelebi ve diğ. 2024).

Sodyum metaborat tetrahidratın tüm patojenlerde etkili olduğu görölmüştür. Bu etkiler MİK değeri(üremenin engellendiği en düşük doz) üzerinden değerlendirilmiştir. Boraks molekülünün gram pozitif bakterisi *Staphylococcus aureus* (MRSA) üzerindeki MİK değeri 5 mg/mL, gram negatif bakterisi *Escherichia coli* (*E. Coli*) üzerindeki etkisi yine 2,5 mg/mL olarak belirlenmiştir. Sodyum perboratın MİK değeri ise MRSA için 2,5 mg/mL, *E. Coli* için 5 mg/mL olarak belirlenmiştir. Diğer bor bileşiklerinin farklı bakteriler üzerindeki MİK değerleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir. Çalışma sonucunda bor moleküllerinin biyofilm oluşturan patojenlere karşı etkili olduğu, etki süresinin ise 2-4 saat aralığında yeterli olduğu belirlenmiştir (Çelebi ve diğ. 2024).

Tablo 4.1: Bor bileşiklerinin MİK değerleri (Çelebi ve diğ. 2024).

Mikroorganizma/ Bor Bileşikleri	SMTB	STB	BA	STBD	SPM	STFB	ATFB
<i>E. coli</i>	5	2.5	2.5	2.5	5	10	10
<i>P. aeruginosa</i>	2.5	10	2.5	10	-	1.25	2.5
<i>K. pneumoniae</i>	10	20	5	10	10	10	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	2.5	10	10	10	10	10	5
MSSA	1.25	2.5	5	5	10	5	5
MRSA	1.25	10	2.5	5	2.5	1.25	10
MRKNS	1.25	5	10	2.5	5	2.5	-
<i>S. hemolyticus</i>	1.25	10	-	5	2.5	2.5	5
<i>A. baumannii</i>	0.31	10	5	5	5	10	10
<i>E. aerogenes</i>	2.5	10	5	10	5	10	-

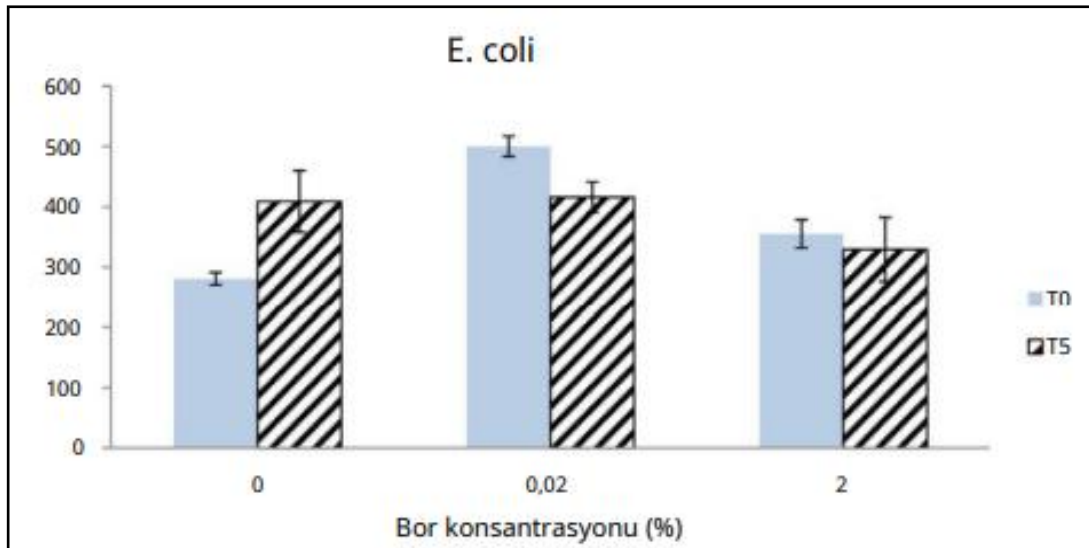
4.1 Antibakteriyel Bor Bileşiklerinin Tekstil Üzerindeki Etkileri

Borik asit, boraks, potasyum tetraborat vb. bileşiklerin gübrelerde, böcek ilaçlarında, deterjanlarda antibakteriyel ajanlar olarak kullanıldıkları bilinmektedir. Örnek olarak potasyum tetraboratın nano partikülleri sofralık üzümde iyi bir

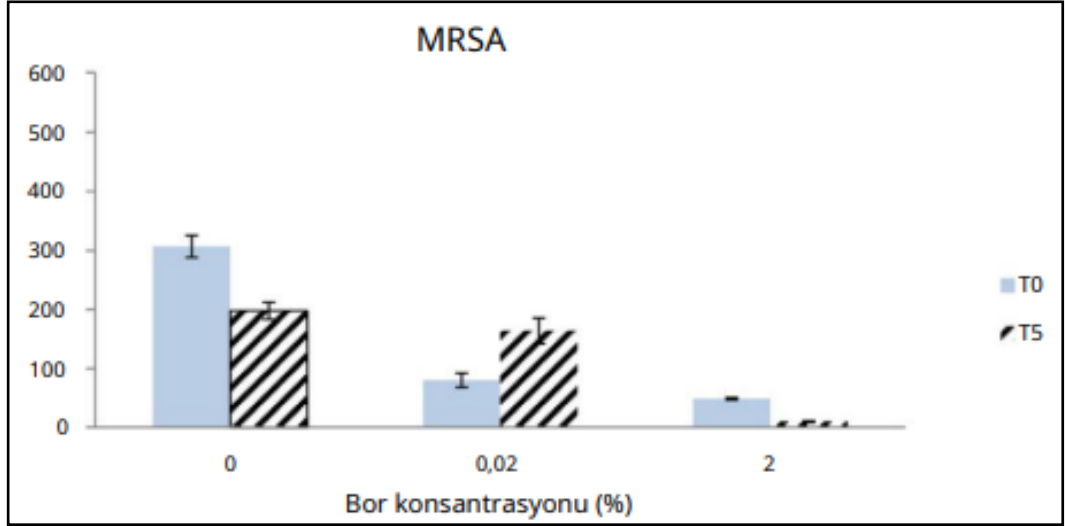
antimikrobiyal aktivite göstererek gri küf oluşumunu kontrol altına almıştır (Akbar ve diğ. 2017).

Tekstil ürünlerinin bakteri ve mantarlar için uygun ortamı sağlamaya yatkın olduğu bilinmektedir. Sıcaklık, nem gibi uygun ortam koşullarında büyüme imkanı bulan bu mikroorganizmalar, tekstillerin kullanım ve depolama şartlarında olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu konuda sentetik liflerden oluşan kumaşlar hidrofobik yapıları sayesinde pamuk liflere göre daha dirençlidir. Bunun yanı sıra küçük boyutları ve geniş yüzey alanlarına sahip çinko oksit (ZnO), karbon nanotüpler (CNT), bakır (Cu) ve bakır oksit (CuO), gümüş (Ag), titanyum dioksit (TiO₂) ve nano gümüş gibi malzemeler tekstil ürünlerinde antimikrobiyal özellik kazandırmak için kullanılabilir. Bu malzemeler bakterilerin yüzeye tutunmasını önler veya bakterileri tutunduğu yüzeyde öldürür. Özellikle nano partiküllerin hücre duvarına tutunması hücre organellerindeki zararlı değişikliklere neden olarak hücre bütünlüğünü bozar (Akbar ve diğ. 2017).

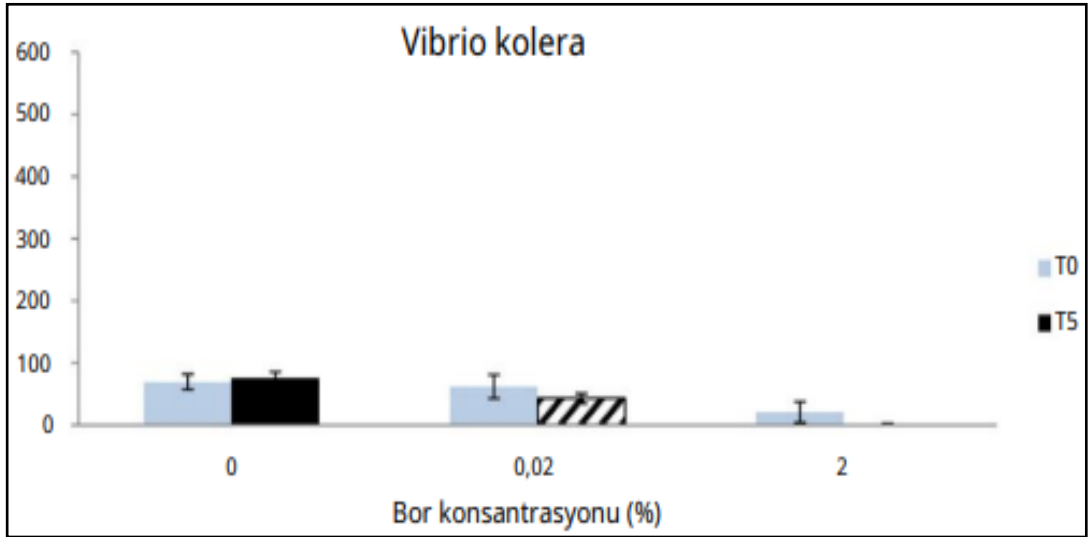
0,02 g/100 mL ve 2 g/100 mL nano bor DI su çözeltisine daldırılan %47 polyester, %47 viskon, %6 spandeks elyaf bileşimindeki kumaşın, özellikle *E. Coli* için antibakteriyel özellik gösterdiği görülmüştür. *E. Coli*, MRSA ve *Vibrio cholerae* üzerindeki etki aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Akbar ve diğ. 2017).



Şekil 4.1: Nano bor konsantrasyonunun *E. Coli* koloni sayısı üzerindeki 5 saatlik etkisi.



Şekil 4.2: Nano bor konsantrasyonunun MRSA koloni sayısı üzerindeki 5 saatlik etkisi.



Şekil 4.3: Nano bor konsantrasyonunun *V. Cholera* koloni sayısı üzerindeki 5 saatlik etkisi.

%0,02 ve %2'lik konsantrasyona sahip nano bor çözeltisi uygulanmış kumaşlar için *E. Coli* bakterisi üzerinde etkinin az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni -50 mV yüksek zeta potansiyele sahip *E. Coli* bakterisininin -15 mV zeta potansiyeline bağlı kumaşla etkileşimi sınırlandırması olabilir. Ancak tekstil ürünleri ile MRSA ve *V. cholerae* arasındaki, özellikle ağırlıkça %2 nano bor kaplamadaki daha düşük itici etkileşimler, bu iki türün öldürülmesinde etkili gibi görünmektedir. Tek sapma, ağırlıkça %0,02 nano bor ilavesinde MRSA için görülür; burada çıplak tekstil yüzeyi, ağırlıkça %0,02 nano bor kaplı tekstile kıyasla daha az miktarda bakteri tutar. Bu gözlem, nano bor kaplı tekstil ürünleri ile bakteriler arasındaki elektrostatik etkileşimlere atfedilebilir. İşlem uygulanmayan tekstilin zeta potansiyeli

-33 mV ve DI-sudaki nano bor kaplı tekstilin -15 mV ve MRSA'nın zeta potansiyeli de -15 mV'dir. Bu nedenle, düşük nano bor konsantrasyonlarında (ağırlıkça %0,02) MRSA, aynı elektrostatik doğa nedeniyle tekstil yüzeyine rahatça uyum sağlıyor gibi görünmektedir. Ancak daha yüksek nano bor konsantrasyonlarında, nano bor parçacıkları bakteri duvarından geçtiğinde MRSA hücrelerinin yok olduğu görülmektedir (Akbar ve diğ. 2017).

Pamuk ve polyester kumaş karışımı dışında yün kumaş üzerine yapılan denemelerde de antibakteriyel özellik sağlanmaktadır. Yün kumaşlardaki aminoasit yapıları ile benzer kimyasal özelliğe sahip 8-hidroksikinolin, boraks ve borik asitle hazırlanmış sulu çözeltilerin yün liflerine bağlanması için kullanılmıştır. 1, 2.5, 5 ve 10 g/L konsantrasyon olacak şekilde boraks ve borik asit ve 8-hidroksikinolin çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltiler ayrı ayrı yün kumaşlara uygulanmıştır. Bununla birlikte aynı konsantrasyondaki çözeltiler karıştırılarak yine kumaşlara uygulanmıştır. Antibakteriyel aktiviteyi belirlemek için deneme yapılmamış kumaş ve gümüş nitrat uygulanan kumaşlar kullanılmıştır. Deneme yapılmayan kumaş W0, 8hidroksikinolin uygulanan kumaş W8, gümüş nitrat uygulanan kumaş WA, 8-hidroksikinolin ve gümüş nitrat uygulanan kumaş W8A, 8-hidroksikinolin+boraks kullanılan kumaş W8B, 8-hidroksikinolin+boraks+borik asit uygulanan kumaş W8BB olarak isimlendirilmiştir (Tezcan ve Büyükkakıncı 2020).

Gram negatif bakterileri olan *E.coli*, *P. Aeruginosa* ve gram positive bakterileri olan *B. Subtilis*, *S.aureus* (MRSA) için denemeler yapılmıştır. Hazırlanan kimyasallar çektirme yöntemi ile kumaşlara uygulanmıştır. Bu yöntemde 1/15(kumaş kg/çözelti L) flote olacak şekilde 60 °C sıcaklıkta 30 dakika kumaşlara çektirme yöntemiyle uygulanmıştır. Çektirme yöntemi kumaşı bir banyo içerisinde belirlenen süre boyunca tutarak gerçekleştirilir (Tezcan ve Büyükkakıncı 2020).

Antibakteriyel özellik, petri kaplarındaki bakterisiz alanların çapı ölçülerek belirlenmiştir. En yüksek aktivite her biri 10 g/L derişimdeki W8B(W8B10) ve W8BB(W8BB10) numunelerinde görülmüştür. Numunelere ev tipi 5 yıkama yapıldıktan sonra ise antibakteriyel aktivitede azalma görülse de tamamen yok olmamıştır. Her bir numune için bakterisiz alan değerleri Tablo 4.2 ve 4.3' te gösterilmiştir (Tezcan ve Büyükkakıncı 2020).

Tablo 4.2: Numune konsantrasyonlarına göre inhibisyon bölge çap değerleri.

İnhibisyon Bölge Çapı (mm)				
	E.coli	P. Aeruginosa	B. Subtilis	S.aureus(MRSA)
W0	0	0	0	0
W8	12	2	22	14
WA	2	1	0	0
W8A	7	4	8	4
W8B10	15	4	≥30	17
W8B5	9	3	≥30	13
W8B2.5	7	0	22	8
W8B1	2	0	1	8
W8BB10	18	4	≥30	19
W8BB5	11	3	≥30	17
W8BB2.5	6	0	29	13
W8BB1	2	0	1	7

Tablo 4.3: Numunelere göre 5 yıkama sonrası inhibisyon bölge çap değerleri.

İnhibisyon Bölge Çapı (mm)				
	E.coli	P. Aeruginosa	B. Subtilis	S.aureus(MRSA)
W0	0	0	0	0
W8	4	0	9	10
WA	2	0	0	0
W8A	3	2	3	2
W8B10	9	2	18	11
W8B5	5	1	20	7
W8B2.5	3	0	12	5
W8B1	1	0	0	4
W8BB10	11	2	22	12
W8BB5	5	1	19	10
W8BB2.5	2	0	12	7
W8BB1	1	0	0	3

Değerler incelendiğinde en yüksek antibakteriyel aktivite W8BB10 ve W8B10 numuneleri için sağlanırken, en düşük aktivite düşük konsantrasyondaki çözelti uygulanan W8BB1 ve W8B1 numunelerinde görülmektedir (Tezcan ve Büyükkakıncı 2020).

5. YÖNTEM

5.1 Materyal

Antibakteriyel özellik kazandırılmak istenen kumaş numuneleri olarak, ön işlemleri tamamlanmış %100 pamuk poplin kumaş kullanılmıştır. Kumaşın çözgü ve atkı iplikleri Ne 40/1 pamuk ipliği olup kumaşın çözgü sıklığı 55 tel/cm, atkı 25 tel/cm ve kumaşın ağırlığı 141 g/cm^2 'dir. Kumaş numunesi Rateks Baskı Boya A.Ş.'den temin edilmiştir.

Bor bileşikleri olarak sodyum perborat tetrahidrat (%99,5, Merck) ve boraks dekahidrat (%99,5 Tekkim), kumaş üzerinde yıkamaya karşı dayanım sağlaması için sektörde ticari olarak kullanılan, etken maddesi polidimetil dialil amonyum klorür olan fiksator (Mitrafix NF, Ecopol, 26062-79-3) kullanılmıştır.

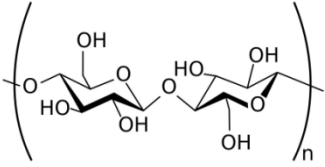
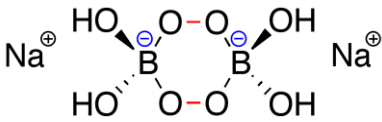
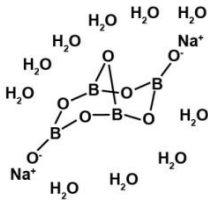
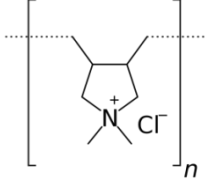
Pamuklu kumaş numunelerine uygulanan sodyum perborat tetrahidrat ve boraks dekahidrata ait fiziksel özellikler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Boraks dekahidrat ve sodyum perborat tetrahidrata ait fiziksel özellikler.

Madde İsmi	Boraks dekahidrat	Sodyum perborat tetrahidrat
Fiziksel Hali	Katı beyaz kristal toz	Katı beyaz kristal toz
Molar Kütlesi (g/mol)	381.4	153.6
Yoğunluk (g/cm^3)	1.73	0.7-0.8(yığın)
Erime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	60	63
Sudaki Çözünürlülüğü	2.48	2.50

Tez çalışması kapsamında kullanılan kimyasal maddeler ve yapıları Tablo 5.2'de verilmiştir.


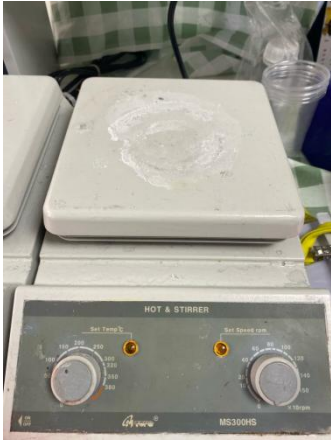
Tablo 5.2: Tez çalışmasında kullanılan kimyasal maddeler ve yapıları.

Kimyasal Adı	Kimyasal Formülü	Kimyasal Yapısı
Pamuk Kumaş (Selüloz)	$(C_6H_{10}O_5)_n$	
Sodyum perborat tetrahidrat	$NaBO_3 \cdot 4H_2O$	
Boraks dekahidrat	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	
Polidimetil dialil amonyum klorür	$(C_8H_{16}NCl)_n$	




5.2 Tez Çalışmasında Kullanılan Cihazlar

Tez çalışması kapsamında kullanılan cihazlara ait marka ve model bilgileri Tablo 5.3'te verilmiştir.




Tablo 5.3: Tez çalışmasında kullanılan cihazlar.

Kullanılan Cihazlar	Marka Model
<p data-bbox="507 573 644 607">pH Metre</p> 	<p data-bbox="970 824 1289 857">InoLab, pH 7110, WTW</p>
<p data-bbox="432 1140 719 1173">Manyetik Karıştırıcı</p> 	<p data-bbox="1018 1384 1241 1417">Tepe, MS300HS</p>

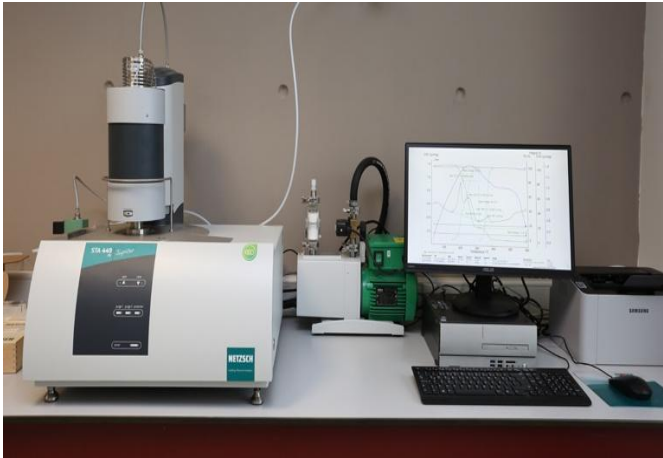

Tablo 5.3: Tez çalışmasında kullanılan cihazlar (devam).

<p style="text-align: center;">Hassas Terazi</p> 	<p style="text-align: center;">Precisa 205 A SCS</p>
<p style="text-align: center;">Etüv</p> 	<p style="text-align: center;">Mettler UNB400</p>
<p style="text-align: center;">Yıkama Makinesi</p> 	<p style="text-align: center;">Electrolux Wascator FOM71 MP-Lab</p>

Tablo 5.3: Tez çalışmasında kullanılan cihazlar (devam).

<p style="text-align: center;">Mukavemet Cihazı</p>  <p>The image shows a Titan 3 universal testing machine, a blue and black industrial device used for material strength testing. It features a vertical column and a base with a sample stage.</p>	<p style="text-align: center;">Titan 3, James H. HealCo.</p>
<p style="text-align: center;">SEM</p>  <p>The image shows a JEOL JSM-6610 scanning electron microscope (SEM) setup. It includes a large blue cylindrical chamber, a control console, and a computer workstation with two monitors and a blue office chair.</p>	<p style="text-align: center;">JEOL, JSM-6610</p>
<p style="text-align: center;">FTIR</p>  <p>The image shows a ThermoScientific Nicolet IS50 FTIR spectrometer. It is a large, white and black industrial machine with a prominent front panel and a control interface on the right side.</p>	<p style="text-align: center;">ThermoScientific, NICOLET IS50FTIR</p>

Tablo 5.3: Tez çalışmasında kullanılan cihazlar (devam).

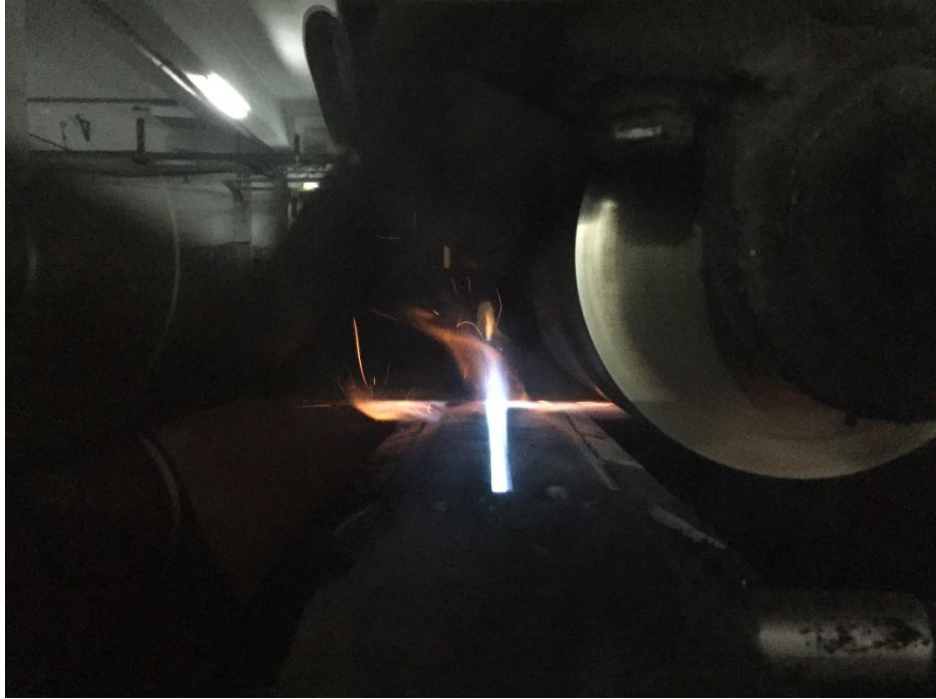
<p style="text-align: center;">Simültane Termal Analiz Cihazı</p> 	<p style="text-align: center;">NETZSCH, STA 449 F3</p>
<p style="text-align: center;">Spektrofotometre Cihazı</p> 	<p style="text-align: center;">Datacolor, Spectro 700</p>

5.3 Tekstil Numunelerinin Hazırlanması

Dokuma işleminden sonra oluşan ham kumaşlara ön terbiye yapmadan herhangi bir boya ve kimyasal uygulama işlemi yapmak zordur. Bu nedenle çalışmada, yakma, haşıl sökme, sıcak kasar, merserize işlemleri uygulanarak ön işlemleri tamamlanmış 40/1, 80 tel, %100 pamuklu kumaş kullanılmıştır.

5.3.1 Yakma

Yakma işlemi ile kumaş yüzeyindeki lif uçları, tüycük vb. yakılarak kumaş yüzeyinin daha düzgün hale gelmesi sağlanır.



Şekil 5.1: Kumaş yakma işlemi.

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi kumaş yaklaşık 50 m/dk hızla aleve dik açıyla temas edecek şekilde yakılmıştır. Yakma işleminin hemen ardından haşıl sökme işlemi başlamaktadır.

Denklem 5.1’de kostik ve peroksit reaksiyonu örnek olarak verilmiştir (Brooks ve Moore 2000).



Denklem 5.1’de gösterilen perhidroksil anyonu kumaşın ağartılmasında ana etken kimyasaldır.

5.3.4 Merserize

Merserize pamuklu kumaşların kostik ile işlendiği fiziko-kimyasal bir işlemdir. Merserizenin amacı pamuk liflerini şişirerek daha parlak bir yüzey elde edilmesi, boyutsal stabilitenin korunması ve verimli bir boyama işleminin sağlanmasıdır (Brahma ve diğ. 2018).

Çalışmada kullanılan kumaşa yakma, haşıl sökme, yıkama, sıcak kasar işlemlerinden sonra belirli derişim ve sıcaklıktaki kostik kullanılarak merserize işlemi uygulanmıştır. Merserize işlemi sonrasında yıkama ve kurutma işlemleri tamamlanıp çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Ön işlemleri tamamlanmış 40/1 80 tel %100 pamuk kumaş 20x50 cm boyutlarında olacak şekilde eşit parçalara ayrılmıştır. Kumaşın hidrofilitate bakımından bor uygulamak için yeterli olup olmadığı kontrol edilmiştir. İşlem gören her bir kumaş numunesi uygulamalarda ve analizlerde Tablo 5.4’te gösterildiği şekilde adlandırılmıştır.

Tablo 5.4: Kumaş numunelerinin adlandırılması.

Herhangi bir işlem uygulanmayan referans pamuklu kumaş numunesi	PK
10 g/L sodyum perborat çözeltisi ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_10NaBO ₃
20 g/L sodyum perborat çözeltisi ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_20NaBO ₃
30 g/L sodyum perborat çözeltisi ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_30NaBO ₃
30 g/L sodyum perborat çözeltisi ve fiksator ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_30 NaBO ₃ _PolyDADMAC
10 g/L boraks çözeltisi ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_10Na ₂ B ₄ O ₇
20 g/L boraks çözeltisi ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_20Na ₂ B ₄ O ₇
30 g/L boraks çözeltisi ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_30Na ₂ B ₄ O ₇
30 g/L boraks çözeltisi ve fiksator ile işlem gören pamuklu kumaş numunesi	PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC

5.4 Bor Bileşiklerinin Pamuklu Kumaş Numunelerine Uygulanması

Bor bileşiklerinin pamuklu kumaş numunelerine uygulanmasında emdirme yöntemi kullanılmıştır. Öncelikli olarak, manyetik karıştırıcı (Tepe, MS300HS) kullanılarak 10 g/L, 20 g/L ve 30 g/L derişimlerde sodyum perborat tetrahidrat ve boraks çözeltileri ile 10 g/L derişimde fiksator çözeltisi hazırlanmıştır. Bor bileşiklerinin hazırlanan çözeltilerine ait özellikler Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5: Hazırlanan bor çözeltilerinin özellikleri.

	Derişim (g/L)	Sıcaklık (°C)	pH
Perborat Çözeltisi	10	25	9.6
	20	25	9.7
	30	25	10
Boraks Çözeltisi	10	25	9.2
	20	25	9.2
	30	25	9.3

Pamuklu kumaş numuneleri laboratuvar tipi emdirme fularından (ATAÇ) 1,5 bar sıkma basıncıyla boraks ve perborat çözeltilerinden geçirilmiştir. Yatay iki silindirden oluşan ve iki silindir arasında çözelti bulunan bu fular sistemi, çözeltilerin kumaşa homojen bir şekilde dağılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Her kumaş numunesi 10 m/dk hızda fulardan geçirilmiştir. Aynı işlem fiksator uygulaması için de yapılmıştır. Her bir numune 100 °C’de kurutulmuştur.

5.5 Bor Bileşikleri Uygulanmış Kumaşların Yıkama Dayanım Analizi

Bor bileşikleri uygulanan kumaş numuneleri, TS EN ISO 6330 5A Standardına göre 5 defa yıkanmıştır. Bu standarda göre bor bileşikleri uygulanmış kumaşlar 40 °C’ de, standart ECE deterjan kullanılarak 45 dakika ev tipi çamaşır makinesinde (Electrolux Wascator FOM71 MP-Lab) yıkanır. Yıkama işleminin yapılmasındaki amaç, kumaş üzerinde bulunan bor bileşiklerinin yıkama sonunda ne kadar kaldığı ve antibakteriyellik özellik konusunda bir azalmanın olup olmadığını incelemektir.

5.6 SEM-EDX Analizi

Bor bileşikleri uygulanmış tekstil numunelerinin yıkama öncesi ve yıkama sonrası yüzey morfolojileri Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron

Microscopy, SEM, JEOL, JSM6610) ile incelenmiştir. SEM analizi Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde (MERLAB) yapılmıştır. Analiz öncesi tekstil numunelerine vakumlu ortamda kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra, 15 kV gerilimde hızlandırıcı voltajda görüntüleri alınmıştır.

Görüntüleme işlemi ile birlikte SEM cihazına bağlı EDX dedektörü (Oxford Instruments Inca X-ACT, 51-ADD0013) ile numunelerin kütlece element yüzdeleri belirlenmiştir.

5.7 FTIR Analizi

Bor bileşikleri uygulanmış tekstil numunelerinin yıkama öncesi ve yıkama sonrası bağ yapılarının incelenmesi için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, FTIR, Thermo Scientific, NICOLET IS50FTIR) kullanılmıştır. Analiz Pamukkale Üniversitesi İleri Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (İLTAM)'nde yapılmıştır. Spektrumlar $400-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında 4 cm^{-1} çözünürlükte gerçekleştirilmiştir.

5.8 TGA Analizleri

Bor bileşikleri uygulanmış pamuklu kumaş numunelerin ısıl davranışlarının belirlenmesi için TGA analizleri Simültane Termal Analiz (Simultaneous Thermal Analysis, STA, NETZSCH, STA 449 F3, ABD) ile incelenmiş olup analizler 25- 625 °C sıcaklık aralığında 50 mL/dakika azot gazı akışında 10 °C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

5.9 Kopma ve Yırtılma Mukavemet Testi

İşlem görmüş kumaşlarda işlem öncesi ve sonrasında yırtılma ve kopma mukavemetlerini karşılaştırılmak için yapılan testtir.

Bor bileşikleri uygulanmış tekstil numunelerinin yırtılma mukavemeti TS EN ISO 13937-2 standardına göre, kopma mukavemeti ise TS EN ISO 13934-2 standardına göre yapılmıştır. Mukavemet testleri için James H.Heal Titan 3 marka cihaz kullanılmıştır. Cihazdaki kopma ve yırtılmaya neden olan kuvvet kopma ve yırtılma mukavemeti olarak adlandırılır (Akarslan ve Altınay 2017).

5.10 Kumaşlarda pH Tayini

Bor bileşikleri uygulanmış kumaşların pH tayini TS EN ISO 3071 standardına uygun şekilde yapılmıştır. Bu yöntemde hazırlanan tekstil numuneleri (2 g), 100 mL 1 M potasyum klorür sulu ekstrat içerisinde manyetik karıştırıcı ile 60 rpm'de karıştırılmış ve 2 saat süre sonunda pH metre ile sulu ekstratın pH değeri ölçülmüştür. Bu değer kumaşın çekirdek pH'ını vermektedir.

5.11 Kumaşlarda Hidrofilite Tayini

Tekstil ürünlerinin sıvıyı emme özelliğini belirleyen bir yöntem olan hidrofilite tayini, TS 866 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Bu standarda göre kumaş bir kasnak yardımıyla gerdirilmiş ve üzerine 1 cm yükseklikteki mesafeden saf su damlatılmıştır. Su damlası kumaş tarafından tamamen emilene kadar geçen süre kronometre ile ölçülmüştür. Bu süre ne kadar kısa olursa kumaşların hidrofilite özelliği o kadar iyi düzeyde olmaktadır. Pamuklu kumaşlarda 50 sanayiye kadar olan süre su emicilik düzeyi bakımından çok iyi olarak kabul edilmektedir (Cengiz A.A. 2021).

5.12 Kumaşlarda Beyazlık İndisi Ölçümü

İşlem görmüş kumaşların işlem öncesi ve sonrası beyazlık değerlerindeki değişimi tespit edilmesi için yapılan ölçümdür.

Bor bileşikleri uygulanmış kumaş numunelerinin ve işlem görmemiş referans numunenin beyazlık indisi ölçümü ASTM E313 standardına göre yapılmıştır. Bu

ölçüm için Datacolor Spectro 700 marka spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Beyazlık indisi D_{65} sabit ışığında 10° gözlem açısıyla ölçülmüştür. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) sistemine göre L^* , a^* , b^* renk koordinatları ve beyazlık indislerinin rakamsal değerleri belirlenmesiyle birlikte numuneler arasındaki renk farkını gösteren ΔE değerleri belirlenmiştir.

5.13 Kumaşlarda Antibakteriyel Özellik Tayini

Bor bileşikleri uygulanmış pamuklu kumaş numunelerin antibakteriyel etkinlik özellikleri, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi EGEMİKAL Çevre Sağlığı Laboratuvarında (İzmir) ASTM E2149 standardına uygun olarak test edilmiş olup, test mikroorganizması olarak gram negatif *Escherichia coli* (ATCC 8739) ve gram pozitif Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (ATCC 43300) bakterileri kullanılmıştır.

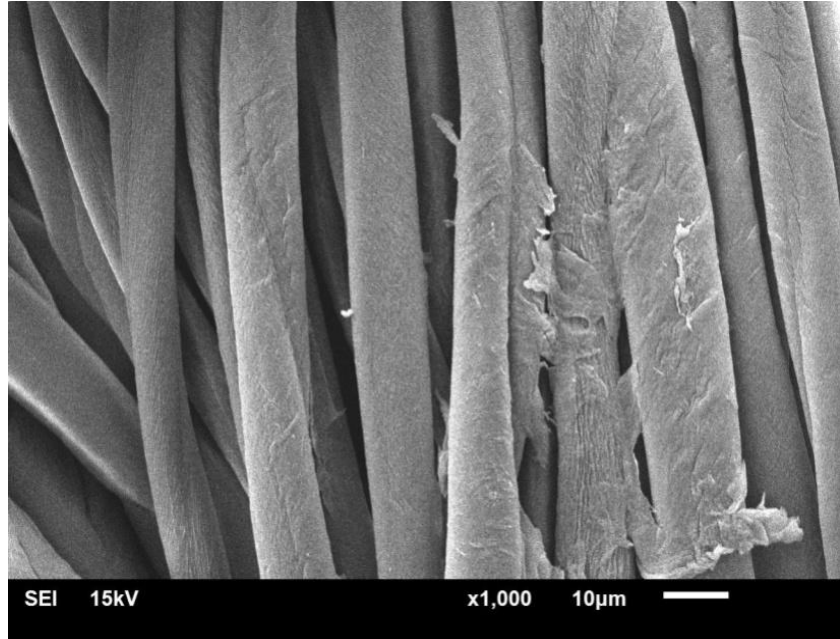
ASTM E219 test yöntemi tekstil kumaşlarının antibakteriyel özelliğini nicel olarak değerlendirebilen bir yöntemdir. Bu yöntemde işlem görmüş ve işlem görmemiş kumaş numuneleri 1 g olacak şekilde kesilip 50 mL standartlaştırılmış ve seyreltilmiş antimikrobiyal kültür içeren 250 mL'lik şişeye ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Şişeler 37°C 'da 120 rpm hızda 1 saat boyunca çalkalanmıştır. Kumaş örnekleri bakteri kültürleriyle temas ettikten sonra, tampon süspansiyonu seri olarak seyreltilip 0,1 ml'si besin agarına yerleştirilmiştir. Daha sonra 24 saat boyunca 37°C ' de inkübe edilip hayatta kalan bakteri miktarları sayılmıştır. İşlem görmemiş kumaştaki bakteri sayısı (C) ve işlem görmüş kumaştaki bakteri sayısı (T) eşitlik 5.1' de kullanılarak antibakteriyel aktivite hesaplanmıştır (Khan ve diğ. 2020)

$$\text{Antibakteriyel Azalma} = \frac{C-T}{C} \times 100 \quad (5.2)$$

6. BULGULAR

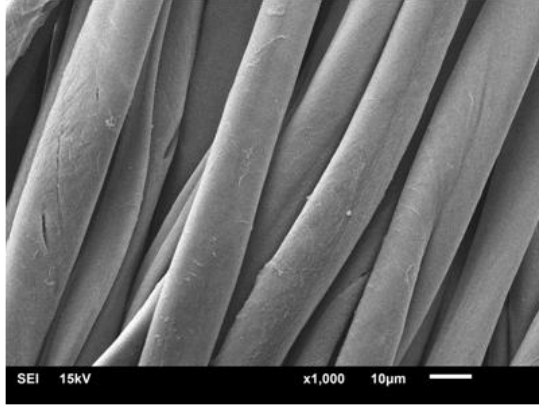
6.1 Bor Bileşikleri Uygulanmış Numunelerin SEM Görüntüleri

Bor bileşikleri uygulanmış pamuk kumaş numunelerinin yüzey morfolojileri SEM analizi ile incelenmiştir. Şekil 6.1’de çalışmada işlem görmemiş pamuk kumaş numunesinin SEM görüntüsü verilmiştir

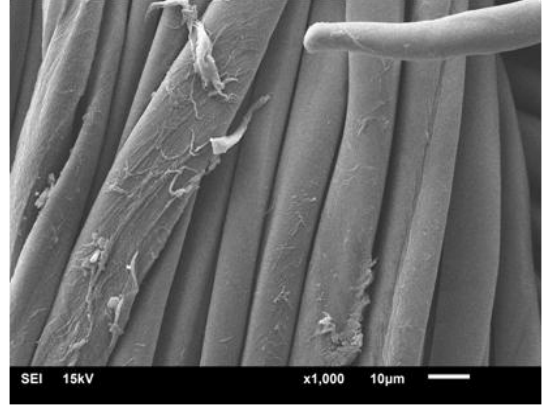


Şekil 6.1: İşlem uygulanmamış referans pamuklu kumaş numunesi(PK) SEM görüntüsü.

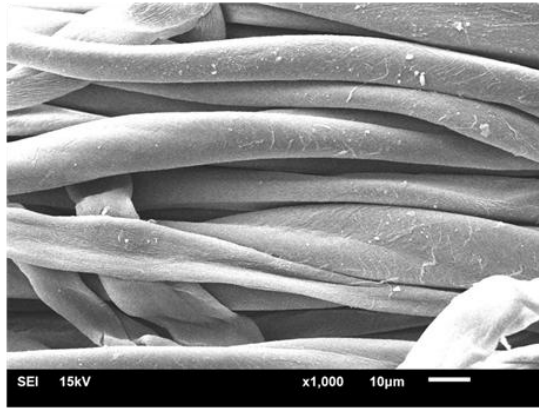
Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’te sırasıyla perborat ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesinin ve sonrasının SEM görüntüleri yer almaktadır. Referans numuneye göre lif yüzeylerindeki beyaz noktaların perborat taneleri olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.3’te yer alan yıkama sonrasındaki numunelerin SEM görüntülerinde liflerin yıkama kaynaklı yüzey düzgünlüğün bozulduğu görülmektedir.



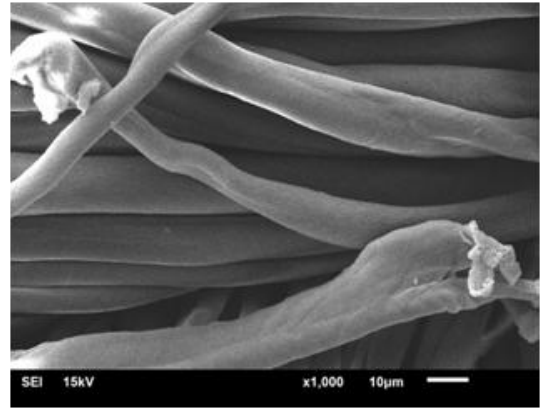
a



b

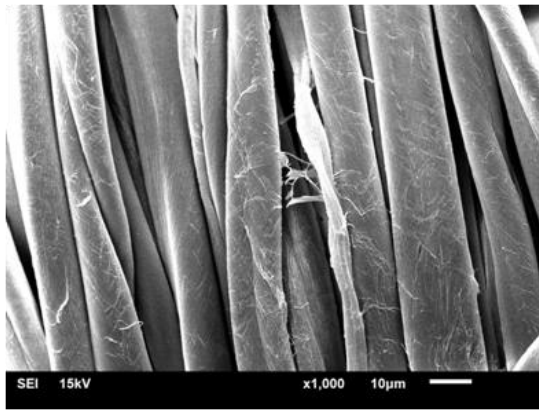


c

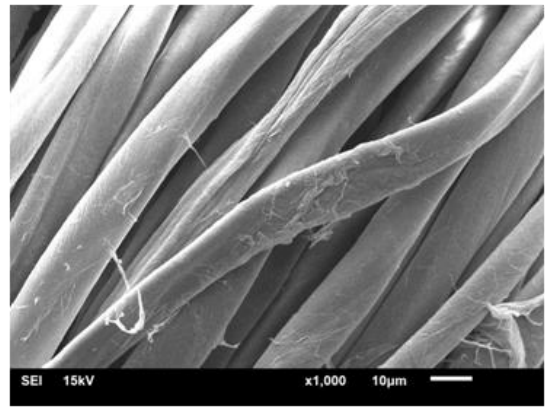


d

Şekil 6.2: Sodyum perborat ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesi SEM görüntüleri (a) PK_10NaBO₃(b) PK_20NaBO₃ (c) PK_30NaBO₃ (d) PK_30NaBO₃_PolyDADMAC.



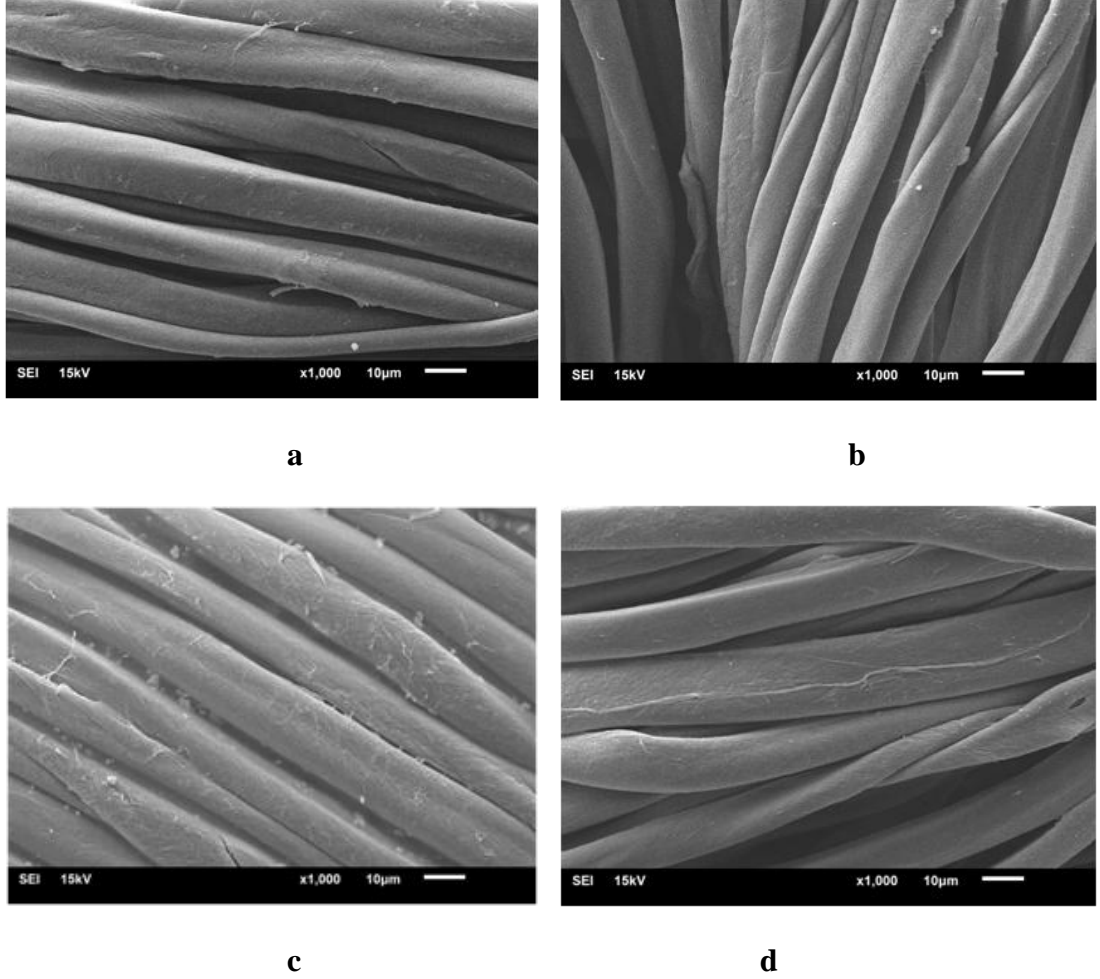
a



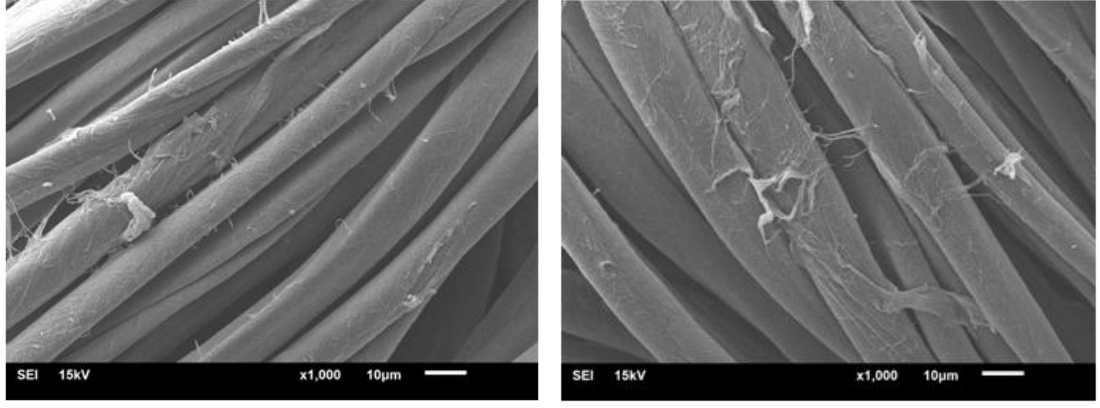
b

Şekil 6.3: Sodyum perborat ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama sonrası SEM görüntüleri (a) PK_30NaBO₃ (b) PK_30 NaBO₃_PolyDADMAC.

. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sırasıyla boraks ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesi ve sonrasının SEM görüntüleri verilmiştir. Kumaş lifleri üzerinde görülen beyaz noktaların boraks taneleri olduğu düşünülmektedir. Yıkama sonrası SEM görüntülerinin verildiği Şekil 6.5'te kumaş liflerinin yıkama kaynaklı yüzey düzgünlüğün bozulduğu görülmektedir.



Şekil 6.4: Boraks ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesi SEM görüntüleri (a) PK₁₀Na₂B₄O₇ b) PK₂₀Na₂B₄O₇ (c) PK₃₀Na₂B₄O₇ (d) PK₃₀Na₂B₄O₇ _PolyDADMAC.



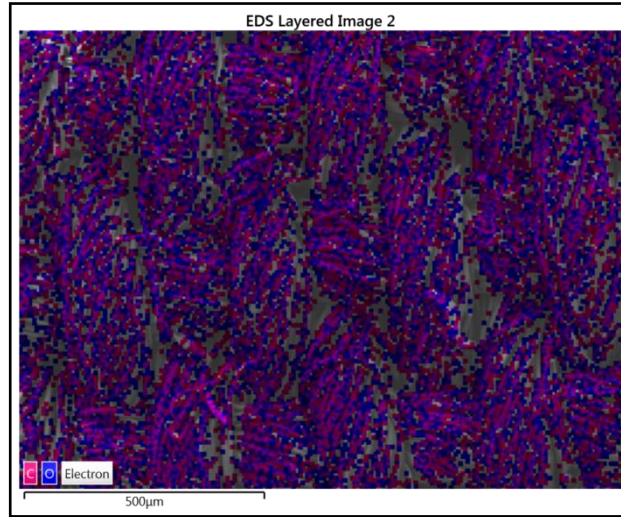
a

b

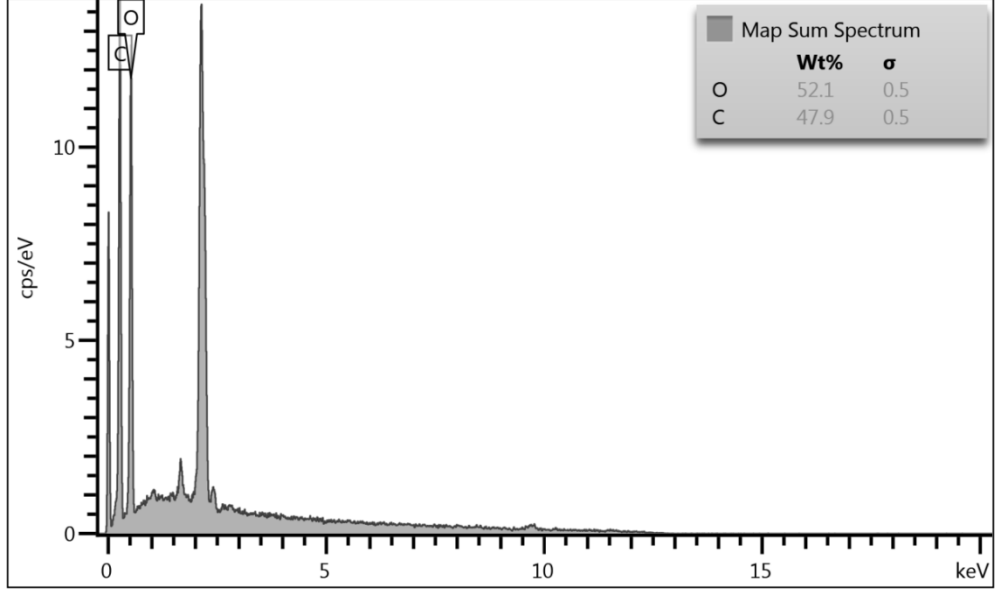
Şekil 6.5: Boraks ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin yıkama sonrası SEM görüntüleri (a) PK_30Na₂B₄O₇ (b) PK_30Na₂B₄O₇_PolyDADMAC.

6.2 SEM Haritalama Görüntüleri ve Grafikler

İşlem görmemiş pamuklu kumaş numunesindeki C ve O dağılımı Şekil 6.6’da yer almaktadır.



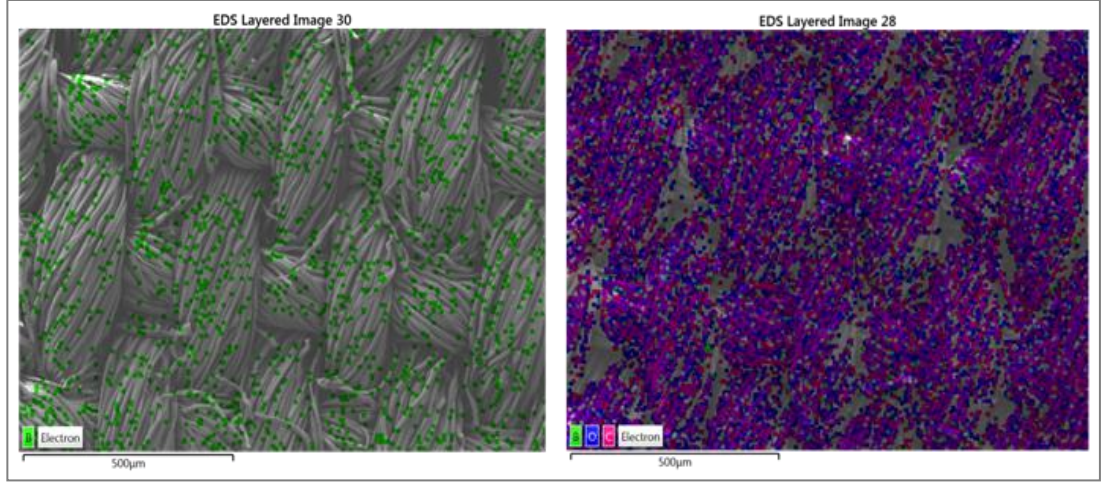
Şekil 6.6: PK SEM haritalama görüntüsü.



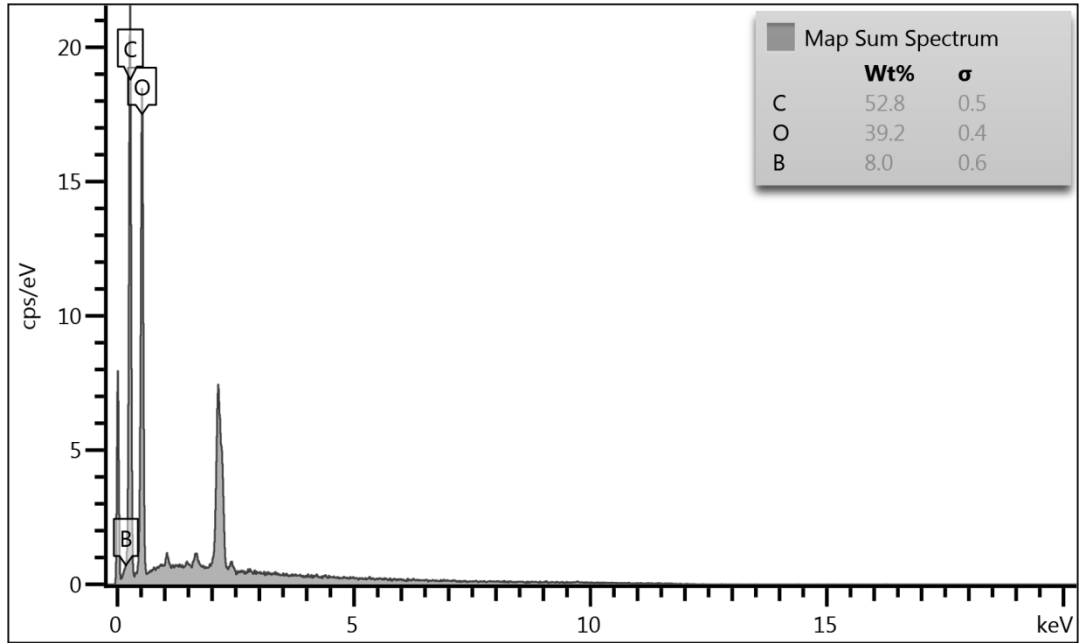
Şekil 6.7: PK numunesine ait EDX grafiği.

Şekil 6.6’da görüldüğü üzere referans pamuklu kumaşta karbon (C) elementi kırmızı, oksijen (O) elementi mavi noktalar halinde görülmektedir. Şekil 6.7’de karbon ve oksijen atomlarının sırasıyla kütlece %52,1 ve %47,9 olduğu görülmektedir. Bunun dışında uygulama yapılan numunelerde ise C ve O elementleri ile birlikte bor elementi yeşil noktalar halinde tespit edilmiştir.

10 g/L derişimde sodyum perborat uygulanan kumaş numunesinin haritalama görüntüleri Şekil 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.9’da ise numunenin EDX grafiği ile kütlece element oranları yer almaktadır. Kütlece atom oranları karbon için %52,8, oksijen için %39,2, bor için % 8,0’dır.

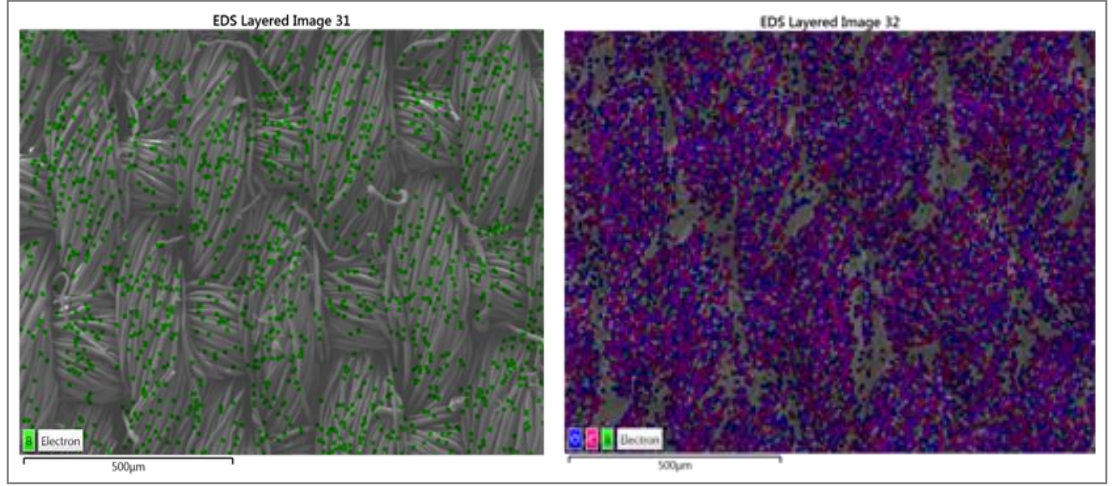


Şekil 6.8: PK_10NaBO₃ SEM haritalama görüntüsü.

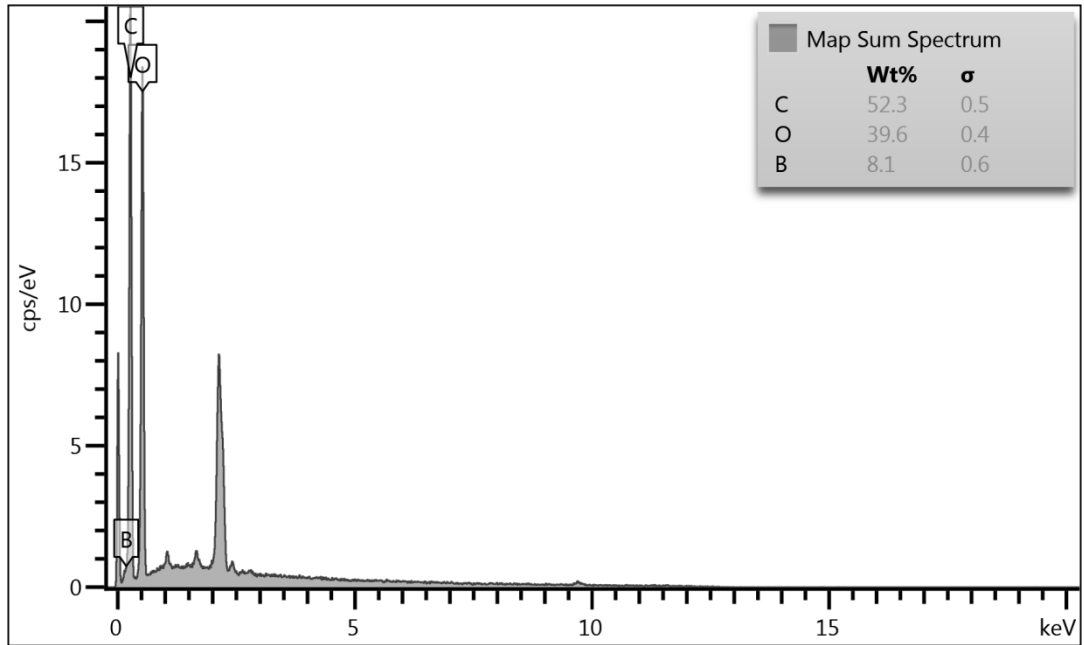


Şekil 6.9: PK_10NaBO₃ numunesine ait EDX grafiği.

Şekil 6.10' da 20 g/L derişimde perborat uygulanan numunelere ait haritalama görüntüleri yer almaktadır. Şekil 6.11'de karbon, oksijen ve bor atomlarının kütlece oranlarının sırasıyla %52,3, %39,6 ve %8,1 olduğu görülmektedir.



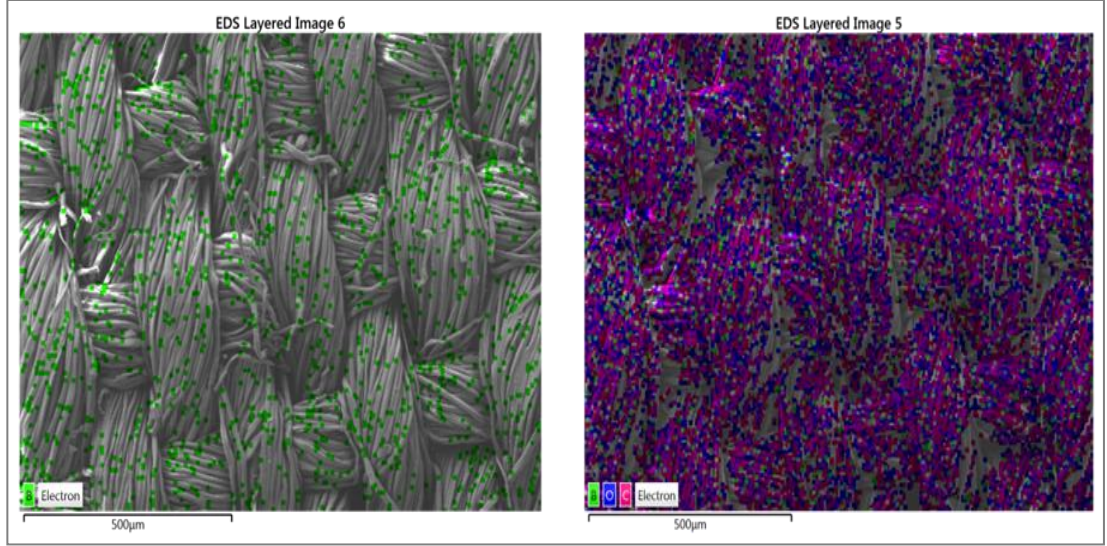
Şekil 6.10: PK_20NaBO₃ SEM haritalama görüntüsü.



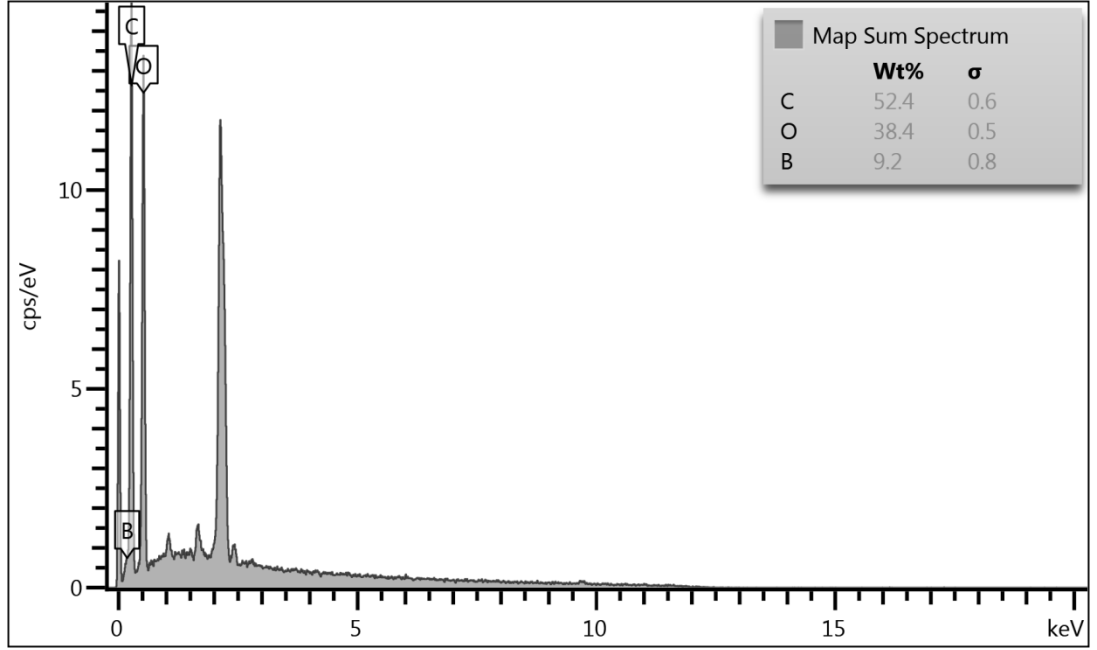
Şekil 6.11: PK_20NaBO₃ numunesine ait EDX grafiği.

30 g/L derişimde perborat uygulanan kumaş numunesinin haritalama görüntüsü Şekil 6.12’de verilmiştir. EDX grafiği verilen Şekil 6.13 incelendiğinde karbon, oksijen ve bor atomlarının kütlece oranı %52,4, %38,4, %9,2 olduğu görülmektedir.

Uygulama yapılan çözeltilerdeki konsantrasyon artışı kumaş yüzeyindeki bor miktarının da artmasını sağlamıştır.

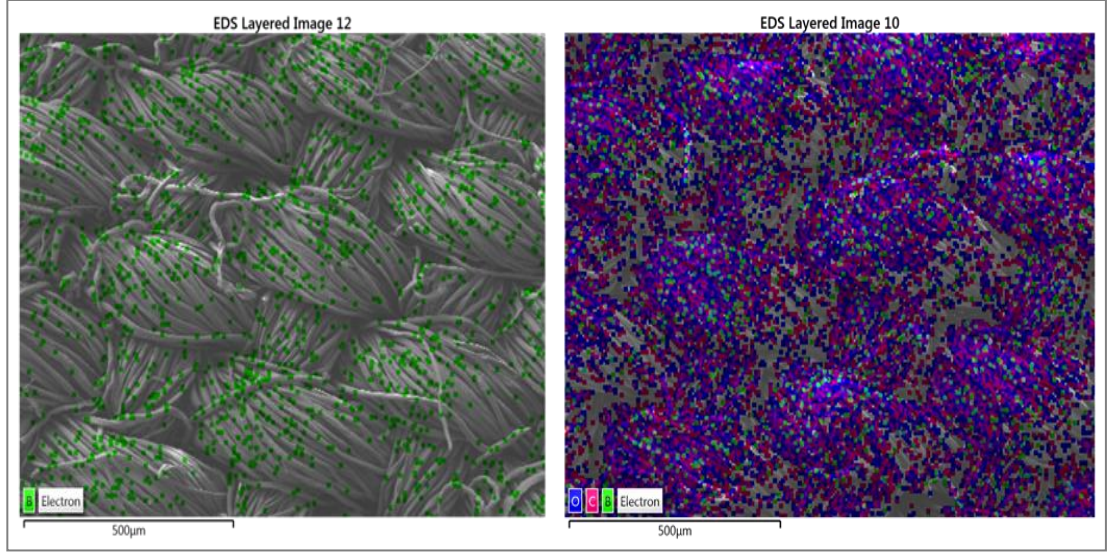


Şekil 6.12: PK_30NaBO₃ SEM haritalama görüntüsü.

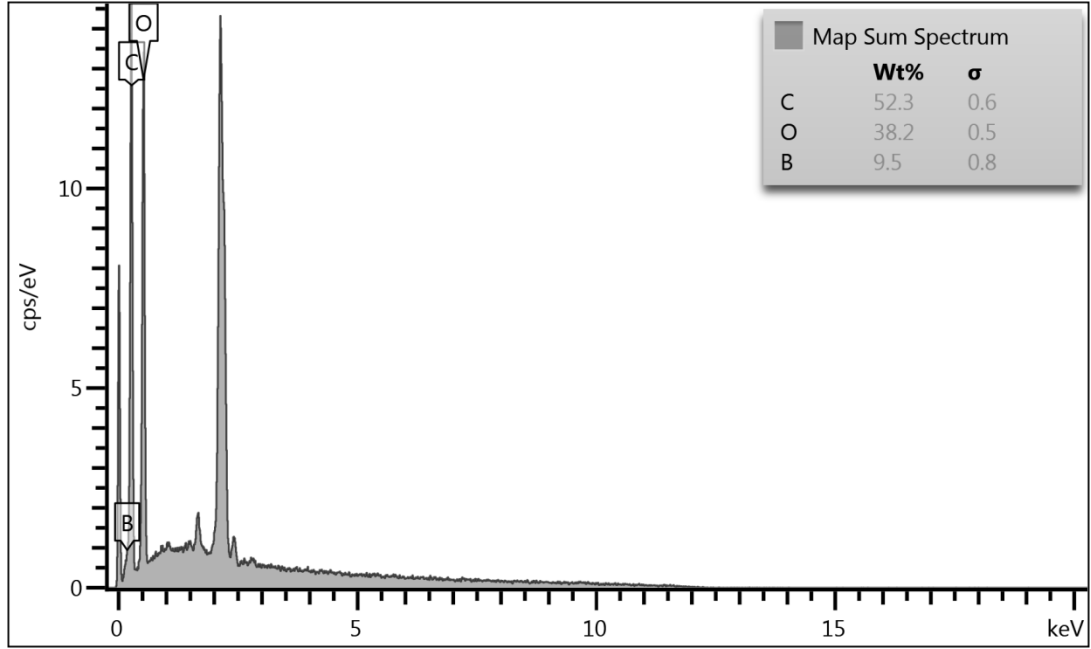


Şekil 6.13: PK_30NaBO₃ numunesine ait EDX grafiği.

30 g/L derişimde uygulama yapılan numunesinin yıkama sonrasındaki haritalama görüntüsü Şekil 6.14'te gösterilmiştir. Kütlece atom oranlarının ise karbon için %52,3, oksijen için %38,2 ve bor için %9,5 olduğu Şekil 6.15'te görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde yıkama sonrasında bor elementinin kumaş yüzeyinden uzaklaşmadığı anlaşılmıştır.

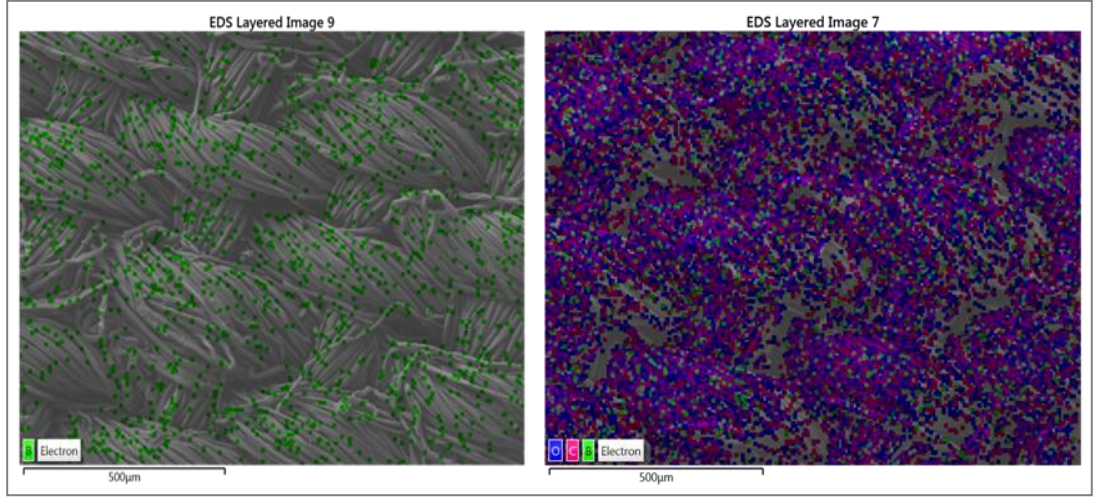


Şekil 6.14: Yıkama sonrası PK_30NaBO₃ SEM haritalama görüntüsü.

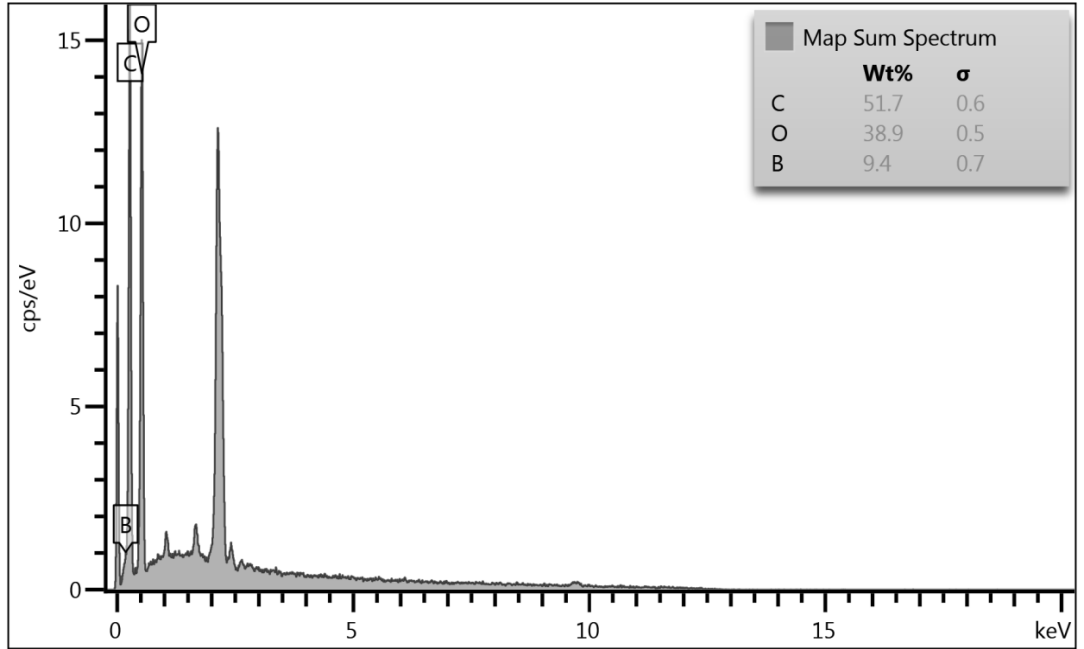


Şekil 6.15: Yıkama sonrası PK_30NaBO₃ numunesine ait EDX grafiği.

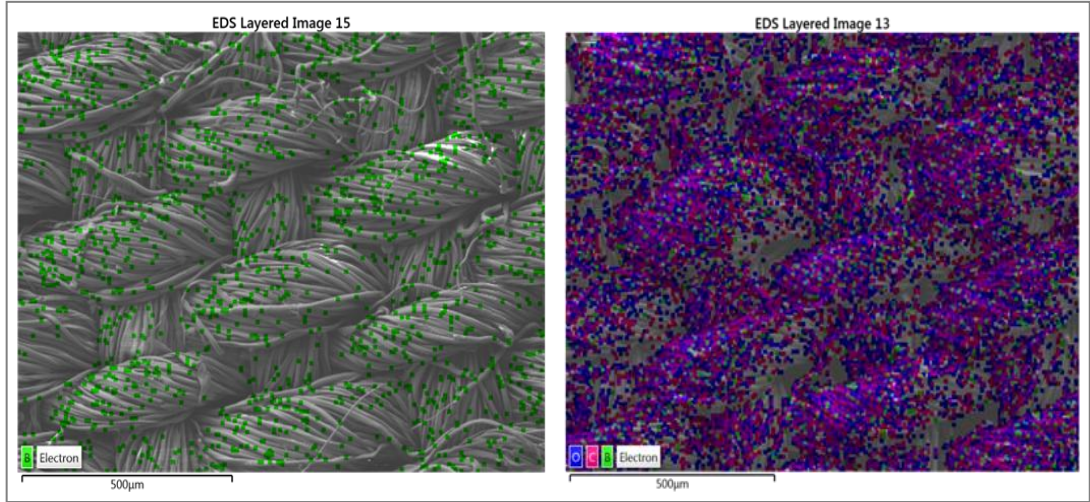
Şekil 6.16 ve 6.17 incelendiğinde bor uygulamasından sonra fiksator uygulanan kumaş numunesinin haritalama görüntülerinde %9,4 Bor elemanı görülmektedir. Şekil 6.18 ve 6.19'a göre 5 yıkama sonrasında yüzeydeki bor miktarını %9,1'e düşmüştür.



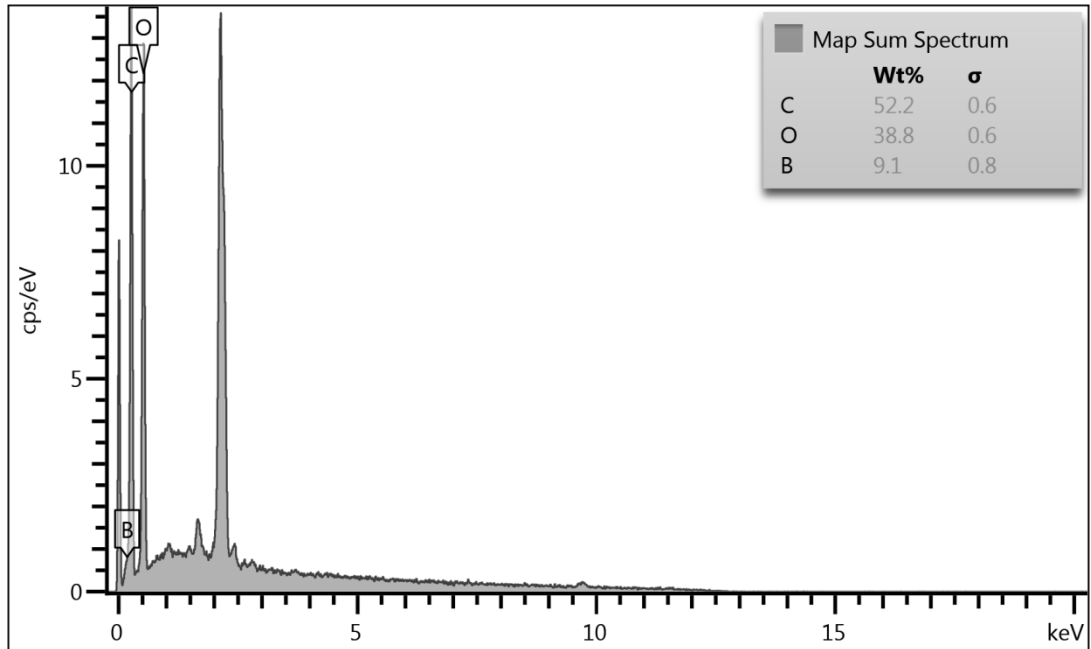
Şekil 6.16: PK_30NaBO₃_PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü.



Şekil 6.17: PK_30NaBO₃_PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği.

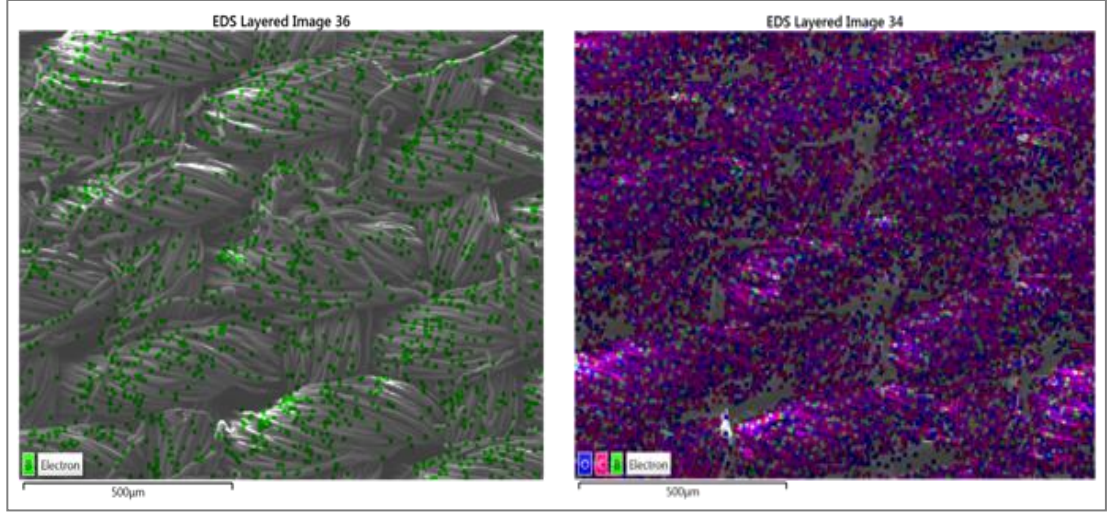


Şekil 6.18: Yıkama sonrası PK_30NaBO₃_PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü.

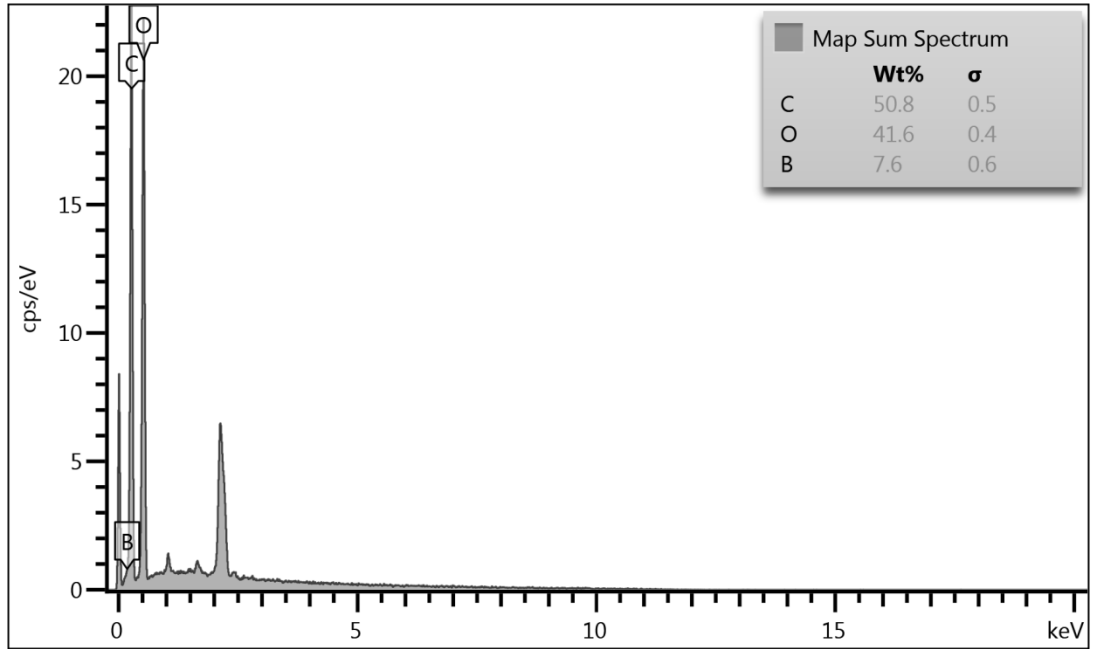


Şekil 6.19: Yıkama sonrası PK_30NaBO₃_PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği.

Sodyum perborat tetrahidrat uygulamasında olduğu gibi 10, 20, 30 g/L derişiminde boraks çözeltilisi uygulanan kumaş numunelerinin haritalama görüntüleri incelenmiştir. Şekil 6.20' de 10 g/L boraks uygulanmış numunenin haritalandırma görüntüsü yer almaktadır. Şekil 6.21' de kumaş yüzeyindeki bor elementinin kütlece %7,6 olduğu görülmektedir.

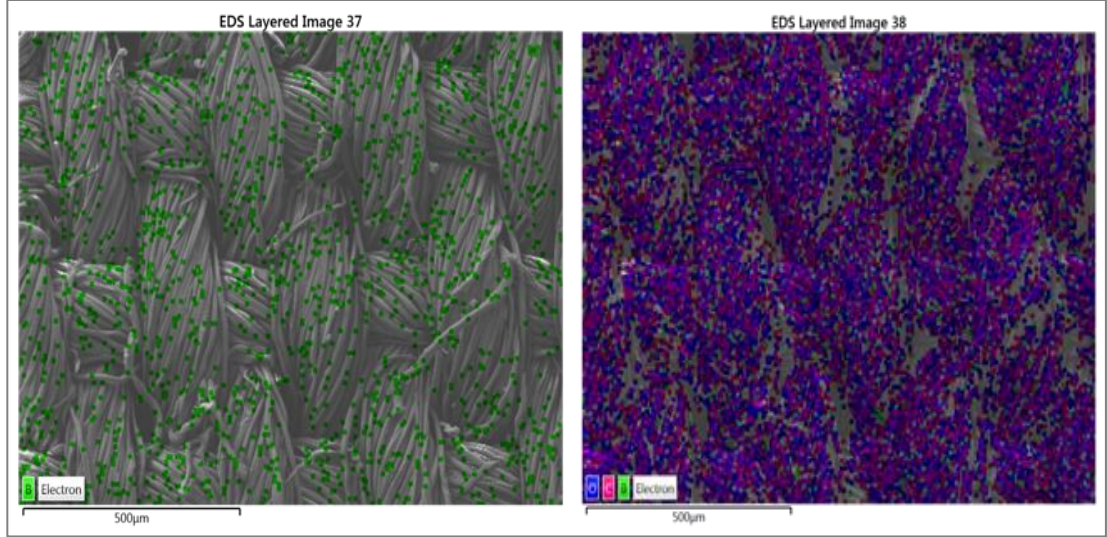


Şekil 6.20: PK_10Na₂B₄O₇ SEM haritalama görüntüsü.

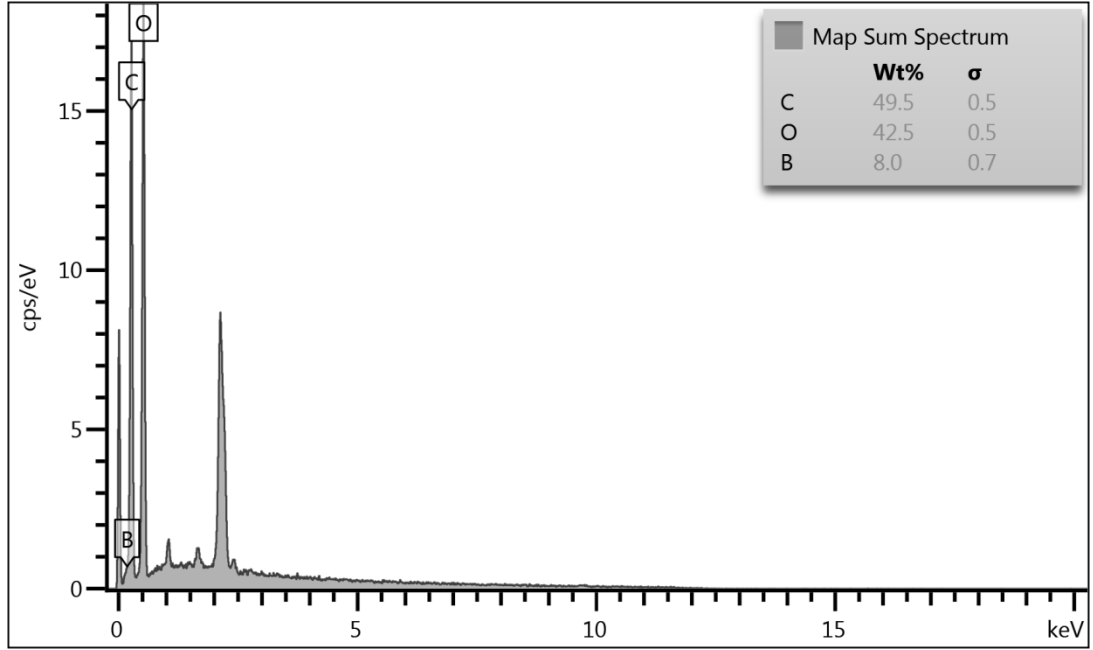


Şekil 6.21: PK_10Na₂B₄O₇ numunesine ait EDX grafiği.

Şekil 6.22'de 20 g/L boraks çözeltisi uygulanmış kumaş numunesine ait haritalama görüntüsü yer almaktadır. Şekil 6.23 incelendiğinde kütlece bor yüzdesinin %8 olduğu görülmektedir.

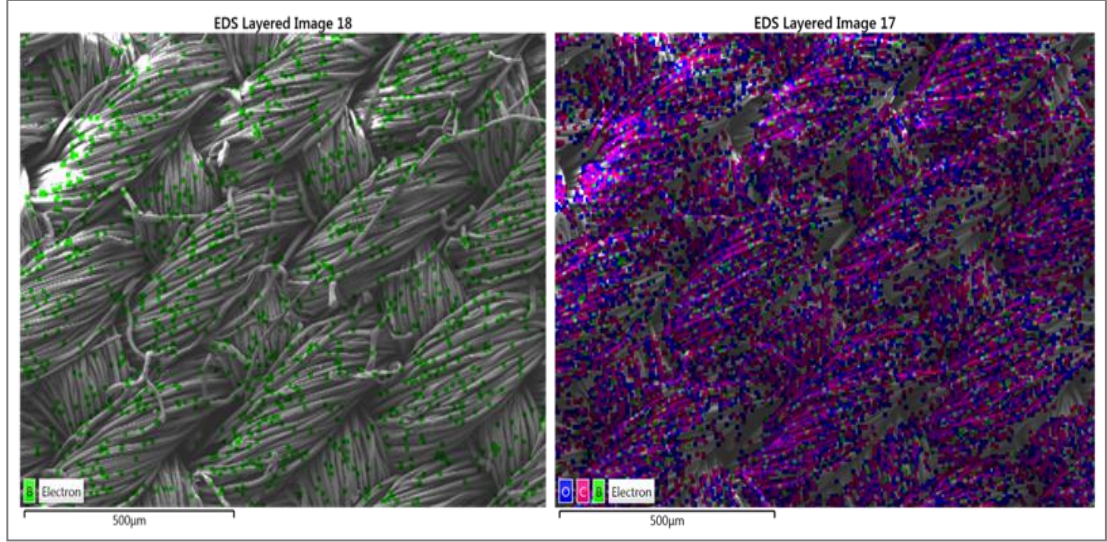


Şekil 6.22: PK_20Na₂B₄O₇ SEM haritalama görüntüsü.

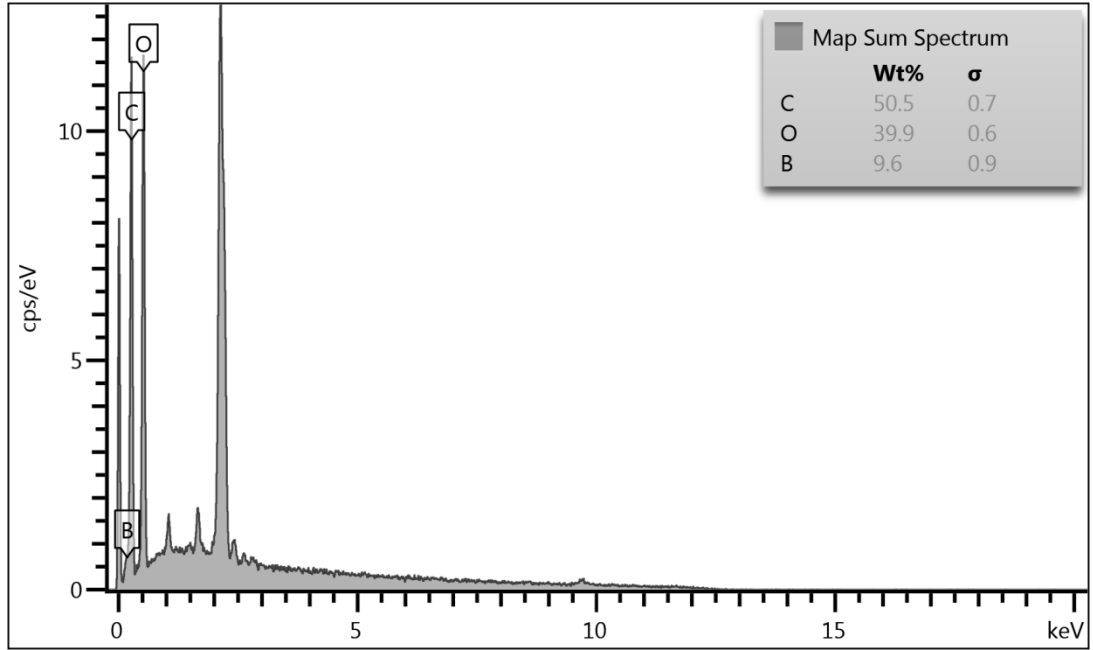


Şekil 6.23: PK_20Na₂B₄O₇ numunesine ait EDX grafiği.

Uygulama derişimi en yüksek olan 30 g/L boraks uygulanmış kumaş numunesinin haritalama görüntüsü Şekil 6.24'te yer almaktadır. Numune yüzeyinde kütlece %9,6 bor bulunduğu Şekil 6.25'te görülmektedir.

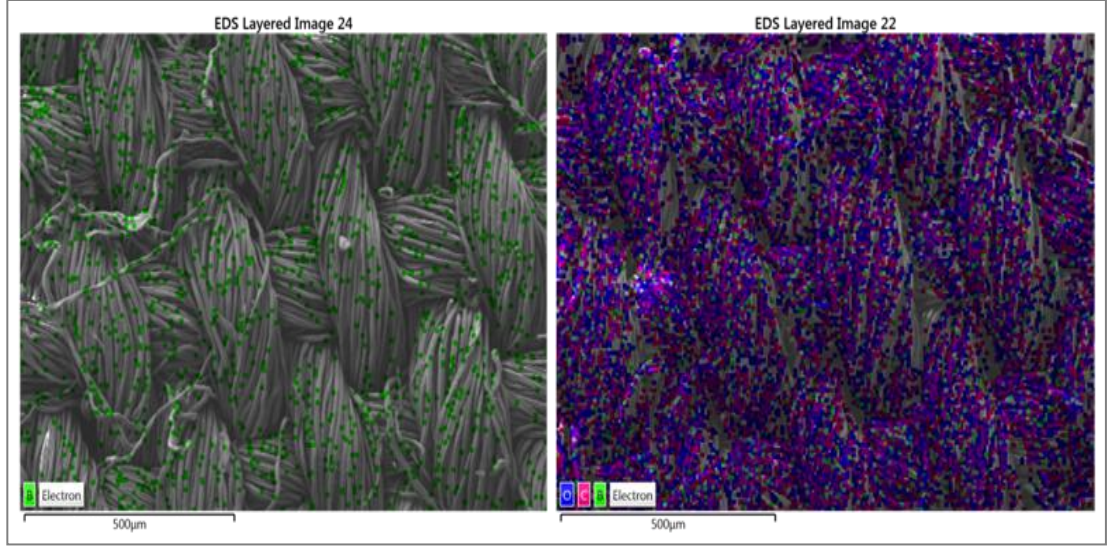


Şekil 6.24: PK_30Na₂B₄O₇ SEM haritalama görüntüsü.

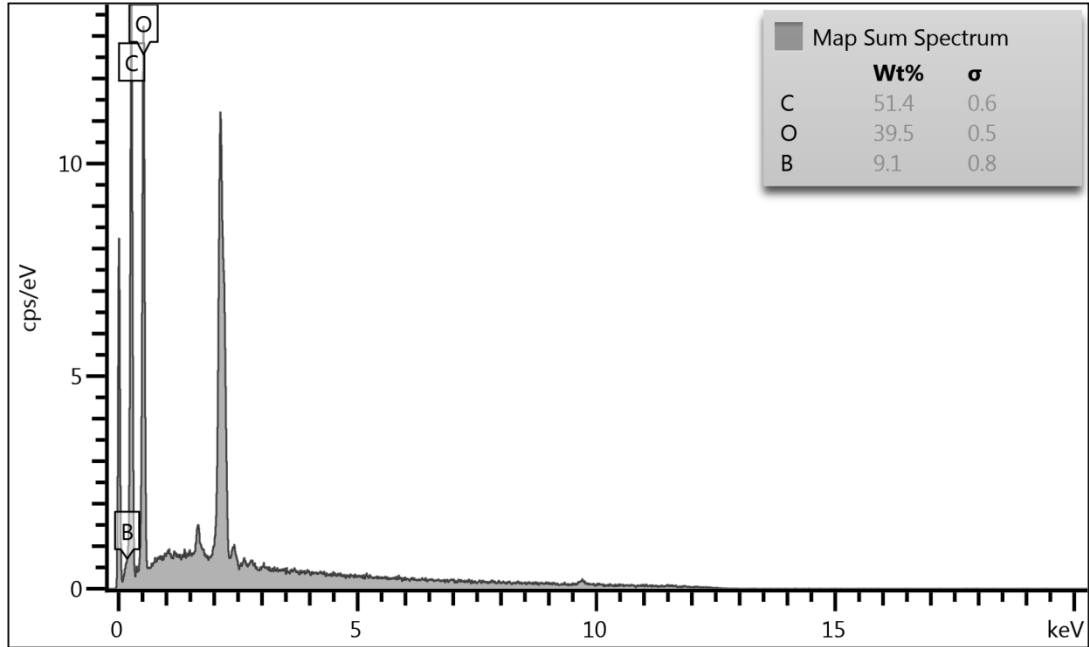


Şekil 6.25: PK_30Na₂B₄O₇ numunesine ait EDX grafiği.

30 g/L derişiminde boraks uygulanmış kumaş numunesinin 5 yıkama sonrası haritalandırma görüntüsü Şekil 6.26'da yer almaktadır. Borun homojen dağılımının yıkamaya rağmen bozulmadığı haritalama görüntüsü incelendiğinde görülmektedir. Şekil 6.27 incelendiğinde kütlece %9.1 bor kumaş yüzeyinde bulunmaktadır.

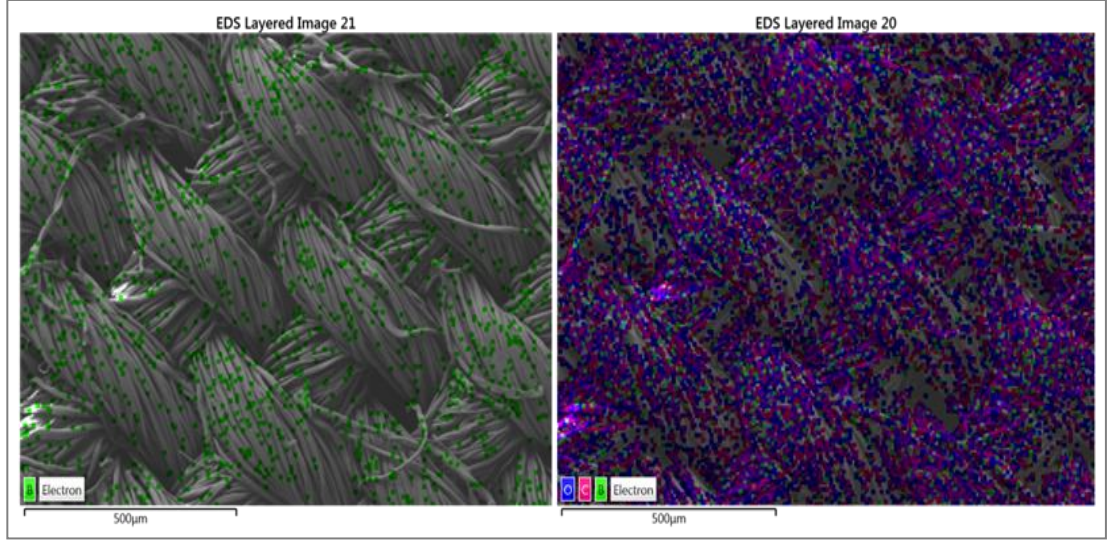


Şekil 6.26: Yıkama sonrası PK_30Na₂B₄O₇ SEM haritalama görüntüsü.

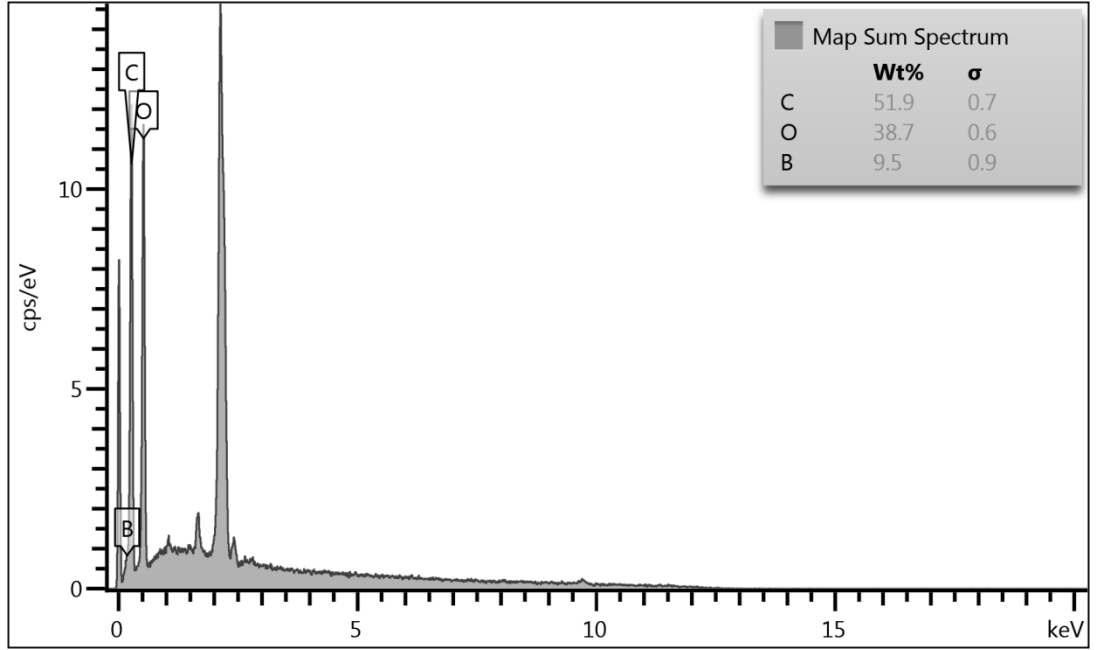


Şekil 6.27: Yıkama sonrası PK_30Na₂B₄O₇ numunesine ait EDX grafiği.

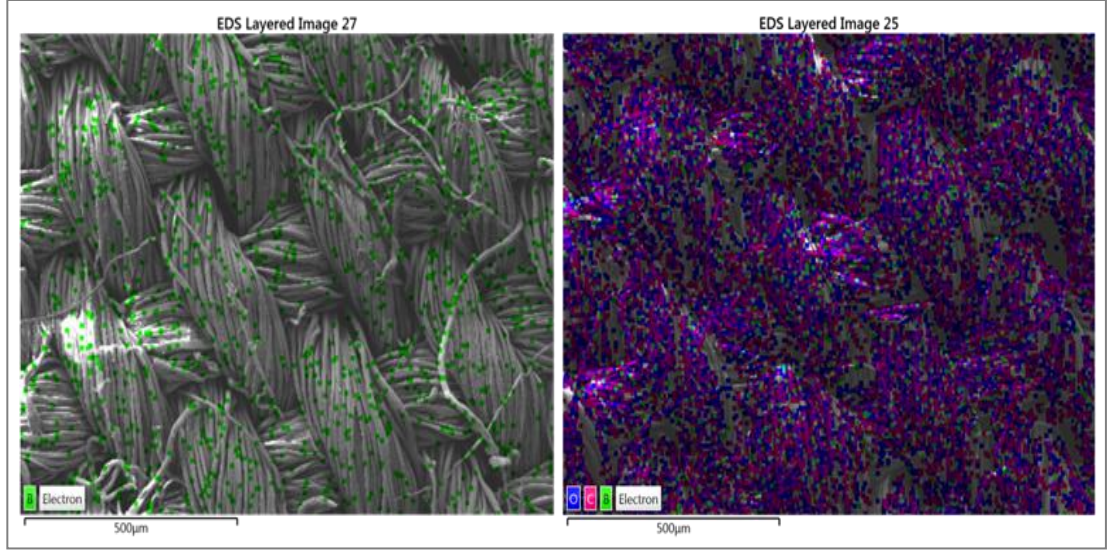
Şekil 6.28 ve 6.29 incelendiğinde bor uygulamasından sonra fiksator uygulanan kumaş numunesinin haritalama görüntülerinde % 9,5 bor elemanı görülmektedir. Şekil 6.30 ve 6.31'e göre 5 yıkama sonrasında yüzeydeki bor miktarı %9,5 olarak sabit kalmıştır.



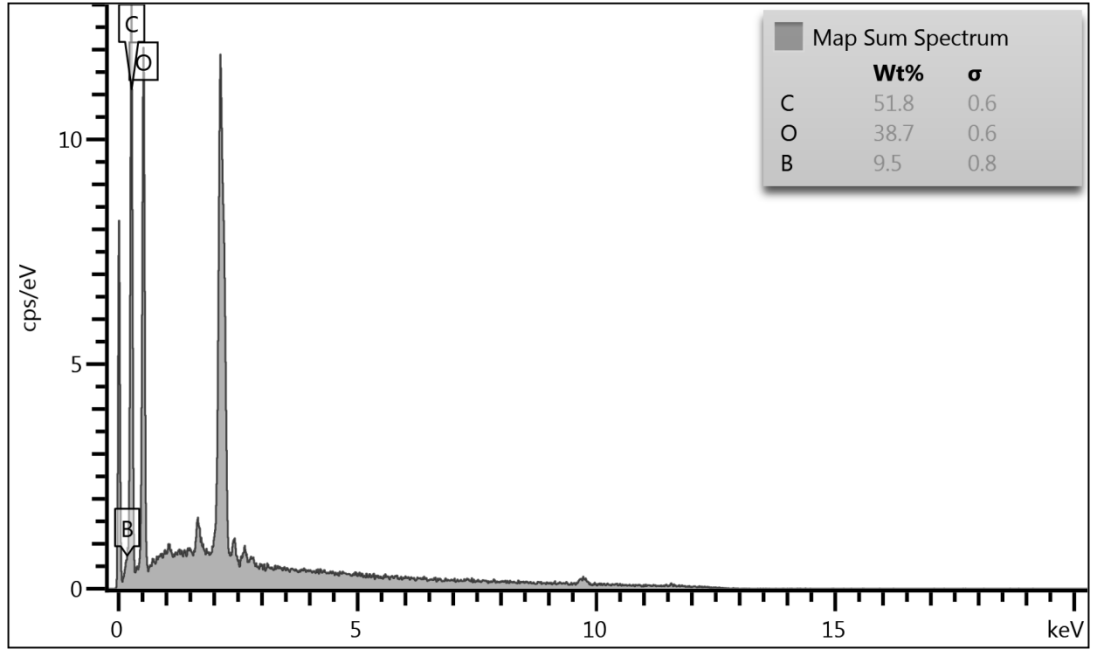
Şekil 6.28: PK_30Na₂B₄O₇_PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü.



Şekil 6.29: PK_30Na₂B₄O₇_PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği.



Şekil 6.30: Yıkama sonrası PK_30Na₂B₄O₇_PolyDADMAC SEM haritalama görüntüsü.



Şekil 6.31: Yıkama sonrası PK_30Na₂B₄O₇_PolyDADMAC numunesine ait EDX grafiği.

SEM-EDX analiz sonuçlarına göre kumaş üzerindeki C, O ve B oranları kütlece aşağıdaki Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: SEM-EDX kütlece element oranları.

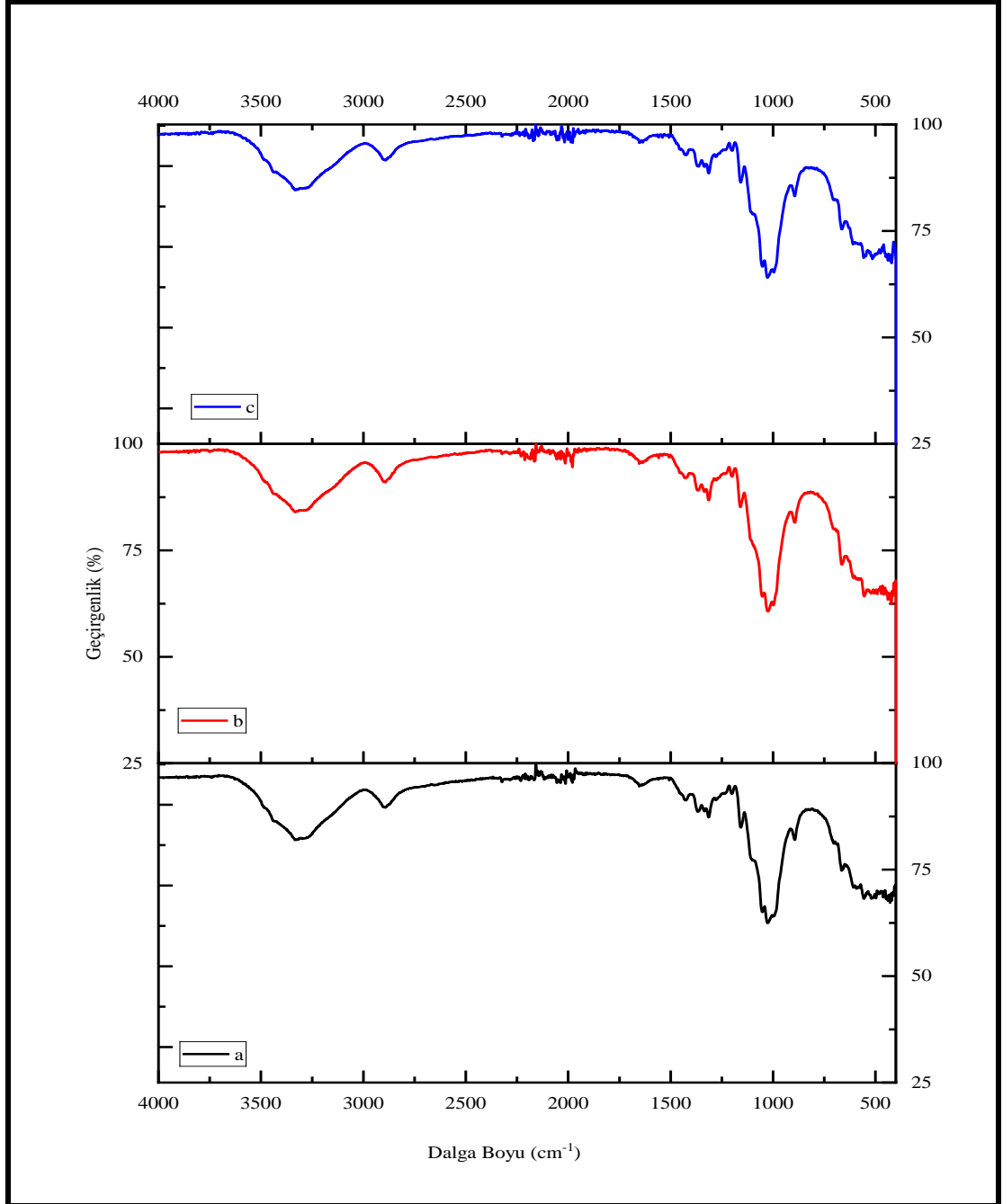
Kütlece C, O ve B Elementlerinin Oranı(%)			
Numune No.	C	O	B
PK	52,1	47,9	0
PK_10NaBO ₃	52,8	38,2	8
PK_20NaBO ₃	52,3	39,6	8,1
PK_30NaBO ₃	52,4	38,4	9,2
Yıkama Sonrası PK_30NaBO ₃	52,3	38,2	9,5
PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC	51,7	38,9	9,4
Yıkama Sonrası PK_30NaBO ₃ _PolyDADMAC	52,2	38,8	9,1
PK_10Na ₂ B ₄ O ₇	50,8	41,6	7,6
PK_20Na ₂ B ₄ O ₇	49,5	42,5	8
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	50,5	39,9	9,6
Yıkama Sonrası PK_30 Na ₂ B ₄ O ₇	51,4	39,5	9,1
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC	51,9	38,7	9,5
Yıkama Sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇ _PolyDADMAC	51,8	38,7	9,5

Kütlece element oranları incelendiğinde, en yüksek bor oranı 30 g/L derişimdeki çözelti uygulamalarında görülmüştür. Çalışmanın amacına bağlı olarak maksimum antibakteriyel aktiviteyi belirlemek için yıkama testleri dahil, çalışmadaki diğer analizler 30 g/L derişimde bor uygulanmış numuneler üzerinde yapılmıştır.

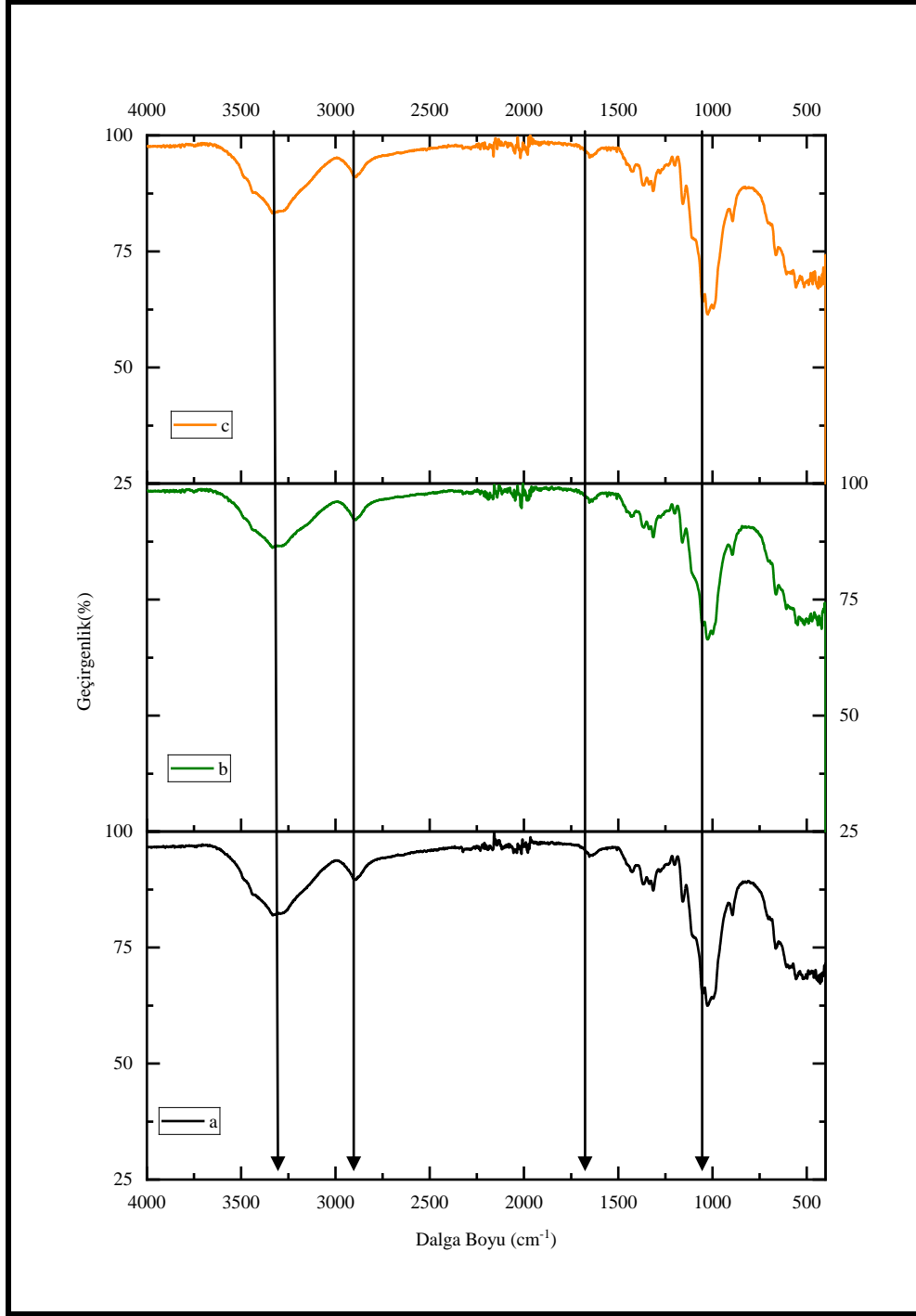
Bu sonuçlara göre perborat ve boraks uygulanan numunelerde 5 yıkama sonrası bor miktarının önemli ölçüde değişmediği, yıkama dayanımı güçlendirmek için kullanılan fiksatorün bu anlamda olumlu veya olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu nedenle diğer analizlerde, fiksatorün sonuçlara etki etmemesi açısından, bor bileşiklerinin uygulandığı PK_30NaBO₃, PK_30Na₂B₄O₇ ve bunların yıkama sonraları üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

6.3 FTIR Analiz Sonuçları

İşlem görmemiş pamuklu kumaş ve bor bileşikleri uygulanmış pamuklu kumaş numunelerinin yıkama öncesi ve sonrası bağ yapılarına ait FTIR grafikleri Şekil 6.32 ve 6.33'te gösterilmiştir.



Şekil 6.32: PK(a), PK₃₀NaBO₃(b) ve yıkama sonrası PK₃₀NaBO₃(c) numunelerine ait FTIR grafiği.



Şekil 6.33: PK(a), PK₃₀ Na₂B₄O₇ (b) ve yıkama sonrası PK₃₀Na₂B₄O₇ (c) numunlerine ait FTIR grafiği.

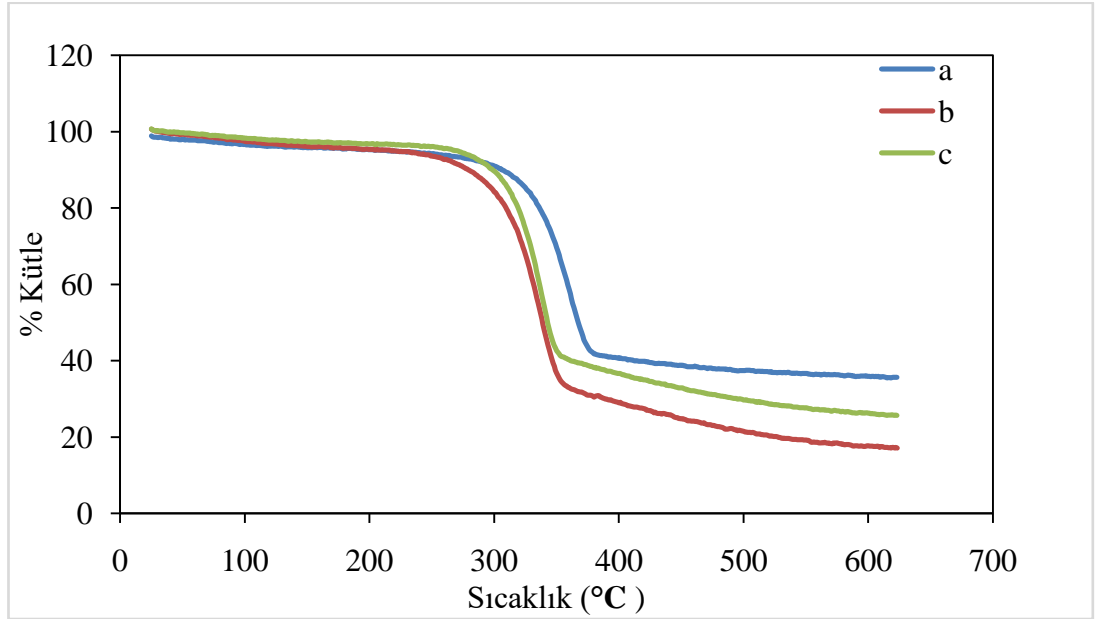
FTIR grafikleri incelendiğinde 3330 cm⁻¹'de gözlemlenen güçlü pik, selüloz, lignin ve suyun hidroksil (OH) gruplarına, 2896 cm⁻¹'deki pik, selüloz ve hemiselülozda bulunan C-H'nin gerilme titreşimine, 1622 cm⁻¹'deki pik liflerdeki suyun varlığına, 1360 ve 1315 cm⁻¹'deki absorpsiyon bantları, selüloz polisakkaritlerdeki aromatik halkaların sırasıyla C-H ve C-O gruplarının bükülme

titreşimlerine, 1032 cm^{-1} 'de gözlenen yoğun pik selülozdaki polisakkaritin (CO) ve (OH) gerilme titreşimleriyle ilgilidir (Portella ve diğ. 2016)

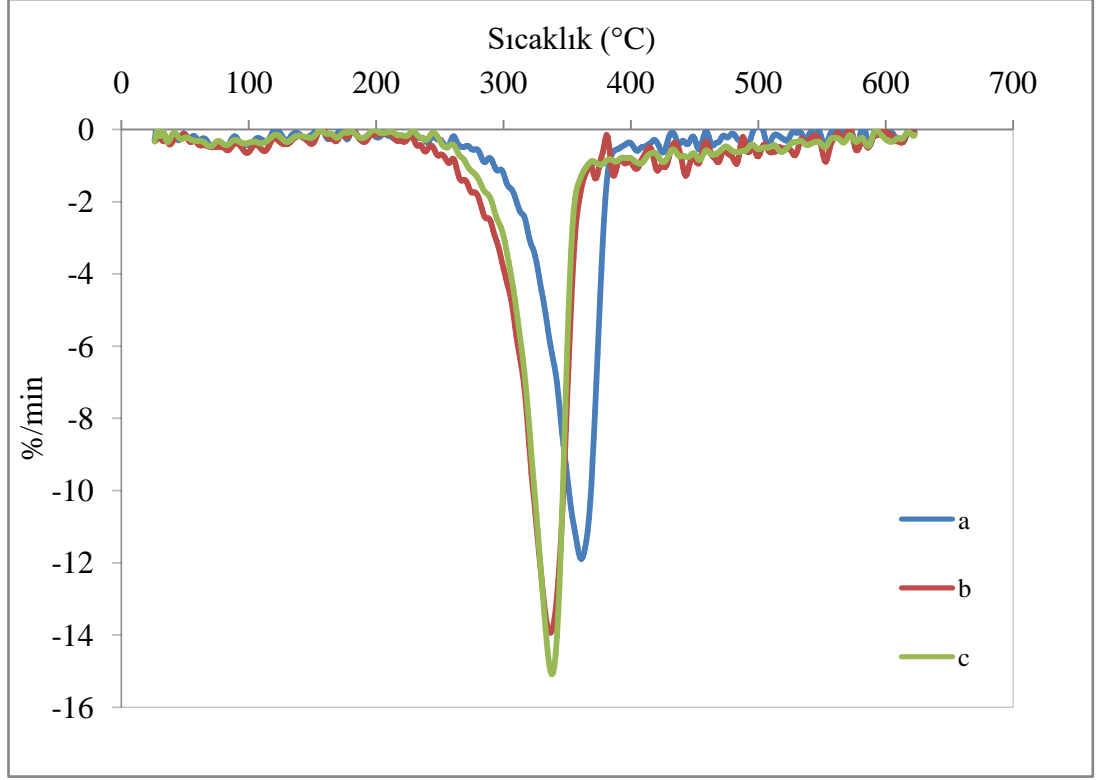
400-4000 cm^{-1} aralığında yapılan FTIR analizlerinde bağ yapılarında bir değişiklik görülmemekle beraber bor bileşikleri ile ilgili herhangi bir bağ yapısı da gözlemlenmemiştir. Bunun nedeninin bor miktarının çok düşük miktarda bulunması olarak düşünülmektedir.

6.4 TGA ve Sonuçları

Bor bileşikleri uygulanmış pamuklu kumaş numunelerin ısıl davranışlarının belirlenmesi için TGA uygulanmış olup, Şekil 6.34'te PK, PK₃₀NaBO₃ ve PK₃₀Na₂B₄O₇ numunelerine ait TGA termogramları verilmiştir.



Şekil 6.34: PK(a), PK₃₀NaBO₃(b), PK₃₀Na₂B₄O₇(c) numunelerine ait TGA termogramları



Şekil 6.35: PK(a), PK_30NaBO₃(b), PK_30 Na₂B₄O₇(c) numunelerine ait DTG grafiği

Şekil 6.35'te verilen PK, PK_30NaBO₃ ve PK_30Na₂B₄O₇ numunelerine ait termogramlar incelendiğinde, 120°C' a kadar absorbe edilen ve bağlı olan suyun ayrılmasından kaynaklı sırasıyla %3,3, %2,55 ve %1,73 kütle kaybı gözlemlenmiştir. PK numunesi için 280-410 °C sıcaklık aralığında, PK_30NaBO₃ ve PK_30Na₂B₄O₇ numunelerinin ise 240-400 °C sıcaklık aralığında ana termal bozunmaları gözlemlenmiş olup, bu bozunma pamuk liflerinin temel bileşeni olan α -selülozun bozunmasından kaynaklanmaktadır (Shahedifar ve Rezadoust 2013). PK numunesinde 280-410 °C sıcaklık aralığında yaklaşık %52 kütle kaybı gözlemlenmiş olup, sıcaklık değeri 625 °C'ye ulaştığında geriye kalan kütle miktarı yaklaşık %35'tir. PK_30NaBO₃ numunesinde 240-400 °C sıcaklık aralığında yaklaşık %66 kütle kaybı gözlemlenmiş olup, sıcaklık değeri 625 °C'ye ulaştığında geriye kalan kütle miktarı yaklaşık %17 iken, PK_30Na₂B₄O₇ numunesinde 240-400 °C sıcaklık aralığında yaklaşık %59 kütle kaybı gözlemlenmiştir. Sıcaklık değeri 625 °C'a ulaştığında geriye kalan kütle miktarı yaklaşık %25'tir.

Boraks ve perborat çözeltileri ile işlem gören pamuklu kumaş numunelerinin başlangıç termal bozunma sıcaklık değerleri referans pamuklu kumaş numunesinden

daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, pamuklu kumaş yüzeyindeki bor bileşiklerinin dehidrasyon reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır (Xie 2013).

Dehidrasyon reaksiyonuna boraks dekahidratın dehidrasyonu örnek olarak verilebilir. Yapısındaki 10 su molekülünden 8' inin 142 °C'de kaybedildiği, kalan 2 molekülün de 600 °C'ye kadar bağlı kaldığı rapor edilmiştir. (Thornber ve diğ. 2017). Bu nedenden dolayı Şekil 6.35'de görüldüğü gibi, bor bileşikleri uygulanmış pamuklu kumaş numunelerinin, 280 °C'de ana bozunmaya uğrayan pamuklu kumaş numunesine göre daha düşük sıcaklıkta bozunmalarına neden olduğu düşünülmektedir.

6.5 Mukavemet, pH ve Hidrofilite Sonuçları

Çalışmada kullanılan kumaş numunelerine ait mukavemet, pH, hidrofilite analizler sonuçları Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2: Tekstil numunelerine bor bileşiklerinin ve yıkamanın etkisi.

Kopma-Yırtılma Mukavemet, pH ve Hidrofilite Değerleri						
Numune	Kopma(N)		Yırtılma(N)		pH	Hidrofilite(s)
	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı		
PK	517	217	14,1	8,7	7,4	≤1
PK_30NaBO ₃	461	211	11,15	7,5	9,4	≤1
Yıkama Sonrası PK_30NaBO ₃	468	209	10,4	8,2	7,3	≤1
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	451	207	10,5	7,1	8,9	≤1
Yıkama Sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	516	217	10,2	7,8	7,2	≤1

Tablo 6.2' deki sonuçlar incelendiğinde perborat ve boraks uygulanan numunelerde uygulama sonrası mukavemet değerlerinin belirli düzeyde azaldığı, yıkama sonrasında ise kısmen arttığı görülmektedir. Bunun nedeni çözeltilerin emdirildiği kumaşların uygulama sonrası, orijinal yumuşaklığından uzaklaşması ve sertleşmesi olarak düşünülmektedir.

Numunelerin pH değerleri incelendiğinde işlem görmemiş kumaşın pH değeri 7,4'tür. 10 pH değerindeki perborat çözeltisi uygulanmış PK_30NaBO₃ numunesinin pH'ı 9,4'e yükselmiş, 5 yıkama sonrasında ise 7,3'e düşmüştür. Boraks çözeltisi

(pH=9,5) uygulanan PK_30Na₂B₄O₇ numunesinin pH'ı 8,9'a yükselmiş, yıkama sonrası 7,2'ye düşmüştür.

Uygulama yapılan kumaşların hiçbirinde antibakteriyellik özelliğini etkileyecek hidrofobik bir özellik tespit edilmemiştir. Bütün numuneler yaklaşık 1 saniye sürede suyu emme özelliğine sahiptir.

6.6 Beyazlık İndis Ölçüm Sonuçları

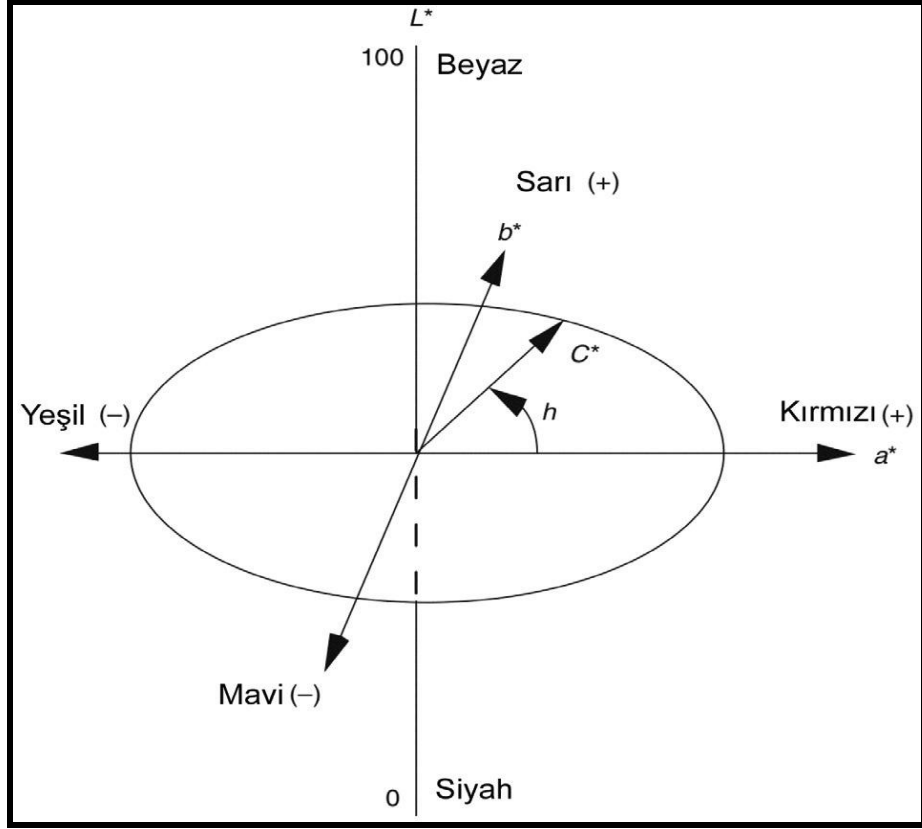
İşlem görmüş kumaş numunelerinin ve referans numunenin renk koordinatları, beyazlık indisi ve ΔE değerleri Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3: Beyazlık indisi ve renk koordinat değerleri.

Beyazlık indisi ve renk koordinat değerleri					
	L*	a*	b*	Beyazlık İndisi	ΔE
PK	95,54	-0,24	1,87	80,48	-
PK_30NaBO ₃	94,82	-0,65	1,81	78,95	0,63
Yıkama Sonrası PK_30NaBO ₃	95,18	-0,28	2,12	78,41	0,37
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	94,86	-0,23	1,74	79,38	0,29
Yıkama Sonrası PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	95,24	-0,17	1,37	82,00	0,68

L* değeri beyazlık ve siyahlığı (parlaklık), a* değeri kırmızılık ve yeşilliği, b* değeri ise sarılık ve maviliği rakamsal olarak ifade etmektedir (Özdemir ve Küçükpehlivan 2022).

L*, a*, b* değerleri Şekil 6.36'da koordinat düzlemi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.36: CIE renk uzayının gösterimi (Acar 2009).

İki kumaş arasındaki renk farklılığı L^* , a^* , b^* değerlerinden hesaplanan ΔE değeri ile rakamsal olarak gösterilebilir. ΔE değeri 1'den küçük ise renk farklılığı kabul edilebilir fakat 1'den büyükse renk farklılığı kabul edilemez olarak değerlendirilir (Yeşil 2010).

6.7 Antibakteriyel Aktivite Sonuçları

ASTM 2149 metoduna göre Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MRSA) ve *Escherichia coli* ATCC 8739 (*E. coli*) mikroorganizmaları ile yapılan analiz sonuçları Tablo 6.4 – Tablo 6,9'da gösterilmiştir. Bakteri sayısındaki azalma Eşitlik 5.2'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6.4: İşlem görmemiş referans numunenin MRSA üzerindeki antibakteriyel etkisi.

MRSA Analiz Sonuçları			
Numune	0. saat	24. saat	% Azalma
PK	697000	620000	11,05

Tablo 6.4 incelendiğinde işlem görmemiş kumaş numunesinde 0. Saat anındaki ilk MRSA sayısının 697000 olduğu, 24 saat sonra %11’lik azalma ile 620000’ e düştüğü görülmektedir.

Tablo 6.5: Yıkama öncesi numunelerin MRSA üzerindeki antibakteriyel etkisi.

MRSA Analiz Sonuçları			
Numune	C	T	% Azalma
PK_30NaBO ₃	620000	512000	17,42
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	620000	316000	49,03

PK numunesindeki 24 saat sonundaki MRSA koloni sayısı (C) 620000 iken, PK_30NaBO₃ ve PK_30Na₂B₄O₇ numunelerinde koloni sayısının sırasıyla 512000 ve 316000’e düştüğü Tablo 6.5’te görülmektedir. Buradaki azalma %17,4 ve %49’ dur.

Tablo 6.6: Yıkama sonrası numunelerin MRSA üzerindeki antibakteriyellik etkisi.

MRSA Analiz Sonuçları			
Numune	C	T	% Azalma
PK_30NaBO ₃	530000	390000	26,42
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	530000	440000	16,98

Tablo 6.6 incelendiğinde kumaş numunelerine yapılan 5 yıkama sonrasında PK_30NaBO₃ numunesinin azalma değerinin %26,4’e çıktığı görülmektedir. PK_30Na₂B₄O₇ numunesinde ise antibakteriyel etki %49 iken, 5 yıkama sonrasında bu değer %17’ye düşmektedir.

Tablo 6.7: İşlem görmemiş referans numunenin *E. coli* üzerindeki antibakteriyel etkisi.

<i>E.coli</i> Analiz Sonuçları			
Numune	0. saat	24. saat	% Azalma
PK	439000	380000	13,43

İşlem görmemiş kumaş (PK) ile yapılan analizde 0.saat anında ilk *E.coli* sayısının 439000 olduğu, 24 saat sonunda %13,4’ lük azalma ile 380000’ e düştüğü Tablo 6.7’de görülmektedir.

Tablo 6.8: Yıkama öncesi numunelerin *E. coli* üzerindeki antibakteriyel etkisi.

<i>E.coli</i> Analiz Sonuçları			
Numune	C	T	% Azalma
PK_30NaBO ₃	380000	207000	45,53
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	380000	231000	39,21

Tablo 6.8 incelendiğinde Gram negatif bakterisi olan *E.Coli* için PK numunesindeki 24 saat sonundaki koloni sayısı (C) 380000 iken, PK_30NaBO₃ ve PK_30Na₂B₄O₇ numunelerinde koloni sayısının sırasıyla 207000 ve 231000'e düştüğü görülmektedir. Buradaki azalma %45,5 ve %39'dur.

Tablo 6.9: Yıkama sonrası numunelerin *E. coli* üzerindeki antibakteriyel etkisi.

<i>E.coli</i> Analiz Sonuçları			
Numune	C	T	% Azalma
PK_30NaBO ₃	670000	125000	81,34
PK_30Na ₂ B ₄ O ₇	670000	92000	86,27

Gram negatif bakterisi olan *E. coli* üzerinde PK_30NaBO₃ numunesinin %45,5 etki gösterdiği, 5 yıkama sonrasında ise bu değer %81'e çıktığı Tablo 6.9'da görülmektedir. PK_30Na₂B₄O₇ numunesinde ise antibakteriyel etki %39 iken, 5 yıkama sonrasında bu değer %86'ya kadar yükseldiği görülmektedir.

6.8 Tekstil Uygulamalarında Kullanılan Bazı Antibakteriyel Kimyasalların Maliyetleri

Günümüzde tekstil ürünlerine gelişen teknolojiyle birlikte birçok nitelik kazandırılmaktadır. Artan hammadde, enerji, işçilik maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel beyazlatma, boyama, baskı gibi işlemlerle birlikte güç tutuşurluk, su iticilik, antibakteriyellik gibi katma değerli özelliklerin uygulamalarında da verimlilik ve tasarruf çalışmaları yapmak önem kazanmıştır. Bu verimlilik ve tasarruf çalışmalarında en önemli parametrelerin başında kullanılan kimyasal ve proses maliyetleri gelmektedir. Antibakteriyel tekstil üretiminde kullanılan geleneksel terbiye işlemleri yüksek verimliliğe ve düşük uygulama

maliyetine sahiptir (Gokce ve diğ. 2020). Bu tez çalışması kapsamında bor bileşiklerinin pamuklu kumaş yüzeyine uygulanmasında geleneksel terbiye işlemlerinin uygulanmış olması süreç maliyetini de ekonomik kılmaktadır.

Süreç maliyetlerinin yanı sıra kumaş numunelerine uygulanan bor bileşiklerinin, antibakteriyel uygulamalarda kullanılan farklı kimyasallarla maliyet karşılaştırmalarına çalışmada yer verilmiştir. Bu kimyasallar kitosan (Biyopol), nano bor (Nanografi), nano gümüş (Nanografi), nano çinko oksit (Nanografi), nano titanyum oksit (Nanografi), nano gümüş (Nanografi) olarak belirlenip sodyum perborat tetrahidrat (Merck) ve boraks dekahidrat (Tekkim) ile birim fiyatları Tablo 6.10'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.10: Antibakteriyel kimyasallara ait birim fiyatlar.

Kimyasal Adı	Özellikler	Birim Fiyatı (TL/kg)
Kitosan	%95 Deasetile	7.500
Gümüş nano partikül	%99,5 saflık,45-75 nm	200.000
Çinko oksit nano partikül	%99,5 saflık, 50 nm	25.000
Titanyum dioksit nano partikül	%99,5 saflık, 45 nm	45.000
Bor nano partikül	%99,5 saflık, 100 nm	155.000
Sodyum perborat tetrahidrat	%99,5 saflık	1000
Boraks dekahidrat	%99,5 saflık	250

Birim fiyatlar karşılaştırıldığında sodyum perborat ve boraksın diğer nano partiküllere ve kitosana göre daha ucuz olduğu görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sodyum perborat tetrahidrat ve boraks dekahidrat bileşiklerinin tekstil numunesi üzerindeki antibakteriyel etkileri incelenmiştir. Bu bileşikler %100 pamuk kumaşa 10,20 ve 30 g/L derişimde emdirme metoduyla uygulanmıştır.

Uygulama yapılan kumaşların SEM-EDX verileri incelendiğinde, 30 g/L derişimde perborat ve boraks uygulanmış kumaş üzerinde referans numuneye göre kütlece %9-9,5 aralığında bor elementi tespit edilmiştir. Bu değerler yıkama sonrasında da yine aynı değer aralığında kalmıştır. Bu durum borun yıkamaya karşı kumaş yüzeyinde iyi bir tutunma gerçekleştiğini göstermektedir. SEM haritalama görüntülerine göre bu tutunma homojen bir şekilde gerçekleşmiştir.

Numunelerin uygulama öncesi ve sonrasındaki bağ yapıları ile ilgili değişikliği gözlemek için 400-4000 cm^{-1} aralığında yapılan FTIR analizlerinde, bağ yapılarında bir değişiklik görülmemekle beraber bor bileşikleri ile ilgili herhangi bir bağ yapısı da gözlemlenmemiştir. Bunun nedeninin bor miktarının çok düşük miktarda bulunması olarak düşünülmektedir.

TGA analiz sonuçlarında PK, PK_{30NaBO₃} ve PK_{30Na₂B₄O₇} numunelerinde, 120 °C sıcaklığa kadar absorbe edilen ve bağlı olan suyun ayrılmasından kaynaklı sırasıyla %3,3, %2,55 ve %1,73 kütle kaybı gözlenmiştir. Pamuk liflerinin temel bileşeni olan α -selülozun bozunmasından kaynaklı, PK numunesi için 280-410 °C sıcaklık aralığında, PK_{30NaBO₃} ve PK_{30Na₂B₄O₇} numunelerinin ise 240-400 °C sıcaklık aralığında ana termal bozunmaları gözlemlenmiştir. Bu ana bozunmalarda PK numunesinde %52, PK_{30NaBO₃} numunesinde %66, PK_{30Na₂B₄O₇} numunesinde %59 kütle kaybı gözlemlenmiş olup, sıcaklık değeri 625 °C' e ulaştığında geriye kalan kütle miktarı sırasıyla yaklaşık %35, %17 ve %25 ' tir. Uygulama yapılan pamuklu kumaş numunelerinin termal bozunmasının referans numuneye göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesinin nedeni, sodyum perborat ve boraks dekahidrat bileşiklerinin molekül yapısındaki bağlı suyun, pamuklu kumaşlardaki bozunma sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda ayrılması olduğu düşünülmektedir.

Kumaş numunelerinin uygulama öncesi ve sonrasında çözgü kopma mukavemeti, referans numuneye (PK) göre PK_30NaBO₃ için 517 N'den 461 N'ye düşmüştür. Yıkama sonrasında ise 468 N'ye yükselmiştir. PK_30Na₂B₄O₇ için ise 451 N'ye düşen mukavemet değeri, yıkama sonrası 516 N'ye yükselmiştir. Bu mukavemet değerlerindeki değişim oranları yaklaşık olarak çözgü-atkı boyunca yırtılma ve kopma mukavemetleri için de görülmüştür. Uygulama yapılan kumaşlardaki yumuşaklık kaybı, mukavemet değerlerini olumsuz etkilemiştir fakat yıkama sonrasında mukavemet değerlerinde olumlu yönde iyileşme tespit edilmiştir.

Tekstil malzemeleri için önemli parametrelerden olan kumaş hidrofilité değeri, tüm numunelerde ≤ 1 saniyedir. Bu nem tutma özelliği, bakteri üremesi için elverişli bir ortam hazırlasa da tüm numunelerdeki eşit hidrofilité değeri, antibakteriyel özelliğin karşılaştırılmasında etkin bir parametre olarak değerlendirilmemiştir.

Tez çalışmasında uygulanan işlemlerin boyasız beyaz kumaşın beyazlık değerleri üzerindeki etkileri spektrofotometre cihazı ile CIE beyazlık indisleri üzerinden değerlendirilmiştir. İşlem görmüş kumaş numunesinin referans kumaş numunesine göre ΔE değerleri < 1 olarak ölçülmüştür. Bu değer renk ve beyazlık değerlerinin kabul edilebilir sınır aralığında olduğunu göstermektedir.

Sodyum perborat ve boraks bileşikleri 30 g/L konsantrasyonda suda çözündüklerinde sırasıyla pH 10 ve 9.5 değerinde çözeltiler oluşturmaktadır. Bu çözeltiler pH 7,4 değerindeki pamuk kumaşa uygulandığında, kumaş pH değerleri PK_30NaBO₃ için 9,4, PK_30Na₂B₄O₇ için 8,9'a çıkmaktadır. Bu değerler 5 yıkama sonrasında 7,3 ve 7,2'ye düşmektedir.

Bakterilerin yaşam parametreleri arasında olan pH, antibakteriyel aktivite değerlerine doğrudan etki etmektedir. Antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu bilinen ZnO nano parçacıklarının *E. coli* ve MRSA üzerindeki etkileri incelendiğinde, pH=4 ve 5' te maksimum antibakteriyel aktiviteye sahip oldukları tespit edilmiştir. Bunun nedeni, asidik ortamda ZnO nano parçacıklarının çözünürlüğünün artması ve bununla birlikte toksik özelliğinin artması olarak açıklanmaktadır. Nötr ve alkali ortam farkının ise antibakteriyel aktivite üzerindeki etkisinin minimal olduğu tespit edilmiştir (Saliani ve diğ. 2015). Bu nedenle pamuklu kumaş numunelerindeki pH

değişimlerinin antibakteriyel etkinlik değerlerine etki edebileceği göz önünde bulundurulmuştur.

ASTM 2149 metoduna göre yapılan antibakteriyel aktivite analizlerinde PK_30NaBO₃ numunesinin *MRSA* üzerinde %17,4 etki gösterdiği, 5 yıkama sonrasında ise bu değer %26,4'e çıktığı görülmektedir. PK_30Na₂B₄O₇ numunesinde ise antibakteriyel etki %49 iken, 5 yıkama sonrasında bu değer %17'ye düşmektedir.

Gram negatif bakterisi olan *E.Coli* üzerinde PK_30NaBO₃ numunesinin %45,5 etki gösterdiği, 5 yıkama sonrasında ise bu değer %81'e çıktığı görülmektedir. PK_30Na₂B₄O₇ numunesinde ise antibakteriyel etki %39 iken, 5 yıkama sonrasında bu değer %86'ya kadar yükseldiği görülmektedir. Bununla birlikte işlem görmemiş kumaş numunesinde de yaklaşık %11-13 bakteri azalması tespit edilmiştir. Akbar ve diğ. yapmış oldukları çalışmada işlem görmemiş kumaşta *MRSA* bakteri koloni sayısının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin bakteriler ve kumaş yüzeylerinin elektrostatik farklılıklardan kaynaklandığı ve bakterinin kumaş yüzeyine tutunamadığı olarak yorumlanmıştır.

Antibakteriyel etkinliğin incelenmesi ile birlikte tez çalışmasında kullanılan sodyum perborat ve boraks dekahidratın, farklı literatür çalışmalarında antibakteriyel kimyasal olarak kullanılan çinko oksit, titanyum dioksit, gümüş, bor vb. nano parçacıklara ve kitosana göre maliyet avantajının olduğu görülmektedir.

Tüm bu sonuçlar incelendiğinde bor uygulanmış numunelerde antibakteriyel aktivite, bakteri türüne göre ve yıkama etkisine göre değişiklik göstermektedir. Yıkama sonrası PK_30Na₂B₄O₇ numunesinin aktivitesi %49'dan %17'ye düşmüşken, diğer numunelerde aktivite değeri özellikle *E. coli* üzerinde yaklaşık %80-85 değerlerine kadar yükselmiştir. Bu farklılıkların nedeni numune pH değerlerindeki farklılıklarla birlikte kumaş numunelerinin yüzeyindeki elektrostatik farklılıklar olduğu düşünülmektedir.

Tekstil bitim işlemlerinde cilt sağlığı bakımından yüksek pH'lı ürünler, tercih edilen bir durum değildir. Bu nedenle PK_30NaBO₃ ve PK_30Na₂B₄O₇ numunelerinin yıkama sonrasındaki pH=7 değerine yakın değerlerdeki antibakteriyel aktivitesinin incelenmesi, sektörde uygulanabilirlik açısından daha isabetli olacaktır.

Sodyum perborat ve boraks dekahidrat, diğer antibakteriyel kimyasallarla karşılaştırıldığında maliyet avantajlarının olduğu görülmektedir. Birim fiyatları daha yüksek olan antibakteriyel kimyasallarla bor bileşiklerinin birlikte kullanımı bu alanda maliyeti düşürebilir. Literatüre ve sektöre katkı sağlamak amacıyla bu konu ile ilgili çalışmalar da yapılmalıdır.

Sonuç olarak perborat ve boraks uygulanan numunelerin kumaştaki kütlece %9-9,5 aralığındaki bor elementi sayesinde, yıkama sonrasındaki yaklaşık 7 pH'ta, *E. coli* zerindeki \geq %80 antibakteriyel aktivitesi tespit edilmiştir.

8. KAYNAKLAR

Abram, S. L. and Fromm, K. M., “Handling (nano) silver as antimicrobial agent: therapeutic window, dissolution dynamics, detection methods and molecular interactions”, *Chemistry–A European Journal*, 26(48), 10948-10971, (2020).

Acar, K., “Fluoresans renkler içeren boyama reçetesi tahmin algoritmalarında başarının artırılmasına yönelik yeni bir yöntem” Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).

Akarşlan, F. Altınay, Ö., “Doğal Antimikrobiyal Maddeler İle İşlem Görmüş Kumaşların Fiziksel Ve Antimikrobiyal Özelliklerinin İncelenmesi”, *Anka E-Dergi*, 2(2), 35-47, (2017).

Akbar, W., Noor, M. R., Kowal, K., Syed, T., Soulimane, T. and Basim, G. B., “Characterization and antibacterial properties of nanoboron powders and nanoboron powder coated textiles”, *Advanced Powder Technology*, 28(2), 596-610, (2017).

Andra, S., Balu, S. K., Jeevanandam, J., & Muthalagu, M., “Emerging nanomaterials for antibacterial textile fabrication”, *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 394, 1355-1382, (2021).

Ardean, C., Davidescu, C. M., Nemeş, N. S., Negrea, A., Ciopec, M., Duteanu, N. and Musta, V., “Factors influencing the antibacterial activity of chitosan and chitosan modified by functionalization”, *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14), 7449, (2021).

ASTM E2149-13a. Standart test method for determining the antimicrobial activity of antimicrobial agents under dynamic contact conditions. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials: 2013.

ASTM E313-20. Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials: 2020.

Biyopol, “%95 DD KİTOSAN-1 kg”, (1 April 2024), <https://tr.biyopol.com.tr/product-page/95-dd-kitosan-1-kg>, (2024).

Brahma, S., Islam, M. R., Dina, R. B., “Role of mercerizing condition on physical and dyeing properties of cotton knit fabric dyed with reactive dyes”, *Int. J. Curr. Eng. Technol*, 8, 1052-1057, (2018).

Briggs, M. “Boron oxides, boric acid, and borates”, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, (2000).

Brooks, R. E., Moore, S. B., “Alkaline hydrogen peroxide bleaching of cellulose”, *Cellulose*, 7(3), 263-286, (2000).

Cardoso, P., Glossop, H., Meikle, T. G., Aburto-Medina, A., Conn, C. E., Sarojini, V. and Valery, C., “Molecular engineering of antimicrobial peptides: Microbial targets, peptide motifs and translation opportunities”, *Biophysical Reviews*, 13, 35-69, (2021).

Cebeci, E., Yüksel, B. and Şahin, F., “Anti-cancer effect of boron derivatives on small-cell lung cancer”, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 70, 126923, (2022).

Cengiz, A. A., “Yıkama İşleminin Havlu ve Peştamalların Performans ve Tutum (KAWABATA-KES-F) Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2021).

Chakrabarti, S. and Banerjee, P., “Preparation and characterization of multifunctional cotton fabric by coating with sonochemically synthesized zinc oxide nanoparticle-flakes and a novel approach to monitor its self-cleaning property”, *The Journal of The Textile Institute*, 106(9), 963-969, (2015).

Chatzimitakos, T. and Stalikas, C., “Antimicrobial properties of carbon quantum dots”, *Nanotoxicity*, 301-315, (2020).

Çelebi, O., Çelebi, D., Başer, S., Aydın, E., Rakıcı, E., Uğraş, S. and Abd El-Aty, A. M., “Antibacterial activity of boron compounds against biofilm-forming pathogens”, *Biological Trace Element Research*, 202(1), 346-359, (2024).

Das, B. C., Nandwana, N. K., Das, S., Nandwana, V., Shareef, M. A., Das, Y. and Evans, T., “Boron chemicals in drug discovery and development: Synthesis and medicinal perspective”, *Molecules*, 27(9), 2615, (2022).

Erkan, N., “Boraks dekahidrat kristalizasyonu üzerine safsızlıkların etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2002).

Gao, D., Li, X., Li, Y., Lyu, B., Ren, J. and Ma, J., “Long-acting antibacterial activity on the cotton fabric”, *Cellulose*, 28, 1221-1240, (2021).

Gokce, Y., Aktas, Z., Capar, G., Kutlu, E., & Anis, P. “Improved antibacterial property of cotton fabrics coated with waste sericin/silver nanocomposite”, *Materials Chemistry and Physics*, 254, 123508, (2020).

İpek, Y. and Ertekin, Ö., “Developing antibacterial cotton fabric with zinc borate impregnation process”, *Fibers and Polymers*, 22(10), 2826-2833, (2021).

Jin, S. E. and Jin, H. E., “Antimicrobial activity of zinc oxide nano/microparticles and their combinations against pathogenic microorganisms for biomedical applications: From physicochemical characteristics to pharmacological aspects”, *Nanomaterials*, 11(2), 263, (2021).

Khan, A.M., Islam, M.M. and Khan, M.M.R., “Chitosan incorporation for antibacterial property improvement of jute-cotton blended denim fabric”, *The Journal of The Textile Institute*, 111(5), 660-668, (2020).

Kim, S. H., Semenya, D. and Castagnolo, D. “Antimicrobial drugs bearing guanidine moieties: A review”, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 216, 113293, (2021).

Korica, M., Peršin, Z., FrasZemljič, L., Mihajlovski, K., Dojčinović, B., Trifunović, S., and Kostić, M. M., “Chitosan nanoparticles functionalized viscose fabrics as potentially durable antibacterial medical extiles”, *Materials*, 14(13), 3762, (2021).

Kwaśniewska, D., Chen, Y. L. and Wieczorek, D. “ Biological activity of quaternary ammonium salts and their derivatives”, *Pathogens*, 9(6), 459, (2020).

Li, J., Tian, X., Hua, T., Fu, J., Koo, M., Chan, W. and Poon, T., “Chitosan natural polymer material for improving antibacterial properties of textiles”, *ACS Applied Bio Materials*, 4(5), 4014-4038, (2021).

Mouro, C., Gomes, A. P., Costa, R. V., Moghtader, F. and Gouveia, I. C. “The sustainable bioactive dyeing of textiles: A novel strategy using bacterial pigments, natural antibacterial ingredients, and deep eutectic solvents”, *Gels*, 9(10), 800, (2023).

Nanografi, “Silver (Ag) Nanopowder/Nanoparticles, Purity: 99.95% , Size: 45-75 nm, w/~0.25% PVP”, (1 April 2024), <https://nanografi.com/nanoparticles/silver-ag-nanopowder-nanoparticles-purity-99-95-size-45-75-nm-w-0-25-pvp/>, (2024).

Nanografi, “Titanium Dioxide (TiO₂) Nanopowder/Nanoparticles, Rutile, High Purity: 99.5+ %, Size: 45 nm”, (1 April 2024), <https://nanografi.com/nanoparticles/titanium-dioxide-tio2-nanopowder-nanoparticles-rutile-high-purity-99-5-size-45-nm/>, (2024).

Nanografi , “Zinc Oxide (ZnO) Nanopowder/Nanoparticles, Purity: 99.5+%, Size: 30-50 nm”, (1 April 2024), <https://nanografi.com/nanoparticles/zinc-oxide-zno-nanopowder-nanoparticles-purity-99-5-size-30-50-nm/>, (2024).

Özdemir, L., Büyükpehlivan, G. A., “Dijital Fotoğrafçılıkta Iso Değeri Değişiminin Renk Evrenleri Ve Delta E (Δe) Değerleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi”, *Tarih Okulu Dergisi*, 15(56), 685-703, (2022)

Portella, E. H., Romanzini, D., Angrizani, C. C., Amico, S. C. and Zattera, A. J., “ Influence of stacking sequence on the mechanical and dynamic mechanical

properties of cotton/glass fiber reinforced polyester composites”, *Materials Research*, 19, 542-547, (2016).

Saliani, M., Jalal, R. and Goharshadi, E. K., “Effects of pH and Temperature on Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanofluid Against *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus*”, *Jundishapur Journal of Microbiology*, 8(2), L1, (2015).

Sayın, Z., Uçan, U. S. and Sakmanoglu, A., “Antibacterial and antibiofilm effects of boron on different bacteria”, *Biological Trace Element Research*, 173, 241-246, (2016).

Shahedifar, V. and Rezaoust, A. M., “Thermal and mechanical behavior of cotton/vinyl ester composites: Effects of some flame retardants and fiber treatment”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32(10), 681-688, (2013).

Tezcan, E. and Büyükakıncı B. Y., “Antibacterial properties of wool fabrics treated with 8-hydroxyquinoline and boron compounds”, *Industria Textila*, 71(2), 168-173, (2020).

Thornber, S. M., Heath, P. G., Da Costa, G. P., Stennett, M. C. and Hyatt, N. C., “The effect of pre-treatment parameters on the quality of glass-ceramic wasteforms for plutonium immobilisation, consolidated by hot isostatic pressing”, *Journal of Nuclear Materials*, 485, 253-261, (2017).

Toprak, T., “Pamuklu kumaşlarda kombine enzim proseslerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2014).

TSE, Türk Standartları Enstitüsü. *Kasarlı pamuklu tekstil mamullerinin su emme özelliğinin tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 07 Şubat 1985, TS EN 866.

TSE, Türk Standartları Enstitüsü. *Kumaşların gerilme özellikleri - Bölüm 2: En büyük kuvvetin tayini - Kavrama metodu* Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 29 Nisan 2014, TS EN ISO 13934-2.

TSE, Türk Standartları Enstitüsü. *Kumaşların yırtılma özellikleri- Bölüm 2: Pantolon biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvvetinin tayini (tek yırtma metodu)*, Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 13 Mart 2002, TS EN ISO 13937-2.

TSE, Türk Standartları Enstitüsü. *Sulu özütte ph tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 19 Mart 2020, TS EN ISO 3071.

TSE, Türk Standartları Enstitüsü. *Tekstil deneyleri için- Ev tipi çamaşır makinesi ile yıkama ve kurutma işlemleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Kabul 05 Haziran 2012, TS EN ISO 6330 5A.

Xie, K., Gao, A. and Zhang, Y., “Flame retardant finishing of cotton fabric based on synergistic compounds containing boron and nitrogen”, *Carbohydrate Polymers*”, 98(1), 706-710, (2013).

Younis, A. B., Haddad, Y., Kosaristanova, L. and Smerkova, K. “Titanium dioxide nanoparticles: Recent progress in antimicrobial applications”, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 15(3), e1860, (2023).

Yeşil, Y., “Melanj elyaf karışımlarında renk değerlerinin yeni bir algoritma geliştirilerek tahmin edilmesi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, (2010).

Yüksel, G. Y., “Sodyum Perborat Kristalizasyonunun Stokiyometrik Ve Stokiyometrik Olmayan Şartlarda İncelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1989).

Yüksel, G. Y., Titiz, S. and Bulutcu, A. N., “Solubility of sodium perborate tetrahydrate in water and sodium metaborate solutions”, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 41(3), 586-588, (1996).

Yünlü, K., “Bor: Bileşikleri, Sentez Yöntemleri, Özellikleri, Uygulamaları”, *BOREN*, (2016).