

**GRAFEN OKSİT İLE KAPLANAN TEKSTİL
YÜZEYLERİNİN ÇEVRE DOSTU
İNDİRGENMESİ, FONKSİYONEL
ÖZELLİKLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE
İNCELENMESİ**

NERGİS DEMİREL GÜLTEKİN

DOKTORA TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. İsmail USTA

EŞ-DANIŞMAN

Prof. Dr. Bahattin YALÇIN

İSTANBUL, 2021

**GRAFEN OKSİT İLE KAPLANAN TEKSTİL
YÜZEYLERİNİN ÇEVRE DOSTU
İNDİRGENMESİ, FONKSİYONEL
ÖZELLİKLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE
İNCELENMESİ**

NERGİS DEMİREL GÜLTEKİN

(723415007)

DOKTORA TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tekstil Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. İsmail USTA

EŞ-DANIŞMAN

Prof. Dr. Bahattin YALÇIN

İSTANBUL, 2021

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı Tekstil Mühendisliği programında gerçekleştirilmiştir.

Doktora çalışmam süresince bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini paylaşan, ihtiyaç duyduğum anda ilgi ve desteklerini her zaman gösteren tez danışmanlarım Sayın Prof. Dr. İsmail USTA'ya ve Sayın Prof. Dr. Bahattin YALÇIN'a çok teşekkür ederim.

Tez izleme komitesinde yer alan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Metin YÜKSEK'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÖZYAZGAN'a değerli katkıları, ilgi ve destekleri için teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince her zaman fikir alışverişinde bulunduğumuz, manevi desteğini hissettiğim ve birçok konuda yardımına başvurduğum Doç. Dr. Erhan SANCAK'a ve Arş.Gör. Onur ATAĞ'a, FTIR ve SEM analizlerinde yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Meral ÖZOMAY'a çok teşekkür ederim.

Çalışma hayatımda beni her zaman destekleyen, her koşulda yanımda olan, bilgi ve deneyimlerini her zaman paylaşarak bana yol gösteren, ilgisi, anlayışı ve sevgisiyle zor ve sıkıntılı zamanlarımı unutturan, hayatımda olmasından sonsuz mutluluk duyduğum değerli eşim Dr. Öğr. Üyesi Cenkkut GÜLTEKİN'e çok teşekkür ederim.

Dünyaya gelişiyle hayatımızın anlamı, neşesi, güneşi olan, bana annelik duygusunu yaşatan canım kızım Ece'ye sonsuz teşekkür ederim. Daha oynayacak çok oyun bulacağız.

Hayatımın her anında yanımda olan, eğitim-öğretim hayatımda destekleyen, bu günlere gelmemde en çok emeği olan ailem, annem Nevin DEMİREL ve babam Necdet DEMİREL'e ve canım kardeşlerim Cengiz ve Ceyhun DEMİREL'e teşekkür ederim.

Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne tez çalışmasını FEN-C-DRP-141118-0592 nolu proje kapsamında destekledikleri için teşekkür ederim.

Nisan, 2021

Nergis DEMİREL GÜLTEKİN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	vi
ABSTRACT	ix
YENİLİK BEYANI.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xvi
TABLO LİSTESİ.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Grafen.....	1
1.1.1. Grafenin özellikleri.....	3
1.1.2. Grafenin üretimi	4
1.2. Grafen Oksit.....	12
1.2.1. Grafen oksitin indirgenmesi.....	15
1.2.2. Grafen oksitin indirgenmesinde uygulanan yöntemler.....	16
1.2.2.1. Termal yöntem.....	16
1.2.1.2. Kimyasal yöntem.....	16
1.2.1.3. Elektrokimyasal yöntem	17
1.2.1.4. Mikrodalga yöntemi.....	18
1.2.1.5. Fotokimyasal yöntem.....	18
1.3. Grafen Oksitin Tekstil Yüzeylerine Uygulanması.....	19
1.3.1. Daldırma yöntemiyle kaplama.....	19
1.3.2. Rakle ile kaplama	20
1.3.3. Şablon baskı	21
1.3.4. İnk-jet baskı.....	22
1.4. Grafenin Tekstilde Uygulama Alanları	24

1.4.1. Tekstil esaslı sensörler	25
1.4.2. UV koruyucu tekstiller	28
1.4.3. Hidrofobik tekstiller	31
1.4.4. Isınabilen tekstiller	33
1.4.5. Güç tutuşur tekstiller	36
1.4.6. Tekstil esaslı enerji depolama	38
1.4.7. Antibakteriyel tekstiller	41
1.4.8. Elektromanyetik kalkanlama özellikli tekstiller.....	44
1.5. Tekstil yüzeylerin GO ile kaplanmasıyla ilgili literatür araştırması	46
1.6. Grafen oksit indirgenmesinde çevre dostu maddelerinin kullanımı ile ilgili literatür araştırması	70
1.7. Çalışmada kullanılan çevre dostu indirgeme maddeleri ve özellikleri	86
1.7.1. Keçiboynuzu	86
1.7.2. Kuşburnu.....	87
1.7.3. Karanfil	88
2. MATERYAL VE YÖNTEM	90
2.1. Materyal.....	90
2.1.1. Kullanılan kimyasallar	90
2.1.2. Kullanılan cihazlar	92
2.2. Yöntem	93
2.2.1. Grafen oksit sentezi	93
2.2.2. Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa ön işlem uygulanması	95
2.2.3. Laboratuar tipi Jigger boyama makinesinde kaplama uygulaması	95
2.2.4. GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın toz ekstraktlar ile indirgenmesi	97
2.3. Karakterizasyon teknikleri.....	101

2.4. İstatistiksel analiz.....	104
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	105
3.1. Sentezlenen grafen oksitin karakterizasyonu.....	105
3.1.1. XRD analizi.....	105
3.1.2. FTIR analizi	106
3.1.4. SEM analizi.....	107
3.1.5. TGA analizi.....	109
3.2. GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın özelliklerinin değerlendirilmesi	110
3.2.1. FTIR analizi	110
3.2.2. SEM analizi.....	111
3.2.3. Renk ölçüm sonuçları	114
3.2.4. Sürtmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi	116
3.2.5. Patlama mukavemeti sonuçları	117
3.2.6. Yüzey direnci ölçüm sonuçları.....	120
3.2.7. UV geçirgenlik analizi.....	121
3.3. GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın çevre dostu ekstraktlar ile indirgenmesinin değerlendirilmesi	122
3.3.1. XRD analizi.....	122
3.3.2. TGA analizi.....	125
3.3.3. FTIR analizi	131
3.3.4. SEM analizi.....	135
3.3.5. Renk ölçüm sonuçları	139
3.3.6. Sürtmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi	145
3.3.7. Patlama mukavemeti sonuçları	150
3.3.8. Yüzey direnci ölçüm sonuçları.....	158

3.3.9. UV geçirgenlik analizi.....	161
3.4. Çevre dostu ekstraktlar ile indirgenmiş GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın yıkama dayanımının değerlendirilmesi	167
3.4.1. SEM analizi.....	167
3.4.2. Renk ölçüm sonuçları	170
3.4.3. Sürtmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi	176
3.4.4. Patlama mukavemeti sonuçları	180
3.4.5. Yüzey direnci ölçüm sonuçları.....	194
3.4.6. UV geçirgenlik analizi.....	200
3.4.7. Antibakteriyel aktivite testi.....	209
4. SONUÇLAR.....	211
KAYNAKLAR.....	222
EK 1.....	250
EK 2.....	262
ÖZGEÇMİŞ	280

ÖZET

GRAFEN OKSİT İLE KAPLANAN TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ÇEVRE DOSTU İNDİRGENMESİ, FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasının amacı, çevre dostu malzemelerle indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa fonksiyonel özellikler kazandırmaktır. Bu kapsamda, grafen oksit ile kaplanan Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa, doğal kaynaklı malzemeler olan keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen indirgenmiş grafen oksit/Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş kompozit yapısının karakterizasyon analizleri ve mekanik dayanımının yanı sıra fonksiyonel özellikler olan elektriksel iletkenlik ve UV koruyuculuk özellikleri incelenmiş ve bu özelliklerin yıkama dayanımları belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, geliştirilmiş Hummers yöntemiyle grafitten grafen oksit sentezlenmiştir. Sentezlenen grafen oksit, X-ışını Difraksiyonu (XRD), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektrometrisi (EDXS) ve Termal Gravimetrik Analiz (TGA) teknikleri ile karakterize edildi.

Çalışmanın ikinci aşamasında, sentezlenen grafen oksitten 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L konsantrasyonlarında sulu dispersiyonlar ultrasonik banyoda hazırlandı. Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa noniyonik yıkama maddesi ile temizleme işlemi uygulandı. Ardından laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde kaplama işlemi gerçekleştirildi. Jigger makinesi dokuna 30 cm eninde 250 cm uzunluğunda Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş sarılmıştır. Kaplama işlemi, 1/10 banyo oranında, 60°C banyo sıcaklığında 1 saat süreyle gerçekleştirilmiş, ardından kumaş etüvde 60°C'de kurutulmuştur. Kaplama işlemi, kumaş üzerindeki GO miktarını artırmak için 3 kez tekrarlanmıştır. Elde edilen grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın karakterizasyonu FTIR ve SEM yöntemleri ile gerçekleştirildi. Renk ölçüm analizi, sürtmeye karşı renk haslık testi, patlama mukavemeti testi, yüzey direnci ölçümü ve UV geçirgenlik analizi ile kumaş yüzeyindeki grafen oksit varlığı tespit edildi ve grafen oksitin Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın özellikleri üzerine etkisi incelendi. Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanan

PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemeti ve patlama gerilimi sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulandı.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, grafen oksit ile kaplanan Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın indirgenmesi gerçekleştirilmiştir. Burada, literatürde daha önce grafen oksit kaplı tekstil yüzeylerinde indirgenme işleminde, indirgeme maddesi olarak kullanılmamış olan keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları kullanılmıştır. Doğal ve çevre dostu malzemelerin indirgenme işleminde kullanımı, çevre ve insan sağlığına zararlı, toksik özellikteki kimyasal maddelerin kullanımına göre daha düşük maliyetlidir. İndirgenme işleminde değiştirilen parametreler, indirgenme süresi ve çözelti konsantrasyonu olarak belirlendi. İndirgenme işlemi, 1/20 banyo oranı, 95°C reaksiyon sıcaklığında geri soğutucu düzenekte gerçekleştirilmiştir. Elde edilen keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları kullanılarak indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşların TGA, FTIR ve SEM yöntemleri ile karakterizasyon analizleri yapıldı. Poliamid 6,6 kumaşta indirgenmiş grafen oksit nanotabakaların varlığı görüldü. Renk ölçüm analizi ile indirgenme sonrası kumaştaki renk değişimi belirlendi. İndirgenmiş grafen oksit nanotabakaların, sürtmeye karşı renk haslığı testi ile kumaş yüzeyindeki dayanımı, patlama mukavemeti ile mekanik özelliğe etkisi belirlendi. Patlama mukavemeti ve patlama gerilimi sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak farklı konsantrasyonlarda GO kaplanmış numunelere uygulanan indirgenme koşullarının etkisi değerlendirildi. Yüzey direnci ölçümü ve UV geçirgenlik analizi ile indirgenmiş grafen oksit kaplı kumaşın elektriksel iletkenlik ve UV koruyuculuk özellikleri incelendi.

Çalışmanın dördüncü aşamasında, keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile iki farklı indirgeme süresi ve iki farklı indirgeme çözeltisi konsantrasyonunda indirgenmiş numunelerin yıkama sonrası özellikleri incelenmiştir. İndirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş numunelerin tamamına 1 kez yıkama işlemi uygulanmıştır. Yapılan yüzey direnci ölçüm sonucuna göre en düşük yüzey direncine sahip numunelere ait indirgenme koşulları belirlenmiş ve bu koşullarda indirgenmiş numunelere 10 yıkama işlemi uygulanmıştır. Yıkanmış numunelere uygulanan test ve analizler ile çevre dostu ve doğal ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın sahip olduğu fonksiyonel özelliklerin kalıcılığı ve dayanımı belirlendi. 1 ve 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi sonuçlarına

tek yönlü varyans analizi uygulanarak farklı konsantrasyonlarda GO kaplanmış numunelere uygulanan indirgenme koşullarının etkisi değerlendirildi.



Nisan, 2021

Nergis DEMİREL GÜLTEKİN

ABSTRACT

THE ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REDUCTION OF THE TEXTILE COATED WITH GRAPHENE OXIDE, THE DEVELOPMENT AND THE EXAMINATION OF FUNCTIONAL PROPERTIES

The purpose of the study is to add functional properties to the graphene oxide coated Polyamide 6,6 warp knitted fabric by reducing the graphene oxide with environmentally friendly materials. In this context, the reduction process was applied with the carob, rosehip and clove extracts which are chosen for their natural based, to the graphene oxide coated Polyamide 6,6 warp knitted fabric. The obtained reduced graphene oxide/ Polyamide 6,6 warp knitted fabric composite structure was characterized and aside from the mechanical strength, the electrical conductivity and UV protection property were investigated and then the washing durability of these properties were determined.

In the first stage of the study, graphene oxide was synthesized from the flake graphite thorough improved Hummers method. The synthesized graphene oxide was characterized by means of X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-Ray spectrometry (EDXS), Ultra Violet- Visible Spectroscopy (UV-Vis) and Thermogravimetric Analysis (TGA).

In the second stage of the study, the aqueous dispersions having three different concentrations as 1 g/L, 2 g/L and 4 g/L were prepared from the synthesized graphene oxide using ultrasonic bath. The Polyamide 6,6 warp knitted fabric was washed with nonionic washing agent. Then, the coating process was applied with the laboratory type Jigger dyeing machine. The Polyamide 6,6 warp knitted fabric with the dimensions of 30 cm width and 250 cm length was wrapped to the roll of the Jigger machine. The coating process was conducted with the liquor to goods ratio 10/1 and at 60°C coating temperature for 1 hour. Then, the abric was dried in an oven at 60°C. The coating process was repeated 3 times in order to increase the GO amount on the fabric. The characterization of the obtained graphene oxide coated Polyamide 6,6 warp knitted fabric was carried out by FTIR and SEM analysis. The presence of the graphene oxide on the fabric surface was

determined by means of color measurement analysis, color fastness to the rubbing test, bursting strength test, surface resistivity measurement and UV transmittance analysis, and also the effect of graphene oxide on the properties of the Polyamide 6,6 warp knitted fabric was indicated. One-way analysis of variance was applied to the bursting strength and bursting distension results of PA 6,6 warp knitted fabric coated with GO at different concentrations.

In the third stage of the study, the reduction process was applied to the graphene oxide coated Polyamide 6,6 warp knitted fabric. Herein, it is noteworthy to mention that the powder extracts of carob, rosehip and clove which were chosen as reducing agents used in this study have not been used before in the literature as reducing agents for the reduction process of graphene oxide coated textiles. The usage of natural and environmentally friendly materials in the reducing process are cost effective than the usage of materials that are toxic and harmful to the environment and human health. The parameters changed in the reduction process were determined as the duration of reduction reaction and the concentration of reduction solution. The reduction process was conducted with the liquor to goods ratio 20/1 and at 95°C reduction reaction temperature under reflux. The obtained reduced graphene oxide coated Polyamide 6,6 warp knitted fabrics using carob, rosehip and clove extracts were characterized by means of TGA, FTIR and SEM techniques. The presence of reduced graphene oxide nanosheets were seen on the surface of Polyamide 6,6 fabric. The color change on the fabric after the reduction process was determined with the color measurement analysis. The color fastness against to the rubbing is utilized to determine the durability of the reduced graphene oxide nanosheets on the fabric surface and with the bursting strength test, the effect of reduced graphene oxide nanosheets on the mechanical property were studied. One-way analysis of variance was applied to the bursting strength and bursting stress results in order to evaluate the effect of the reduction conditions applied to samples coated with different concentrations of GO. The electrical conductivity and UV protection property of the reduced graphene oxide coated fabric were examined with the surface resistivity measurement and UV transmittance analysis.

In the fourth stage of the study, the properties of the fabrics reduced with the extracts of carob, rosehip and clove at two different durations and two different solution concentrations were studied after washing process. All of the reduced graphene oxide

coated Polyamide 6,6 warp knitted fabric samples were machine washed for 1 time. The reduction conditions of the samples which have the lowest surface resistivity were determined according to the results of surface resistivity measurement and the reduced fabrics at that conditions were machine washed for 10 times. The durability and strength of the functional properties that are introduced to graphene oxide coated Polyamide 6,6 warp knitted fabric with using natural based and environmentally friendly extracts at reduction processes were studied with the tests and analysis applied to the washed samples. One-way analysis of variance was applied to bursting strength and burst voltage results after 1 and 10 washing processes in order to evaluate the effect of reduction conditions applied to samples coated with GO at different concentrations.

April, 2021

Nergis DEMİREL GÜLTEKİN

YENİLİK BEYANI

GRAFEN OKSİT İLE KAPLANAN TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ÇEVRE DOSTU İNDİRGENMESİ, FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ

Tez çalışmasında, Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş, tekstil sektöründe çektirme yöntemine göre boyama prosesinde kullanılan laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde grafen oksit ile kaplandı. Bu şekilde, endüstriyel olarak uygulanma olanağı olan uzun metrajlı bir kaplama prosesi ile tekstil yüzeyine grafen oksit kaplama yapılabileceği gösterildi.

Literatürde grafen oksit kaplama yapılan kumaş özellikleri incelenmiş ve tez çalışması kapsamında kullanılan Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın ilk defa çalışıldığı söylenebilir.

Literatürde büyük oranda çevreye ve insan sağlığına zararlı kimyasal maddeler ile grafen oksit kaplı tekstil yüzeylerin indirgendiği görülmektedir. Grafen oksit kaplı tekstillerin endüstriyel olarak kullanımını geliştirecek ve yaygınlaştıracak önemli parametre indirgeme maddesi seçimidir. Dolayısıyla, indirgenme işleminde çalışılan koşullarda, çevreye ve insan sağlığına zararlı gaz ve atık oluşturmayacak doğal ve çevre dostu maddelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yapılan detaylı literatür incelemesinde, tez çalışmasında indirgenme işleminde kullanılan keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktlarının grafen oksit kaplanmış tekstil yüzeylerinin indirgenmesinde kullanılmadığı belirlenmiştir. Bundan dolayı, tez çalışması kapsamında yapılan uygulamalar, test ve analizlerle elde edilen tüm sonuçlar özgün bir çalışma sonucu ortaya çıkmıştır. Tez çalışmasının, literatüre katkı sağlayacak ve gelecekteki çalışmalara yol gösterecek nitelikte olduğu söylenebilir.

Nisan, 2021

Nergis DEMİREL GÜLTEKİN

SEMBOLLER

nm	: nanometre
TPa	: terapaskal
GPa	: gigapaskal
MPa	: megapaskal
m	: metre
g	: gram
ml	: mili litre
W	: Watt
K	: Kelvin
mN	: mili Newton
°C	: Santigrat derece
cP	: santipoise
Cu	: Bakır
Au	: Altın
Ag	: Gümüş
θ	: kırınım açısı, derece
kV	: kilo volt
mA	: mili amper
kΩ	: kilo ohm
kPa	: kilopaskal

KISALTMALAR

GO	: Grafen Oksit
İGO	: İndirgenmiş Grafen Oksit
Gr	: Grafen
AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
SiC	: Silisyum karbür
PDMS	: Polidimetilsiloksan
PET	: Poliester
LOI	: Limit oksijen indeksi
EKG	: Elektrokardiyografi
UVA	: Ultraviyole A
UPF	: Ultraviyole koruma faktörü
CIE Lab	: Uluslararası aydınlatma komisyonu tarafından belirlenen renk evreni
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
XRD	: X-ışını kırınım
TGA	: Termal gravimetrik analiz
UV-Vis	: Ultraviyole-görünür alan spektroskopisi
ZnO	: Çinko Oksit
N₂H₄	: Hidrazin
Na₂S₂O₄	: Sodyum ditiyonit
KMnO₄	: Potasyum permanganat
H₃PO₄	: Fosforik asit

H₂SO₄ : Sülfürik asit

H₂O₂ : Hidrojen peroksit

HCl : Hidroklorik asit

NaBH₄ : Sodyum borohidrit

NH₃ : Amonyak

CHPTAC : 3-kloro-2-hidroksi propil trimetil amonyum klorür

CTAB : Setil trimetil amonyum bromür

rpm : dakikadaki devir sayısı

PA 6,6 : Poliamid 6,6

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. (a) Grafen yapısındaki 0.142 nm olan bağ uzunluğunu gösteren bal peteği yapısında düzenlenmiş karbon atomları, (b) grafit tabakalar arasındaki 0.34 nm mesafenin şematik gösterimi.....	1
Şekil 1.2. sp^2 hibritleşmesine sahip karbon atomlarının şematik gösterimi, (a) düzlemsel σ bağları ve düzleme dik π orbitalleri, (b) moleküler düzlemde simetrik olarak dağılmış olan karbon atomlarının 120° açıyla üç σ bağı oluşturması	2
Şekil 1.3. Karbon allotropları; a) 2 boyutlu grafen, b) 0 boyutlu fulleren, c) 1 boyutlu karbon nanotüp, d) 3 boyutlu grafit	2
Şekil 1.4. Grafen üretim yöntemleri	5
Şekil 1.5. Oksidasyondan indirgeme işlemine kadar indirgenmiş grafen oksit sentez adımları	9
Şekil 1.6. Termal kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi.....	11
Şekil 1.7. Grafen tabakanın oksidasyonu ile oluşan grafen oksit tabaka.....	14
Şekil 1.8. Grafitten grafen sentezi	15
Şekil 1.9. Daldırma ile kaplama yönteminin şematik gösterimi	20
Şekil 1.10. Rakle ile kaplama tekniği, (a) rakle silindir üstünde, (b) rakle havada.....	21
Şekil 1.11. Şablon baskı tekniğinin şematik gösterimi	22
Şekil 1.12. İnk-jet baskı tekniğinin şematik gösterimi	23
Şekil 1.13. Grafenin tekstilde kullanım alanları.....	24
Şekil 1.14. Grafen içerikli tekstil tabanlı EKG sensör tasarımı ve prototipi	26
Şekil 1.15. UV ışınların (a) korumasız kumaşta ve (b) korumalı kumaşta şematik görünümü	29
Şekil 1.16. Farklı boyutlarda elektro-termokromik kaplama yapılmış pamuk kumaşın farklı voltaj uygulamalarında renk değiştirme özelliğinin gösterimi	35
Şekil 1.17. Grafen oksit ve fonksiyonelleştirilmiş grafenin güç tutuşurluk etkisi	36
Şekil 1.18. Baskı tekniğiyle süperkapasitör üretim prosesinin şematik gösterimi.....	41
Şekil 1.19. Keçiboyunu meyvesi	86
Şekil 1.20. Kuşburnu meyvesi.....	87
Şekil 1.21. Karanfil ağacı ve baharatı.....	88

Şekil 2.1. Grafitten kimyasal oksidasyon yöntemi ile grafen oksit sentezinin şematik gösterimi.....	94
Şekil 2.2. Grafen oksit sentezinde H ₂ O ₂ ilavesinden önce (a) ve sonra (b) reaksiyondaki renk değişiminin görüntüsü.....	94
Şekil 2.3. Grafit (a) ve sentezlenen GO (b)'nın görüntüleri.....	95
Şekil 2.4. Laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde grafen oksit kaplama uygulaması, (a) makinenin üstten görünümü, (b) makinenin önden görünümü.....	96
Şekil 2.5. PA 6,6 çözgülü örme kumaş (a), 1GO (b), 2GO (c) ve 4GO (d) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri.....	97
Şekil 2.6. İndirgeme işleminde çalışılan proses parametreleri.....	98
Şekil 2.7. 1GO-K1-20-24 (a), 2GO-K1-20-24 (b) ve 4GO-K1-20-24 (c) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri.....	100
Şekil 2.8. 1GO-K2-30-24 (a), 2GO-K2-30-24 (b) ve 4GO-K2-30-24 (c) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri.....	100
Şekil 2.9. 1GO-K3-30-24 (a), 2GO-K3-30-24 (b) ve 4GO-K3-30-24 (c) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri.....	100
Şekil 3.1. Grafit ve sentezlenen GO'ya ait XRD spektrası.....	106
Şekil 3.2. Grafit ve sentezlenen GO'ya ait FTIR spektrası.....	107
Şekil 3.3. Sentezlenen GO'ya ait SEM görüntüleri (a) 1000x, (b) 2000x, (c) 5000x, (d) 20000x.....	108
Şekil 3.4. Sentezlenen GO'ya ait EDX spektrumu.....	108
Şekil 3.5. Sentezlenen GO'ya ait TGA (a) ve türev (b) eğrisi.....	109
Şekil 3.6. Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanmış olan Poliamid 6,6 kumaşa ait FTIR spektrası.....	111
Şekil 3.7. Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanmış olan poliamid 6,6 kumaşa ait 1000x ve 10000x büyütmelerde SEM görüntüleri, (a, b) PA 6,6; (c, d) 1GO; (e, f) 2GO; (g, h) 4GO.	113
Şekil 3.8. PA 6,6 ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşlara ait EDX spektrumları.....	114
Şekil 3.9. Poliamid 6,6 (a) ve 1GO (b), 2GO (c) ve 4GO (d) kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa ait reflektans grafiği.....	116
Şekil 3.10. Poliamid 6,6 kumaş ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları.....	119

Şekil 3.11. Poliamid 6,6 kumaş ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti gerilimi sonuçları.....	119
Şekil 3.12. PA 6,6 ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları	120
Şekil 3.13. PA 6,6 ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları.....	121
Şekil 3.14. PA 6,6 ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait UV geçirgenlik sonuçları	122
Şekil 3.15. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait XRD spektrası	123
Şekil 3.16. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait XRD spektrası	124
Şekil 3.17. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait XRD spektrası	124
Şekil 3.18. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait (a) TGA ve (b) türev eğrisi	126
Şekil 3.19. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait (a) TGA ve (b) türev eğrisi.....	127
Şekil 3.20. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait (a) TGA ve (b) türev eğrisi.....	128
Şekil 3.21. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO kaplı numuneye ait TGA eğrisi	129
Şekil 3.22. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO kaplı numuneye ait TGA eğrisi	130
Şekil 3.23. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO kaplı numuneye ait TGA eğrisi	130
Şekil 3.24. GO ve K1-IGO toz numunelerine ait FTIR spektrumu.....	131
Şekil 3.25. GO ve K2-IGO toz numunelerine ait FTIR spektrumu.....	132
Şekil 3.26. GO ve K3-IGO toz numunelerine ait FTIR spektrumu.....	132
Şekil 3.27. PA 6,6 kumaş (a), 1 g/L (b), 2 g/L (c) ve 4 g/L (d) GO ile kaplanmış K1-20-24 numunesine ait FTIR spektrumu	133
Şekil 3.28. PA 6,6 kumaş (a), 1 g/L (b), 2 g/L (c) ve 4 g/L (d) GO ile kaplanmış K2-30-24 numunesine ait FTIR spektrumu	134

Şekil 3.29. PA 6,6 kumaş (a), 1 g/L (b), 2 g/L (c) ve 4 g/L (d) GO ile kaplanmış K3-30-24 numunesine ait FTIR spektrumu	134
Şekil 3.30. Keçiboynuzu (a), Kuşburnu (b) ve Karanfil (c) toz ekstraktı ile indirgenmiş GO nanotabakalara ait SEM görüntüleri.....	135
Şekil 3.31. Keçiboynuzu (K1), Kuşburnu (K2) ve Karanfil (K3) toz ekstraktı ile indirgenmiş GO nanotabakalara ait EDX spektrumları	136
Şekil 3.32. 1000x ve 10000x büyütmelede İ2 GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların SEM görüntüleri; 2GO-K1-20-24 (a, b), 2GO-K2-30-24 (c, d) ve 2GO-K3-30-24 (e, f).....	137
Şekil 3.33. 2GO-K1-20-24 (a), 2GO-K2-30-24 (b) ve 2GO-K3-30-24 (c) numunelere ait EDX spektrumları.....	138
Şekil 3.34. Poliamid 6,6 ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 kumaşa ait reflektans grafiği.....	143
Şekil 3.35. Poliamid 6,6 ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 kumaşa ait reflektans grafiği.....	144
Şekil 3.36. Poliamid 6,6 ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 kumaşa ait reflektans grafiği.....	144
Şekil 3.37. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları	151
Şekil 3.38. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama gerilimi sonuçları	152
Şekil 3.39. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları	154
Şekil 3. 40. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama gerilimi sonuçları.....	155
Şekil 3.41. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları	156
Şekil 3.42. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama gerilimi sonuçları.....	158
Şekil 3.43. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları.....	159
Şekil 3.44. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları	160

Şekil 3.45. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları	161
Şekil 3.46. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları.....	162
Şekil 3.47. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole geçirgenlik sonuçları.....	163
Şekil 3.48. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları	164
Şekil 3.49. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole geçirgenlik sonuçları	165
Şekil 3.50. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları	166
Şekil 3.51. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole geçirgenlik sonuçları	167
Şekil 3.52. 2GO-K1-20-24 numunesine ait 1000x ve 10000x büyütmelerde SEM görüntüleri, (a, b) 1 yıkama sonrası ; (c, d) 10 yıkama sonrası.....	168
Şekil 3.53. 2GO-K2-30-24 numunesine ait 1000x ve 10000x büyütmelerde SEM görüntüleri, (a, b) 1 yıkama sonrası ; (c, d) 10 yıkama sonrası.....	169
Şekil 3.54. 2GO-K3-30-24 numunesine ait 1000x ve 10000x büyütmelerde SEM görüntüleri, (a, b) 1 yıkama sonrası ; (c, d) 10 yıkama sonrası.....	169
Şekil 3.55. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları	181
Şekil 3.56. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları	183
Şekil 3.57. PA 6,6 kumaş ve K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları.....	184
Şekil 3.58. PA 6,6 kumaş ve K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları	185
Şekil 3.59. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları	186
Şekil 3.60. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları	188

Şekil 3.61. PA 6,6 kumaş ve K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları.....	189
Şekil 3.62. PA 6,6 kumaş ve K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları	190
Şekil 3.63. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları	191
Şekil 3.64. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları	192
Şekil 3.65. PA 6,6 kumaş ve K3-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları.....	193
Şekil 3.66. PA 6,6 kumaş ve K3-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları	194
Şekil 3.67. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları.....	195
Şekil 3.68. K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları	196
Şekil 3.69. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları.....	197
Şekil 3.70. K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları	198
Şekil 3.71. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları.....	199
Şekil 3.72. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları.....	200
Şekil 3.73. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO/PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları	201
Şekil 3.74. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları.....	202
Şekil 3.75. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına UPF sonuçları	203
Şekil 3.76. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO/PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları	204

Şekil 3.77. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları.....	205
Şekil 3.78. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait UPF sonuçları	206
Şekil 3.79. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO/PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları	207
Şekil 3.80. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 kez yıkama sonrasına ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları	208
Şekil 3.81. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait ultraviyole koruma faktörü sonuçları	209
Şekil 3.82. Antibakteriyel aktivite sonuçları (a) <i>Escherichia coli</i> , (b) <i>Staphylococcus aureus</i> , (1) PA 6,6, (2) 2GO-K1-20-24, (3) 2GO-K2-30-24, (4) 2GO-K3-30-24, (5) 2GO-K1-20-24-Y10, (6) 2GO-K2-30-24-Y10, (7) 2GO-K3-30-24-Y10.	210

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Grafen üretim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	11
Tablo 1.2. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen ultraviyole koruyuculuk sonuçları	29
Tablo 1.3. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinin su temas açısı değerleri.....	32
Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri.....	58
Tablo 1.5. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen elektriksel direnç sonuçları	65
Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar	74
Tablo 1.7. Grafen oksitin çevre dostu indirgenmesinde kullanılan biyomolekül indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar	83
Tablo 1.8. Grafen oksitin çevre dostu indirgenmesinde kullanılan mikroorganizmalar ve elde edilen sonuçlar	85
Tablo 2.1. İndirgeme işleminde kullanılan bitkisel ekstraktların genel özellikleri	92
Tablo 2.2. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın GO ile kaplama işlemine ait proses bilgileri ve numune kodlamaları	96
Tablo 2.3. İndirgeme işleminin uygulanması ve elde edilen numunelere ait kodlar.....	98
Tablo 3.1. PA 6,6 ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların elemental analiz sonuçları	114
Tablo 3.2. Poliamid 6,6 kumaş ve grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları	115
Tablo 3.3. Grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	117
Tablo 3.4. Poliamid 6,6 kumaş ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait kalınlık ölçüm sonuçları	120
Tablo 3.5. GO ve keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş toz numunelerin elementel analiz sonuçları.....	136
Tablo 3.6. 2GO ve keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerin elementel analiz sonuçları.....	138

Tablo 3.7. Keiboyunuz toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları	140
Tablo 3.8. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları	141
Tablo 3.9. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları	142
Tablo 3.10. Keiboyunuz toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	146
Tablo 3.11. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	148
Tablo 3.12. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	149
Tablo 3.13. Keiboyunuz toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları	171
Tablo 3.14. Keiboyunuz toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları	172
Tablo 3.15. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına renk ölçüm sonuçları	173
Tablo 3.16. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları	174
Tablo 3.17. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları	175
Tablo 3.18. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları	176
Tablo 3.19. Keiboyunuz toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	177
Tablo 3.20. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	178
Tablo 3.21. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları	179

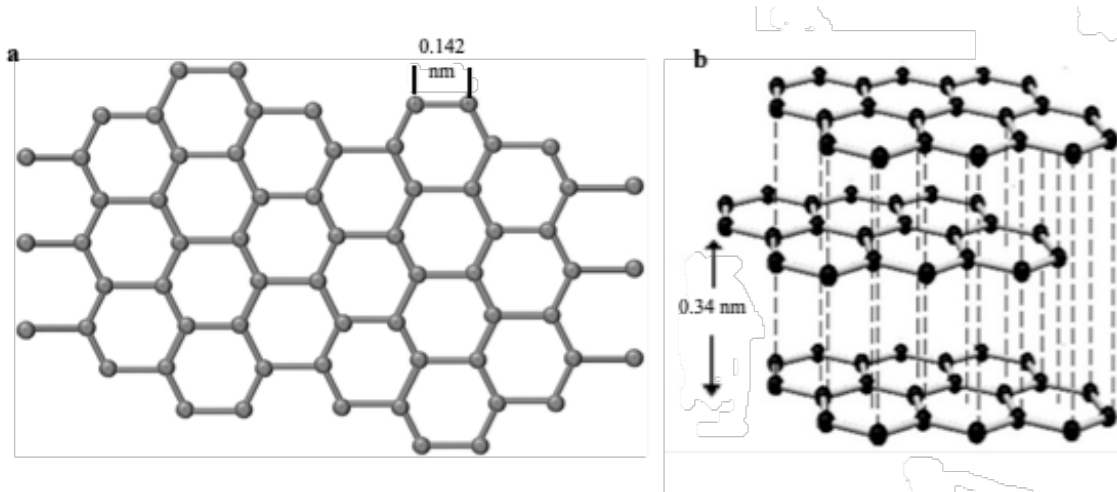
BÖLÜM I

1. GİRİŞ

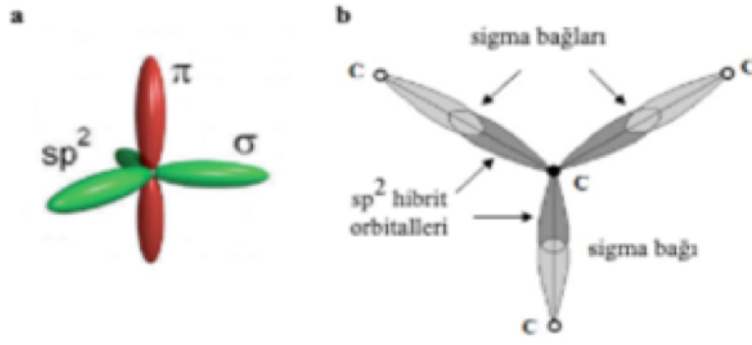
1.1. Grafen

2004 yılında Andre Geim ve Konstantin Novoselov tarafından grafenin keşfedilmesiyle 2010 yılında fizik alanında Nobel ödülüne layık görülmüştür. O zamandan itibaren akademi, endüstri ve enstitüler tarafından olağanüstü bir ilgiyle grafenin özellikleri, üretim yöntemleri ve potansiyel uygulama alanları araştırılmaya başlanmıştır [1, 2].

Grafen, hegzagonal yapıda düzenlenmiş tek tabaka iki boyutlu sp^2 karbon atomlarından oluşmaktadır [2, 3]. Bu karbon atomları arasındaki bağlar 0.142 nm uzunluğundadır ve tabaka kalınlığı 0.33 nm'dir (Şekil 1.1) [1, 4]. Bir karbon atomunda 4 valans elektronu bulunmaktadır: 3 elektron (2s elektronu, $2p_x$ elektronu ve $2p_y$ elektronu) düzlemsel sp^2 hibrit orbitalleri oluşturmaktadır. Kalan orbital elektronu geniş bir π bağı oluşturur ve bu elektron düzlemde serbest hareket eder (Şekil 1.2) [5, 6]. sp^2 hibritleşmesine sahip karbonların oluşturduğu σ bağları grafenin kararlı ve esnek olmasını sağlar [5].

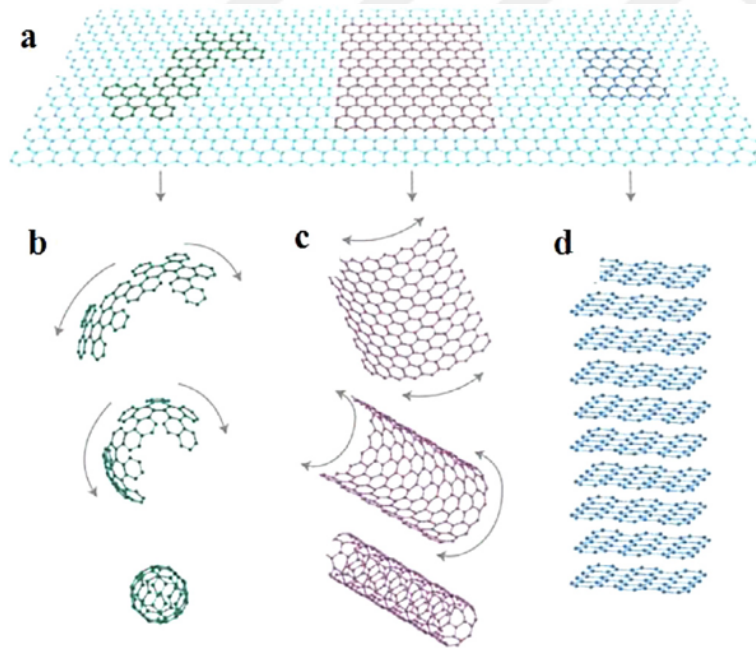


Şekil 1.1. (a) Grafen yapısındaki 0.142 nm olan bağ uzunluğunu gösteren bal peteği yapısında düzenlenmiş karbon atomları, (b) grafit tabakalar arasındaki 0.34 nm mesafenin şematik gösterimi [1, 4]



Şekil 1.2. sp^2 hibritleşmesine sahip karbon atomlarının şematik gösterimi, (a) düzlemsel σ bağları ve düzleme dik π orbitalleri, (b) moleküler düzlemde simetrik olarak dağılmış olan karbon atomlarının 120° açıyla üç σ bağı oluşturmaları [7, 8]

Grafen, grafitik yapıdaki bütün malzemelerin yapıtaşıdır. Sarılarak 0-boyutlu fullerenler, silindirik olarak 1-boyutlu karbon nanotüpler ve katmanlı olarak 3-boyutlu grafit elde edilmektedir (Şekil 1.3) [9].



Şekil 1.3. Karbon allotropları; a) 2 boyutlu grafen, b) 0 boyutlu fulleren, c) 1 boyutlu karbon nanotüp, d) 3 boyutlu grafit [1].

Grafen, yüksek yüzey alanı ($2630 \text{ m}^2/\text{g}$), mükemmel termal iletkenlik (5000 W/mK), oldukça yüksek Young modülü (1 TPa), çok yüksek ışık geçirgenliği ($\sim 98\%$), tek bir atom

kalınlığında olmasına rağmen mükemmel gaz geçirmezliği, kimyasal kararlılık gibi üstün özelliklere sahiptir. Belirtilen mükemmel mekanik ve kimyasal özelliklerinden dolayı grafene karşı olan bu olağanüstü ilgi pek şaşırtıcı değildir [1, 3, 9, 10].

1.1.1. Grafenin özellikleri

Grafenin sahip olduğu özellikler onu farklı endüstrilerde ve cihazlarda çok büyük potansiyel uygulamalarda oldukça dikkat çekici bir malzeme haline getirmiştir. Bilinen çoğu olağanüstü özelliklerin kusursuz tek tabaka grafen göz önüne alınarak raporlandığının belirtilmesi oldukça önemlidir [1].

Elektronik özellikler:

Grafen devrimi, grafenin elektriksel ve elektronik özelliklerinin çalışılmasıyla başlamıştır. Bu özellikler grafen yapraklardaki grafen tabakaların sayısına bağlıdır. Tek tabaka, çift tabaka veya üç tabakanın sergilediği özellikler çok farklı malzemelerdir. Novoselov ve ark. tarafından grafenle ilgili yapılan ilk çalışmalarda, boşluklardan elektronlara değişen yük taşıyıcıları olasılığı nedeniyle transistörlerde potansiyel bir kullanım alanı olacağını gösterildi. Bu elektron-boşluk ilişkisi yalnızca tek tabaka grafen yaprağında geçerlidir, ancak, tabakaların sayısı artmaya başlarsa, bu ilişki diğer tabakaların elektriksel alan engellemesinden dolayı zayıflar [1].

Mekanik özellikler:

Karbon esaslı malzemeler doğaları gereği mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler. Örneğin, elmas bilinen en sert malzemedir, karbon nanotüpler ise en yüksek mukavemete sahiptirler. Grafen de olağanüstü mekanik özelliklerinden dolayı bu malzemelerden pek de farklı değildir. Lee ve ark. AFM kullanarak nanoçentik ile grafenin 130 GPa mukavemete sahip olarak bilinen en kuvvetli malzeme olduğunu göstermiştir. Ayrıca, tek tabaka grafenin çelikten 200 kat daha fazla kopma dayanımına sahip olduğunu ve Young modülünün 1 TPa olduğunu göstermişlerdir [1, 5]. Ancak, bu değerlerin grafen yaprakların saflığıyla ilişkili olduğuna inanılmaktadır. Frank ve ark., tek tabaka grafenin Young modülü AFM ile 0.5 TPa olarak ölçmüşlerdir [1].

Optik özellikler:

Grafen, yalnızca bir atom kalınlığında olmasına rağmen, beyaz ışığın %2.3'ünü absorplamaktadır. İki tabakalı grafen beyaz ışığı %4.6'ya kadar absorplamaktadır. Kısacası, beyaz ışığın absorplanması grafen tabakalarının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır [5, 11]. UV bölgesinde, 900-300 nm arasında grafenin absorpsiyon spektrumunun bir özelliği yoktur, ve maksimum absorpsiyon piki 270 nm civarında görülmektedir [1]. Grafenin elektronik ve optik özelliklerinin birlikte kullanımı fotonik ve optoelektronik alanlarda çeşitli uygulamalarda yeni yollar açmıştır. Fotodedektörler, dokunmatik ekranlar, ışık yayan diyotlar, fotovoltailer, transparan iletkenler, terahertz cihazlar ve optik sınırlayıcılar gibi sayısız uygulamalarda grafenin kullanımı umut vericidir [11].

Termal özellikler:

Grafit, elmas ve karbon nanotüpler gibi karbon allotropları kuvvetli C-C kovalent bağlardan ve fonon saçılmasından dolayı çok yüksek termal iletkenliğe sahiptir [11]. Grafenin termal iletkenliğini fonon taşınımı, arayüz etkileşimleri ve atomik kusurlar belirler [12]. Grafenin termal iletkenliği oda sıcaklığındaki grafen tabakalar (saf, kusursuz grafen) için 5000 W/mK ve SiO₂ yüzey üzerindeki grafen için ~600 W/mK'dir. Bu değerler grafen kusurlarına oldukça bağlıdır [1, 3, 5, 11].

Kimyasal özellikler:

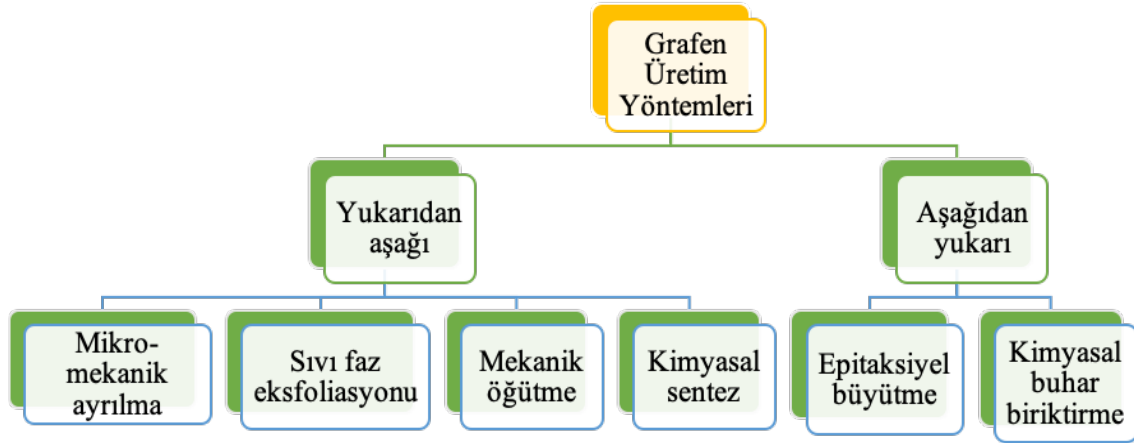
Saf grafen tabakalar çoğunlukla reaktif değildir. Diğer malzemelerle reaksiyona girebilmesi için yüzey fonksiyonallizasyonu gereklidir. Grafen tabakaların kimyası, yüzeyi ile ilgilidir, ancak grafen nanoşerit formunda ise kenarları ile ilgilidir. Grafenin reaktifliğinde kalınlık da oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin Sharma ve ark. tarafından, Raman spektroskopisi kullanılarak relatif bozukluk (D) piki ile tek tabaka grafenin iki tabaka veya çok tabakalı grafenden 10 kat daha fazla reaktif olduğu gösterilmiştir [1].

1.1.2. Grafenin üretimi

Grafenin keşfinden itibaren en büyük zorluklardan biri yüksek kalitede ve aynı zamanda da büyük ölçekte grafen üretim yönteminin bulunmamasıdır. Çeşitli endüstrilerde grafenin kullanımı, büyük ölçekli üretim için üretim yöntemlerinin bulunmasına bağlıdır.

Hali hazırda geçerli bir büyük ölçekli üretim yöntemi olmaması mükemmel özelliklerine rağmen grafenin geniş çaplı endüstriyel uygulamalarda kullanımını engellemektedir [1]. Grafen üretim yöntemleri iki ana gruba ayrılmaktadır: yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı (Şekil 1.4). Yukarıdan aşağı yaklaşımı, mikromekanik ayrılma, karbon nanotüplerin açılması, sıvı faz eksfoliasyonu, mekanik öğütme, elektrokimyasal sentez, kimyasal sentez gibi yöntemleri kapsamaktadır. Aşağıdan yukarı yaklaşım ise yapıtaşı olarak alternatif bir karbon kaynağı kullanımını kapsayan yöntemlerdir. Bunlardan bazıları, silisyum karbür (SiC) yüzeyler üzerinde grafenin epitaksiyel büyümesi, kimyasal buhar biriktirme (CVD)dir [13].

Grafit yüzyıllardır bilinen doğal olarak bulunabilen anizotropik bir mineraldir ve yağlayıcı olarak, elektrotlarda ve kurşun kalemelerde kullanılmaktadır. Grafit, tek yaprak grafenin üst üste istiflenmesiyle oluşan ve zayıf Van der Waals kuvvetleri ile bir arada tutulan katmanlı yapıdır. Bu yapraklar, Van der Waals kuvvetlerinden fazla bir kuvvet uygulanmasıyla ayrılabilir. Grafit düşük maliyetli ve hali hazırda bulunabildiği için grafitin eksfoliasyonu ile grafen eldesi büyük ölçekli uygulamalar için büyük bir potansiyel olarak değerlendirilmektedir [1, 14].



Şekil 1.4. Grafen üretim yöntemleri

Mikromekanik ayrılma:

Nanoteknolojide yukarıdan-aşağıya üretim yöntemlerinden olan mikromekanik ayrılma, mikromekanik eksfoliasyon veya selobant yöntemi olarak da bilinen uzun yıllardır uygulanan eski bir yöntem olup kristalografi gibi alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır [1, 4]. Grafen araştırmalarında mikromekanik ayrılma en popüler grafen üretim yöntemlerinden biridir. Bu yöntem herhangi özel bir ekipman gerektirmeyen basit bir yöntemdir. Ekipman olarak bahsedilebilecek tek şey yapışkan bir banttır. Grafit partiküller yapışkan bant arasına yerleştirilir ve yüzey sürekli olarak soyulur. Grafiti sürekli soyma işlemi ayrılan ince partiküllerin neredeyse atomik olarak temiz düz yüzeye yapışmasına neden olur. Birkaç tabaka ve hatta tek tabaka grafen yaprakları elde etmek için temiz bir bant yüzeyde bulunan yığından ilk partikülleri soymak için kullanılır ve ardından soyma ve yeni bant ile değiştirme işlemi pürüzsüz tek tabakalar elde edilinceye kadar sürekli olarak tekrarlanarak partiküllerin gittikçe incilmesi sağlanır [1].

Mekanik ayrılma tekniği hatasız grafen üretimi için elverişli ve kolay bir yöntem olmasına rağmen, ölçeklenebilirliği hala bir sorundur. Eksikliklerine rağmen mikromekanik eksfoliasyon, yüksek kaliteli grafen partiküllerin elde edilmesinden dolayı temel araştırmalar için hala en popüler tercihtir [1, 4].

Sıvı-faz eksfoliasyonu:

Sıvı faz eksfoliasyonu, grafitin eksfoliasyonu için ultrason veya kesme kuvvetleri kullanılarak farklı sıvı ortamlarda tek ya da birkaç katmanlı grafen tabakaların ekstrakte edilmesinde kullanılmaktadır [15, 16]. Bu yöntem, çeşitli çözücülerde grafen kolloidal dispersiyonların hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Grafit zayıf Van der Waals kuvvetleri ile bir arada tutulmaktadır, bu nedenle başarılı bir grafen eksfoliasyonunda ilk adım bu kuvvetlerin aşılmasıdır. Wang ve ark., grafenin yüzey enerjisini 46.7 mN/m olarak hesaplamışlardır. Bu nedenle, uygun sıvı ortamı, çözücü ile grafen tabakalar arasındaki arayüzey gerilimini minimize etmek için benzer yüzey enerjisine sahip olmalıdır [1]. Dolayısıyla, grafen ve çözücü yüzey enerjileri birbirine ne kadar yakınsa, karışımın entalpisi o kadar küçük olacaktır ve eksfoliasyon seviyesi de o kadar yüksek olacaktır [17].

Sıvı faz eksfoliasyonu, ölçeklenebilme potansiyeline sahip basit ve tek tabaka grafen üretimi için sürdürülebilir bir yöntemdir [18]. Ancak bu yöntemin dezavantajı, düşük tek

tabaka grafen üretim verimine sahip olması, topaklaşmanın önemli bir problem olması ve ultrasonik prosesin grafen tabakada büyük ölçüde yapısal kusur oluşturmamasıdır. Hava ve neme karşı hassas organik çözücü kullanımı grafen üretiminde bu yöntemin uygulanma olasılığını kısıtlamaktadır [9].

Grafitin mekanik olarak öğütülmesiyle grafen üretimi:

Yukarıdan aşağı üretim tekniklerinden olan bilyalı öğütme ile kesme ve tesir kuvvetleri oluşturularak grafitten grafen eldesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemde sıvı ortamında ya da katı ortamda öğütme yapılarak grafitten grafen elde etmek mümkündür [19]. Öğütme prosesinde, grafit partiküller bilyalar arasında gerilime maruz kalır ve kesme ve tesir kuvvetlerinin etkisiyle grafitten grafen tabakaların ayrılması meydana gelir. Bu seçici, oryantasyona bağlı boyut küçültme, grafit kristali içerisindeki bağ kuvvetlerinin anizotropisi ile sağlanır. Elde edilen partiküllerin en/boy oranı öğütme prosedüründeki proses parametrelerine oldukça bağlıdır. Ayrıca, oluşturulan kesme kuvvetleri grafen tabakaların arasındaki zayıf Van der Waals kuvvetlerini yenecek kadar büyük olmak zorundadır [20]. Grafitin yapısal dönüşümünü etkileyen 4 faktör bulunmaktadır [21]: (i) başlangıçtaki grafitin özellikleri (termal olarak genişletilmiş grafit, arakatmanlı grafit olması gibi), (ii) dispersiyon ortamının özellikleri (organik çözücü, iyonik sıvı, katı madde ya da katmanlı yapı malzemeler gibi), (iii) kırılan karbon bağları ile kimyasal olarak etkileşime girebilecek ve grafen tabakalar tarafından absorblanacak ya da tabakaların arasına girebilecek maddelerin varlığı, (iv) bilyalı öğütücü tasarımı, öğütme koşulları, sıcaklık ve atmosfer. Grafitin mekanik olarak öğütülmesi kolay, düşük maliyetli ve etkili bir yöntemdir ve proses esansında pek çok parametrenin kontrol edilebilmesi ile de büyük çaplı üretim için oldukça yüksek potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Ancak, uzun proses süresi, yüksek enerji tüketimi, düşük grafen verimi ve aynı zamanda da son üründe oluşan hatalar sebebiyle geniş alanlarda kullanılabilirliği kısıtlanmaktadır [1].

Grafitin elektrokimyasal eksfoliasyonu:

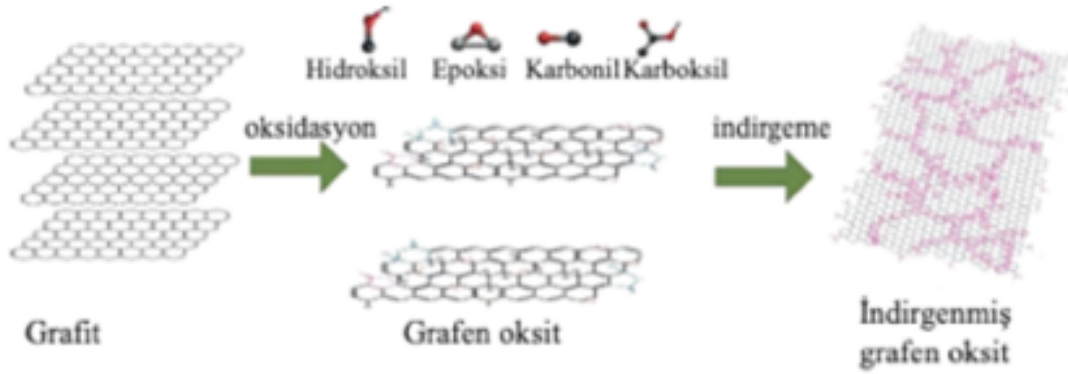
Elektrokimyasal eksfoliasyon, uzun yıllardır kullanılan çok iyi bilinen bir yöntemdir. Elektrokimyasal yöntemlerin en popüler uygulamaları metal endüstrisinde, özellikle alüminyum üretiminde görülmektedir. Karbon malzemeler elektrokimyada elektrot olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Mükemmel elektriksel özelliklerinden dolayı,

özellikle grafit ve grafen süperkapasitörler, piller ve güneş hücreleri gibi cihazlarda elektrot olarak kullanılmaktadır [22]. Elektromekanik eksfoliasyon yöntemi, su veya organik elektrolit ortamında katot ve anotta, sırasıyla, indirgenme ve yükseltgenme proseslerini kapsamaktadır. Elektrotlardan biri grafitir ve diğeri ise genellikle platindir. Eksfoliasyon prosesi genellikle elektrotlara pozitif akım uygulanmasıyla başlamaktadır. Grafit esaslı elektrot oksidasyona uğrar ve elektrolitteki negatif yüklü iyonlar grafit tabakaların aralarına girer. Eksfoliasyon prosesini kolaylaştırmak için negatif potansiyelin uygulanması gerekmektedir. Elektrolitin seçimi grafit eksfoliasyonunda hayati öneme sahiptir. Elektrokimyasal eksfoliasyon, grafen yaprakların eldesinde oldukça hızlı gelişen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Hummers yönteminin aksine kuvvetli oksidantlar kullanılmaz, grafitin elektriksel iletkenliğinden yararlanılır. Diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetle daha fazla verimde grafen elde edilebilir [22]. Elektrokimyasal eksfoliasyon yönteminin diğer yöntemlere göre bir diğer avantajı tek adımda gerçekleşmesidir, bu da kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca, son ürüne ulaşana kadar çok uzun zamana ihtiyaç duyan yöntemlere kıyasla yalnızca birkaç dakika/saat içinde tamamlanması oldukça öne çıkan avantajıdır. Ancak, bazı uygulamalarda kullanılan iyonik sıvıları pahalı olması ve elde edilen grafenin buruşuk bir yapıda olması kullanımını kısıtlayabilmektedir [18].

Kimyasal sentez - Grafen oksitten grafen eldesi:

Grafen üretiminde popüler olan bir yöntem de indirgenmiş grafen oksit elde etmek için grafit oksit veya grafen oksitin indirgenmesidir. Bu yöntemin popüler olmasında düşük maliyetli, yüksek ölçeklenebilirliği, mükemmel verimi ve fonksiyonel grafenin çeşitli çözücülerde dispers edilebilmesi önemli olmuştur. Bu yöntem, grafitin bir oksidant ile işlem görerek grafen tabakaların yüzeyine fonksiyonel oksijen grupların eklenmesini kapsamaktadır. Bu fonksiyonel gruplar sayesinde grafen oksit organik moleküllerle kolaylıkla reaksiyona girer ve böylelikle suda dispers olur ve stabil olarak kalır. Grafit oksit üretimi, grafitin oksidasyonunda en yaygın kullanılan prosedür olan Hummers yöntemi olarak bilinen teknik ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin temel prensibi, kuvvetli bir asit ve az bir miktar oksidasyon ajanı ile grafitin muamele edilmesiyle grafit arayüz bileşiklerinin oluşumunun gerçekleşmesi ve ardından oksitlenmiş grafit eldesi için fazla miktarda kuvvetli oksidantın ilavesiyle gerçekleşmektedir [9]. Oksidasyonun ardından, grafit oksit suda dispers haldedir ve suda dispers halde tek grafen oksit

tabakaların oluşumu için sonikasyon işlemi uygulanır [1]. Oksidasyon ve sonikasyon işlemleriyle elde edilen grafen oksit, sp^2 hibritleşmesi yapan düzlemsel karbon atomlarının bozulmuş sp^3 hibritleşmesine dönüşmesi sonucu elektriksel olarak iletken değildir. Bu yüzden iletkenliğin sağlanması amacıyla indirgeme işlemi uygulanır. İndirgeme işlemi; kimyasal, termal, elektrokimyasal, fotokimyasal gibi çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir. İndirgeme işlemiyle, oksijen içerikli fonksiyonel gruplar yapıdan uzaklaştırılır ve saf grafen yapısına yakın bir yapı elde edilmeye çalışılır [23-25].



Şekil 1.5. Oksidasyondan indirgeme işlemine kadar indirgenmiş grafen oksit sentez adımları [1]

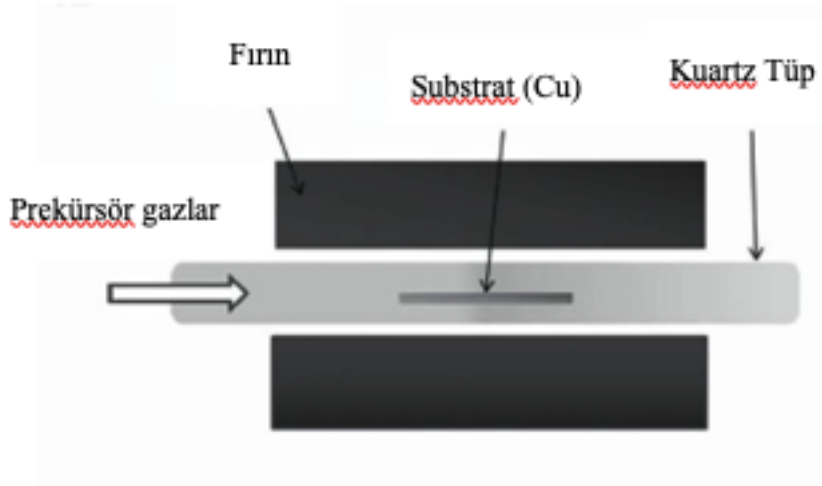
Grafenin epitaksiyel büyümesi:

Grafenin, tek kristal silisyum karbür (SiC) yüzeyinde epitaksiyel termal sentezi en bilinen sentez tekniklerinden biridir [26]. “epitaksi” terimi, tek kristal yüzey üzerinde tek kristal film biriktirilmesine olanak sağlayan bir yöntemi belirtmektedir [4]. SiC substrat ultra-yüksek vakum altında ısıtıldığında silisyum atomları substrat üzerinden süblime olur. Si atomlarının ayrılmasıyla kalan karbon atomları grafen tabakalar oluşturmak için yeniden düzenlenirler. Grafen katmanının kalınlığı, tavlama süresine ve sıcaklığına bağlıdır. Birkaç tabakalı grafenin oluşumu için genellikle SiC yüzeyin 1200 °C sıcaklıkta birkaç dakika tavlama yeterlidir [11]. Bu yöntemin en önemli dezavantajı, elde edilen grafen tabakanın boyutunun kullanılan kristalinki ile sınırlı olmasıdır [27]. SiC üzerinde sentezlenen epitaksiyel grafen yüksek kaliteli olmasına rağmen başka yüzeyler üzerine transfer edilememektedir. Geniş alanlı grafen geliştirilmesinde yeniden üretilebilirlik yönünden dezavantajlıdır. Ayrıca, ölçeklenebilir ve iyi elektronik özelliklere sahip olması da avantajlarındandır [4, 11, 26].

Kimyasal buhar biriktirme (CVD):

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi tek ya da çok tabakalı grafen filmlerin geniş çaplı üretiminde en etkili yöntemlerden biridir [28]. Termal kimyasal buhar biriktirme prosesi, substratın gaz fazında termal olarak ayrıştırılmış prekürsörlere maruz kalmasıyla yüksek sıcaklıkta substrat yüzeyinde ürünün biriktirilmesidir. Prekürsörün türü, kalitesi, üründe istenilen kalınlık ve yapıya bağlı olarak termal, plazma destekli, reaktif, sıcak duvar, soğuk duvar gibi birçok CVD proses türünden yararlanılmaktadır. Termal kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle grafen üretimi, metan, hidrojen ve argon gibi hidrokarbon gazın belirli oranlarda Cu gibi bir substrat içeren kuartz tüpe yüksek sıcaklık fırınında verilmesiyle gerçekleşmektedir. Zamanla, gaz akış hızı, reaksiyon süresi, basınç ve sıcaklık gibi başlangıç koşullarına bağlı olarak tek tabakalı, çift tabakalı ya da çok tabakalı grafen birikmesi olmaktadır. CVD yöntemiyle yüksek kaliteli grafen birikmesi genellikle Ni, Pd, Ru, Ir, Co, Pt ve Cu gibi çeşitli geçiş metali substrat (yüzeyleri katalizör gibi davranır) ile metan, benzen, asetilen ve etilen gibi farklı hidrokarbonların kullanılmasıyla elde edilmektedir. Geçiş metalinin yüksek sıcaklıkta hidrokarbon gaza maruz kalmasıyla substrat üzerinde karbon doygunluğu oluşur ve soğutmayla karbon ince film oluşumu sağlanır [4, 5, 26, 27]. Çöktürülen grafen tabakaların kalınlığı ve kristal yapısı, CVD ortamındaki hidrokarbon gazın türü ve konsantrasyonu ve substratın kalınlığı ile belirlenen substrat üzerinde biriken karbon konsantrasyonu ve soğutma hızı ile kontrol edilir. Ayrıca, CVD yöntemiyle grafen üretiminin farklı bir özelliği de biriktirme esnasında NH_3 gibi farklı gazların sisteme verilmesiyle doplama imkanının olmasıdır. Azot atomları grafene “piridinik”, “grafitik” ve “pirolik” formlarda doplanabilmektedir. Bu şekilde azot doplanan grafen (N-grafen) tabakalarının ilgi çekici özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Özellikle, yakıt hücreleri ve lityum iyon pillerde üstün özellikler gösterdiği belirtilmiştir [11].

CVD yöntemiyle geniş alanlı ve iyi kalitede grafen üretimi oldukça kolaydır. Ancak, sürekli bir grafen film eldesi için uzun saatler gerekmektedir. Bu da endüstriyel üretimde düşük verim anlamına gelmektedir. 1000 °C’de biriktirme olması yüksek enerji maliyeti demektir. Sonraki transfer metal substratın tükenmesine ve grafen filmde kusur oluşumuna neden olur [5, 9]. Ayrıca substrat malzemenin maliyetli olması ve grafen biriktirme için küçük boyutlu olması geniş çaplı üretimini kısıtlayan diğer faktörlerdir [26].



Şekil 1.6. Termal kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi [4]

Tablo 1.1. Grafen üretim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

Grafen üretim yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Mikromekanik ayrılma	- Ekipman ihtiyacı yok - Yüksek kaliteli grafen	Büyük çaplı üretime uygun değil
Sıvı faz eksfoliasyonu	- Tek ya da birkaç tabakalı grafen - Büyük çaplı üretime uygun	- Yüksek enerji tüketimi - Düşük verim - Yapısal kusur oluşumu - Çevre dostu olmayan fazla miktarda organik çözücü ihtiyacı
Mekanik öğütme	- Düşük maliyetli - Büyük çaplı üretime uygun	- Uzun proses süresi - Yüksek enerji tüketimi - Düşük grafen verimi - Yapısal kusur oluşumu
Elektrokimyasal eksfoliasyon	- Düşük maliyetli - Yüksek grafen verimi - Kuvvetli oksidant ihtiyacı yok	- Pahalı kimyasal ihtiyacı - Buruşuk formda grafen oluşumu

Tablo 1.1. Grafen üretim yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (devam)

Grafen üretim yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Kimyasal oksidasyon	• Düşük maliyetli • Büyük çaplı üretime uygun • Yüksek grafen oksit verimi • İşlenebilmeye uygun	• Yapısal kusur oluşumu
Kimyasal buhar biriktirme	• Yüksek kaliteli grafen	• Düşük üretim verimi • Yüksek enerji tüketimi • Pahalı ve karmaşık teçhizat gereksinimi

1.2. Grafen Oksit

Grafit oksit, grafitten çok daha önce keşfedilmiştir. 1859 yılında Oxford üniversitesinden Profesör Brodie grafitin moleküler ağırlığını ölçmeye çalışmıştır. Potasyum klorat varlığında grafit ve dumanlı nitrik asit karışımı 60 °C’de 3-4 gün karıştırılmıştır [29]. Malzeme sonrasında yıkanmış ve tekrar aynı koşullarda okside edilmiştir, bu işlem 4 kere tekrarlandıktan sonra açık sarı katı malzeme elde edilmiş ve 100 °C’de kurutulmuştur. Malzeme saf suda ve alkali su ortamında dispers olabildiğinden ve asidik ortamda olmadığından, Brodie bu malzemeyi “grafik asit” olarak adlandırmıştır. Bu, grafit oksitin deneysel olarak elde edildiği ilk çalışmadır [2].

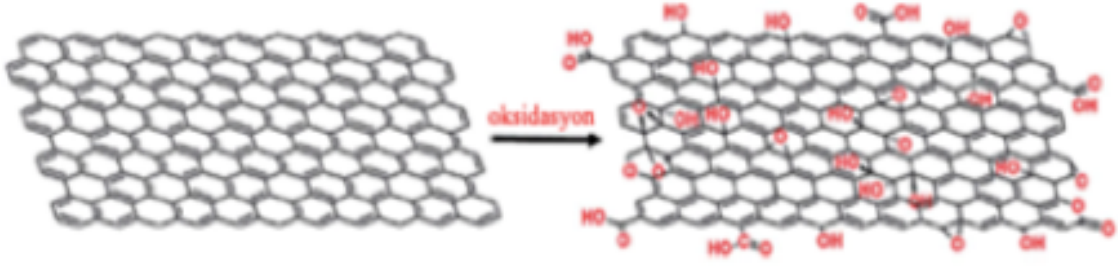
1898’de Staudenmaier, 2/3 oranda sülfürik asit ve 1/3 oranda nitrik asit karışımında potasyum kloratı küçük miktarlarda ekleyerek oksidasyon işlemini geliştirmiştir. Ancak bu yöntemde de reaksiyon süresi uzundur ve patlayıcı ClO₂ gazı açığa çıktığından tehlikelidir [30, 31].

1958’de, Hummers ve Offeman, konsantre sülfürik asit ve sodyum nitrat karışımında oksidant olarak potasyum permanganat kullanarak daha güvenli bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Bu yöntem, reaksiyon esnasında nitrik asit oluşturduğundan ve böylelikle oldukça koroziv olan dumanlı nitrik asit kullanımından kaçınıldığından önceki yöntemlere göre güvenlidir. Dumanlı nitrik asitin olmamasına rağmen, potasyum

permanganat ve sodyum nitrat kombinasyonu çok daha fazla okside olmuş grafit oksit oluşumunu sağlamıştır. Bundan dolayı Hummers yöntemi pek çok araştırmacı tarafından benimsenmiş ve kabul görmüştür [2]. Sahip olduğu avantajları rağmen bu yönteminde bazı olumsuzlukları bulunmaktadır: sodyum nitrat kullanımından kaynaklı $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ toksik gazların oluşumu ve Na^+ ve NO_3^- iyonlarının GO sentezi ve saflaştırma prosesleri süresince oluşan atık sudan uzaklaştırılmasındaki zorluk nedeniyle kullanımı kısıtlanmaktadır [30].

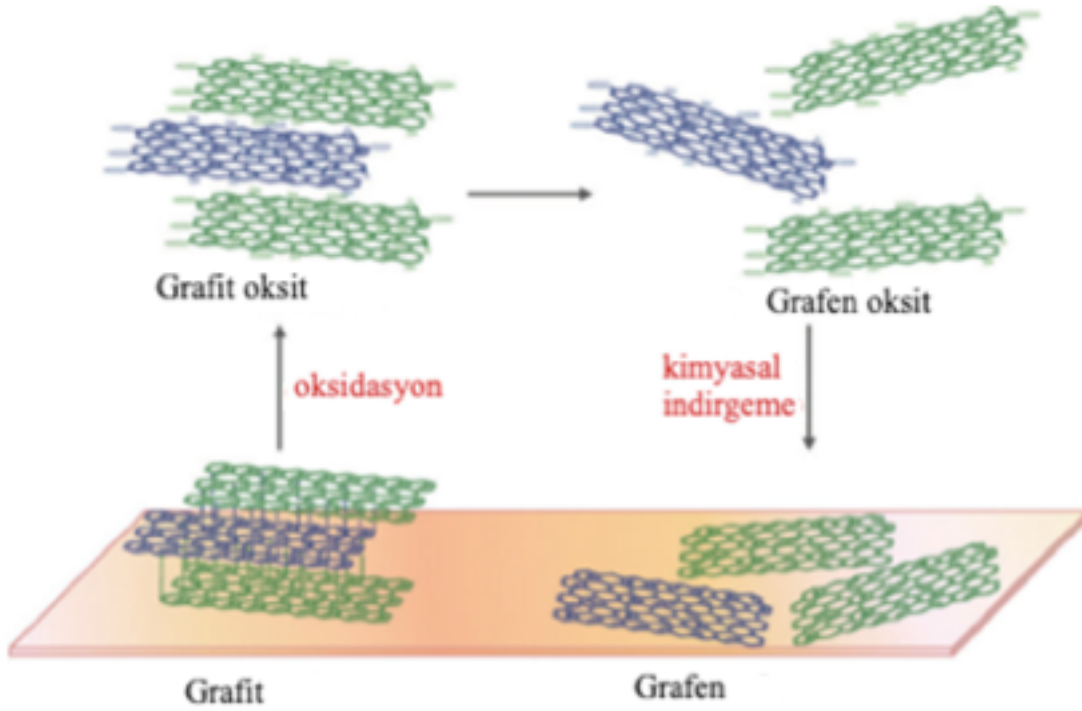
Oksidasyonun geliştirilmesine yönelik çalışmalarda, 2010 yılında Tour, NaNO_3 kullanmadan, KMnO_4 miktarını artırarak ve sülfürik asit ile fosforik asit karışımında grafen oksit sentezlemişlerdir. Sodyum nitratın kullanılmaması ve fosforik asitin varlığı bu yöntemi daha güvenli ve çevre dostu hale getirmiştir. Bu yöntemde, daha yüksek oranda okside olmuş grafit oksit elde edildiği ve daha sağlam bir grafitik bazal düzlem varlığı gösterilmiştir [32]. Ayrıca, düşük sıcaklıkta reaksiyon olması ve zehirli gaz açığa çıkmaması bu yöntemin öne çıkmasında önemli rol oynamaktadır [33].

150 yıllık süre boyunca mevcut grafit oksit sentez yöntemlerinin geliştirilmesi daha güvenli ve daha etkili alternatiflere doğru yönelmiştir. Oksidasyon prosesinin etkisi genellikle grafen oksitin C/O oranı ile değerlendirilmektedir. Grafit oksit temel olarak karbon, oksijen ve hidrojen atomlarından oluşmaktadır. Grafit oksitin C/O oranı genellikle 1.5-2.5 arasındadır [2]. C/O oranı GO'nun eksfoliasyon seviyesi, katman sayısı, tabaka boyutu, sp^2 ve sp^3 bölgelerin kısmi fraksiyonu ve fonksiyonel grupların konsantrasyonu gibi yapısal özellikleri etkilemektedir [34]. Grafit oksit, grafen üretiminde oldukça önemli bir ara malzemedir. Grafitin oksidatif reaksiyonu, grafitteki grafen katmanlar arasındaki mesafeyi artırır ve böylelikle kuvvetli Van der Waals kuvvetleri tarafından bir arada tutulan katmanların eksfoliasyon işlemi kolaylaşır. Bu işlem yukarıdan aşağıya üretim yaklaşımının bir örneğidir ve aynı zamanda grafenin büyük çaplı üretimi için fırsat sunan yöntemdir [2, 35, 36].



Şekil 1.7. Grafen tabakanın oksidasyonu ile oluşan grafen oksit tabaka [6]

Grafit oksit, grafitin okside olmuş formudur ve katmanlar arasında oksijen içerikli fonksiyonel grupların varlığından dolayı daha fazla katmanlar arası mesafeye sahip olan çok katmanlı bir yapıdır. Genel olarak kabul gören Lerf-Klinowski grafit oksit modeline göre, oksijen içerikli fonksiyonel gruplar, hidroksil, epoksi, karbonil ve karboksil gruplarını kapsamaktadır. Grafit oksitin bazal ekseni oldukça yoğun oranda hidroksil ve epoksi grupları içerirken, kenarlarda esas olarak karbonil ve karboksil grupları bulunmaktadır [6, 37, 38]. Grafen oksit, grafit oksitin eksfolie olmuş formudur ve grafit ve grafen arasındaki diğer bir önemli ara malzemedir. Grafen oksit grafit oksitin yapısal olarak farklı ancak kimyasal olarak benzer bir formudur. Grafit oksitteki oksijen fonksiyonel gruplarına sahiptir, ancak çoğunlukla tek-, çift- veya çok tabakalı grafen katmanlarından oluşmaktadır. Grafen oksit, sulu ortamda ya da polar organik çözücülerde ultrasonikasyon veya mekanik karıştırma yöntemleri ile elde edilmektedir. Ultrasonikasyon yöntemi, yığın haldeki grafit oksit tabakalarının eksfoliasyonunda daha hızlı ve etkili bir yöntem olmasına rağmen, genellikle yapısal hasara yol açar ve grafen oksit tabakaların daha küçük parçalara bölünmesine neden olur [2, 39, 40].



Şekil 1.8. Grafitten grafen sentezi [2]

Grafit oksitin yapısında bulunan oksijen içerikli fonksiyonel gruplar, grafen oksit tabakaları arasındaki Van der Waals etkileşimlerini değiştirir ve grafen oksitin hidrofil yapıya sahip olmasını sağlar. Bu oksijen içerikli fonksiyonel gruplar grafitin düzlemsel sp^2 karbonlarını yok eder ve sp^3 karbon yapısına dönüştürür. Bu yüzden, grafitin π - π elektronik konjugasyonu grafen oksitte yok olmuştur, bu da elektriksel iletkenlikte önemli bir düşüşe neden olmuştur. Grafen oksit, doğal olarak yalıtkan bir malzemedir. Ayrıca, oksijen içerikli fonksiyonel gruplar, grafen oksiti yüksek sıcaklıklarda pirolize maruz kaldığında termal olarak kararsız hale getirir. Grafen oksitin elektriksel iletkenliği, indirgeme işlemiyle grafitinkine yakın bir seviyeye getirilebilir [41].

1.2.1. Grafen oksitin indirgenmesi

Grafen oksitin grafene dönüştürülmesinde termal, kimyasal, elektrokimyasal, mikrodalga ve fotokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. İndirgeme yöntemleri, grafit/grafen oksitteki oksijen içerikli fonksiyonel grupları uzaklaştırmak amacıyla uygulanmaktadır. Belirtilen bu indirgeme yöntemleri, grafende elektronik, yapısal, fiziksel ve yüzey morfolojisi gibi özellikleri farklılaştırmaktadır. Tüm bu indirgenme yöntemlerinde, bazal düzlemdeki karbon atomları sp^3 'ten sp^2 hibritleşmesine dönüşerek saf grafene yakın

benzerlikte düzenlenmektedir. GO'nun indirgenmesi geniş çaplı üretilebilirlik için uygundur ve düşük maliyetli yöntemleri içermektedir [42].

Grafen oksitin grafene dönüşümü, deneysel gözlemler ve ölçümlerle anlaşılmaktadır. Genellikle grafen oksit dispersiyonun kahverenginden siyaha (grafene) dönüşü gibi renk değişimi önemli bir parametredir. Kolloid halde indirgenme işlemiyle GO tabakaların yüzeyindeki polar fonksiyonellikte azalma olur ve bunun sonucunda hidrofobisitenin artmasıyla topaklaşma oluşur. Ayrıca, indirgenmiş grafen oksitin elementel oksijen içeriğindeki düşüş (genellikle C/O değerindeki artış ile gösterilir) ve elektriksel iletkenliğindeki artış indirgeme yönteminin verimliliğini göstermektedir [43].

1.2.2. Grafen oksitin indirgenmesinde uygulanan yöntemler

1.2.2.1. Termal yöntem

Termal indirgeme, GO'nun yüzeyinden oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştırılmasında en bilinen yöntemlerdendir. Bu yöntemde, oksijen içerikli fonksiyonel gruplar su, karbon dioksit ve karbon monoksit formunda uzaklaştırılır. Numune, havasız ortamda ısıtılmış 1000-1100°C'deki fırına 30-35 s süreyle yerleştirilir. Üretilen gazlar grafit oksit veya grafen oksit tabakalarını genişletir ve bu malzemeleri grafene indirger. Termal indirgeme, basit, düşük maliyetli ve çevre dostu bir elektriksel iletken grafen üretim yöntemidir. Ancak bu yöntem, karmaşık deney düzeneğine ihtiyaç duyar ve yüksek miktarda enerji tüketir [12, 41]. Termal indirgeme ile elde edilen grafen, fotovoltaiik hücreler, kapasitörler, sensörler ve transparan elektrotlar gibi çeşitli endüstriyel alanlarda kullanım potansiyeline sahiptir [44].

1.2.1.2. Kimyasal yöntem

GO'nun indirgenmesinde etkili ve basit bir prosedür olan kimyasal indirgeme yöntemi, GO numunesi kimyasal indirgeme ajanı içeren çözeltide belirli bir süre ve sıcaklıkta bekletilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu sayede, oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştırılması sağlanır [12]. Elde edilen indirgenmiş GO, grafen yapısına benzer ancak yapısal kusurlarla birlikte oksijen kalıntısı ve başka hetero atomlar içermektedir. İndirgeme işlemiyle, GO'daki oksijen içerikli fonksiyonel grupların çoğu uzaklaştırılır ve grafit aromatik yapısındaki π elektron konjugasyonu kısmen tekrar sağlanır [45].

1.2.1.3. Elektrokimyasal yöntem

GO'nun elektrokimyasal yöntemle indirgenmesi, tek adımlı veya iki adımlı indirgeme yaklaşımı şeklinde gerçekleştirilebilmektedir. Tek adımlı elektrokimyasal indirgemedede, bir elektrot yüzeyinde indirgenmiş GO ince filmlerin üretilmesi için, GO tabakaları tampon elektrolit varlığında sulu kolloidal süspansiyondan direk bir şekilde elektrokimyasal olarak indirgenir. Elektrokimyasal indirgeme prosesi, döngüsel voltametri, doğrusal taramalı voltametri ile ya da oda sıcaklığında sabit bir potansiyel modunda standart üç elektrotlu elektrokimyasal sistem ile uygulanabilmektedir. GO tabakaların olduğu elektrot elektronları almaya başladığında, doğrudan elektrot yüzeyinde çözünmeyen indirgenmiş GO'nun oluşmasıyla elektrokimyasal indirgemenin gerçekleştiği düşünülmektedir. Elektro-birikme, sulu elektrolit içerisinde GO ve elde edilen indirgenmiş GO arasındaki çözünürlük farklılığından kaynaklanmaktadır [40].

İki adımlı elektrokimyasal indirgemedede, bir GO ince film öncelikle substrat olarak davranan bir elektrot yüzeyine biriktirilir ve ardından kurutularak GO kaplı elektrot elde edilir. GO kaplı substrat elektrot, standart üç elektrotlu elektrokimyasal sistemde tampon veya destekleyici elektrot varlığında elektrokimyasal indirgeme işlemine tabi tutulur. Bu yöntemde, GO film esnek plastik ve cam gibi yalıtkan substratlar ya da indiyum kalay oksit, camsı karbon ya da altın gibi iletken substratlar üzerine biriktirilebilir ya da kaplanabilir [40].

Kimyasal ve termal indirgemeye kıyasla, GO'nun elektrokimyasal indirgenmesi çevre dostu ve hızlıdır ve indirgenmiş malzemede kirlilik de yoktur. Bu yöntemde zararlı kimyasal indirgeme maddesi kullanımı gerekmediğinden indirgenmiş grafen oksitin saflaştırılmasına da gerek yoktur. Kusur miktarı göz ardı edilebilecek seviyededir ve bu yüzden süperkapasitör cihazlarda, dokunmatik ekranlarda ve esnek elektroniklerde kullanım alanı bulması oldukça yüksektir. Ayrıca, kimyasal ve termal indirgeme yöntemlerine göre güç tüketimi de göz ardı edilebilir. Ancak, ticari uygulamalar için indirgenmiş GO'nun büyük çaplı üretimi en büyük dezavantajlarından biridir. İndirgeme derecesi de kimyasal ve termal indirgeme yöntemlerindekiyle kıyaslanamaz [41].

1.2.1.4. Mikrodalga yöntemi

Mikrodalga ısıtma grafitik prekürsör malzemelerin indirgenmesinde ve eksfoliasyonunda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Mikrodalga uygulaması, toz haldeki GO'ya katı hal indirgenmesi ya da GO'nun süspansiyonda indirgenmesi şeklinde uygulanabilmektedir. Ayrıca, GO'nun eş zamanlı indirgenmesi ve doplanması da hibrit malzemelerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Mikrodalga ile indirgeme yöntemi hızlı ve enerji tasarruflu bir yöntemdir. Mikrodalga destekli ısıtma, numunenin iç sıcaklığında ani bir artışa neden olarak enerjinin direk olarak numuneye transferini sağlar. İç sıcaklıktaki bu ani artış reaksiyon süresini belirgin bir şekilde kısaltır ve reaksiyon etkisini artırır. Ayrıca, çözücü ve numune arasındaki dielektrik sabitlerinin farklı olması nedeniyle, seçici dielektrik ısıtma numuneye direk enerji transferini belirgin bir şekilde artırarak iç sıcaklıkta ani bir yükselmeye neden olur ve böylelikle GO indirgenir. Kuru GO mikrodalga enerjisini kuvvetle absorplar ve yüzey sıcaklığı aniden yaklaşık olarak 400 °C'ye kadar yükselir ve 2 s içinde indirgenmiş GO elde edilir [45].

1.2.1.5. Fotokimyasal yöntem

GO'nun fotokimyasal indirgenmesi katkısız, hızlı, temiz ve çok yönlü bir indirgeme yöntemidir. Yüksek kaliteli indirgenmiş GO eldesi, GO'nun güneş ışığına, UV ışınına ya da atomal lazere maruz kalması sonucunda gerçekleşmektedir. İndirgeme prosesi, film ya da süspansiyon halde uygulanabilmektedir. Fotokimyasal indirgeme, herhangi bir fotokatalizör kullanılmadan GO'nun UV ışınına maruz kalmasıyla gerçekleşebilmektedir. Dispers haldeki GO, 335 ve 532 nm dalgaboylarında atomal lazerle nano-saniye lazer atışları sonucunda indirgenmiş GO'ya dönüşmektedir. Ayrıca, GO süspansiyonun zenon lamba ışınına maruz kaldığında hızlı bir şekilde indirgendiği belirtilmiştir. Herhangi bir kimyasal indirgeyici madde ve yüzey aktif madde kullanım ihtiyacı ve ilave saflaştırma proses gereksinimi olmadan GO'nun indirgenmesinde basit ve avantajlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [45, 46]. GO'nun fotokimyasal indirgenmesi 390 nm'den küçük dalgaboylarında gerçekleştiğinden, 390 nm'den küçük lazer dalgaboyları da, numune yüzeyindeki lazer yoğunluğuna bağlı olarak fotokimyasal ve fototermal indirgenme yöntemlerinin kombinasyonu şeklinde GO'nun indirgenmesini sağlar [46].

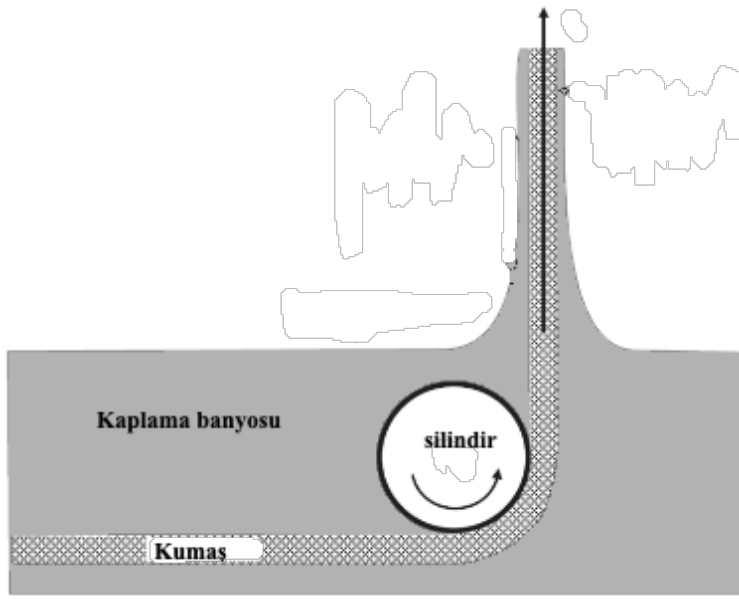
1.3. Grafen Oksitin Tekstil Yüzeylerine Uygulanması

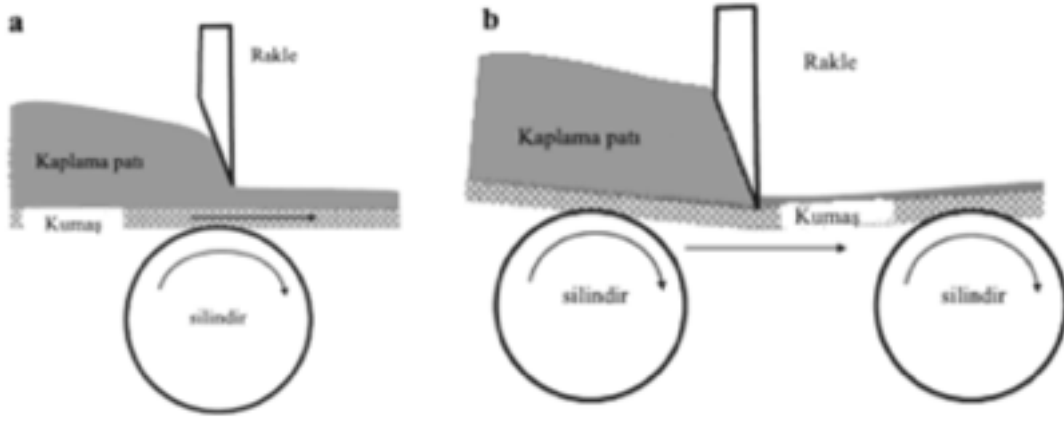
Grafen esaslı tekstillerin üretiminde temelde 3 yöntem kullanılmaktadır. Birincisi; grafen, grafen oksit, indirgenmiş grafen oksit gibi grafen esaslı malzemelerle tekstillerin kimyasal olarak kaplanması yöntemidir. İkincisi; grafen dokuma kumaşlar olarak bilinen grafenin metalik bir ağ (genellikle bakır) üzerine CVD uygulaması ve daha sonra asit uygulama işlemleriyle ağ yapının uzaklaştırılması sonucunda sadece grafen kumaş yapısının elde edilmesi yöntemidir. Üçüncüsü ise; grafen liflerin üretilerek kumaş elde edilmesi yöntemidir. Kolay ve büyük ölçekli uygulanabilirliği nedeniyle ilk yöntem en yaygın kullanılan yöntemdir [47].

1.3.1. Daldırma yöntemiyle kaplama

Kaplama uygulamaları içerisinde en basit, en temel ve en eski olan teknik daldırma ile kaplama tekniğidir. Bu yöntem, düşük viskoziteli kaplama banyosuna kumaşın daldırılması ve ardından çekilmesi prensibine göre uygulanmaktadır. Kaplama işlemindeki önemli parametreler ise tekstil yüzeyi ve kaplama banyosunun özellikleriyle belirlenmektedir. Kumaş yapısı, kaplama banyosunun viskozitesi, banyonun yüzey gerilimi, kaplama hızı önemli proses parametreleridir. Liflerin ıslanabilirliği, tekstil yüzeyinin pürüzlülüğü ve kaplama banyosunun uygun olmaması kaplama kalınlığını etkiler [48].

Daldırma yöntemiyle kaplama literatürde GO'nun tekstil yüzeylerine kaplanması en çok uygulanan yöntemdir. Grafen oksit negatif yüklü yapısından dolayı sulu çözeltilerde dispersiyon eldesi açısından oldukça ideal bir malzemedir. Ayrıca, grafen oksitteki negatif gruplar kumaştaki fonksiyonel gruplarla etkileşime girmesine imkan verir ve böylelikle grafen oksitin tutunması artmış olur. Kumaş, grafen oksit dispersiyonuna belirli bir süre daldırılır ve sonrasında kumaş kurutulur. Daha sonra istenirse indirgeme işlemi uygulanır [47].

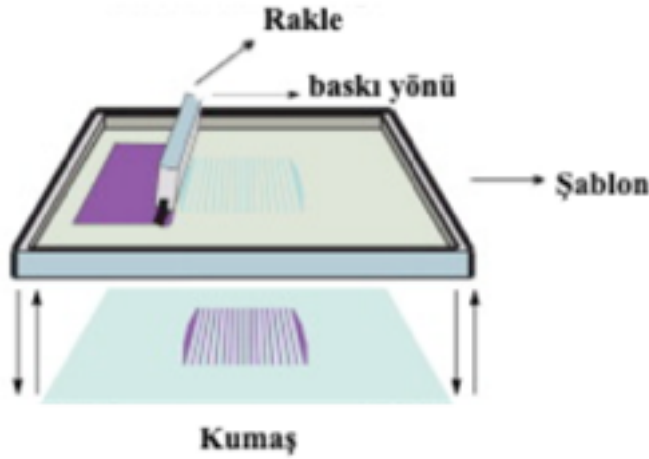




Şekil 1.10. Rakle ile kaplama tekniği, (a) rakle silindir üstünde, (b) rakle havada [48]

1.3.3. Şablon baskı

Şablon baskı tekniği, geleneksel tekstil baskıcılığında en büyük paya sahip bir tekniktir. Bilinen büyük çaplı baskı teknolojileri içerisinde şablon baskıcılığı çok yönlü ve çok eski bir teknik olmasıyla birlikte diğer baskı yöntemlerine göre daha basit ve hızlı olarak değerlendirilir. Günümüzde, şablon baskı tekniği güneş hücreleri, sensörler, organik ışık yayan cihazlar ve ince film transistörlerin yapımında kullanılmaktadır. Şablon baskı işleminde, öncelikle şablon kumaşın belirlenen kısmına yerleştirilir, sabitlenir ve baskı patı şablonun üst kenarına dökülür. Baskı işlemi raklenin şablonun üstünden aşağı doğru hareketiyle baskı patını şablon gözeneklerinden kumaş yüzeyine itmesiyle gerçekleştirilir. Böylelikle, raklenin 1 pasaj hareketiyle baskı patı kumaşa aktarılırak baskı işlemi yapılmış olur [51]. Baskı miktarı; şablon mesh sayısı, rakleye uygulanan basınç, rakle ve şablon arasındaki açı ve baskı patının viskozitesi ile ilgilidir [48].



Şekil 1.11. Şablon baskı tekniğinin şematik gösterimi [52]

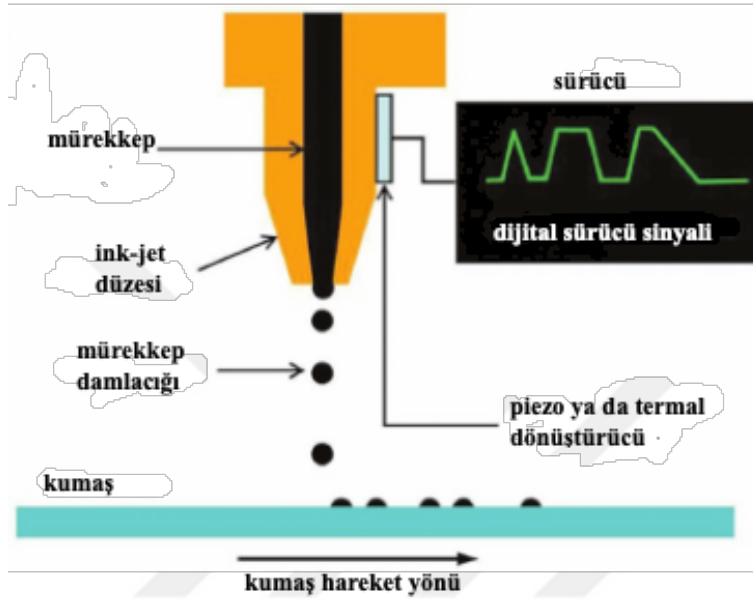
Şablon baskı tekniği, basitliği, yeniden üretilebilirliği ve birçok yüzey ve malzeme ile yüksek uyumluluğu nedeniyle oldukça avantajlıdır. Bu yüzden, giyilebilir cihazların büyük çaplı üretiminde oldukça düşük maliyete sahiptir. Ancak, şablon baskı tekniğinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Baskı işlemi esnasında patın kuruması, baskı özelliklerini ve elde edilecek ürünün özelliklerini etkileyebilir. Şablon ve kumaşın direk teması, raklenin baskısıyla kumaş üzerinde istenmeyen çiziklere ve kırışıklıklara neden olabilir; bu da transparanlığı ve esnekliği etkileyebilir [51, 53].

Şablon baskının kalitesi genellikle baskı patı reolojisine, baskı malzemelerine (şablon, rakle ve kumaş), ve baskı prosesine bağlıdır. Patın şablonun gözeneklerinden geçişi, baskılı yüzeyin düzgünlüğünü ve homojenliğini belirlediğinden önemlidir. Uygun baskı patı için optimum viskozitenin sağlanması için grafen pat formülasyonları genellikle, grafen dispersiyonların jelatinleşmesi ya da yüksek konsantrasyonlu grafen patlarının hazırlanması üzerine odaklanmaktadır. Şablon baskıcılığında grafen pat kullanımının bir dezavantajı, oldukça viskoz ve yoğun grafen dispersiyonu hazırlanmasında grafenin topaklaşma eğilimi olmasıdır [51].

1.3.4. İnk-jet baskı

Geleneksel baskı tekniklerinin aksine, inkjet baskıcılığında kumaşla direk temas eden fiziksel bir baskı şablonu kullanılmaz. İnkjet baskı için grafen mürekkep formülasyonları oldukça fazla dikkat çeken bir çalışma alanıdır. İnkjet baskı tekniğinin çalışma prensibi, kumaş üzerinde istenilen şablonun oluşması amacıyla baskı düzelerinden mikro-boyutlu

mürekkep damlacıkların sürekli oluşturulması ve püskürtülmesi esasına dayanmaktadır. İnkjet baskının temel prensibi, bilgisayar üzerinden dijital olarak kontrol edilerek mürekkep damlacığının istenilen noktaya (piksel) doğru bir şekilde yerleştirilmesidir. Mikro-damlacıkların oluşumu, bir düze aracılığıyla mekanik baskı üreten piezoelektrik mekanizma ya da basıncı ve hacmi artırmak için mürekkebin ısıtılması esasına dayanır [51].



Şekil 1.12. İnk-jet baskı tekniğinin şematik gösterimi [54]

GO esaslı mürekkepler, GO'nun hidrofilik yapısı nedeniyle suda ve yaygın çözücülerde kolaylıkla dispers olabilmesinden dolayı uzun zamandır inkjet baskıcılığında kullanılmaktadır [51].

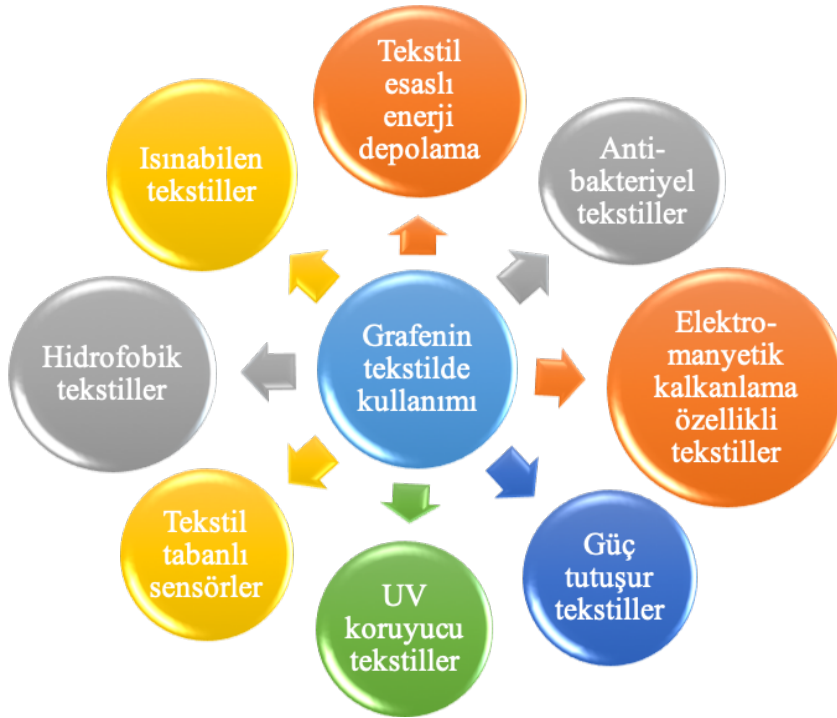
Mürekkeplerin akışkan özelliği mürekkep damlacıklarının oluşumunda oldukça önemlidir. Mürekkepler, damlacık akışı oluşturabilmek amacıyla genellikle düşük viskoziteye (4-30 cP) ve yüksek yüzey gerilimine (~35 mN/m) sahiptir. Grafen mürekkeplerde, grafen tabakaların genişliği ve mürekkep dispersiyonundaki stabilitesi kontrol edilmesi gereken parametrelerdir. Aksi halde, çalışma esnasında düze delikleri tıkanabilir [51].

İnkjet baskı tekniği, yüksek çözünürlüğe sahip olması ve çok yönlülüğünden dolayı avantajlıdır. Fiziksel bir baskı malzeme gereksinimi olmadığından üretim halindeyken tasarım yenilemesine olanak tanır. Bu, diğer geleneksel baskı teknikleri için büyük

finansal ve zaman yatırımı oluşturarak maliyeti artırır. Temassız baskı yöntemiyle kumaş yüzeyinde kuvvetli baskı oluşmaz ve böylelikle kirlenme, çizik ve kırışık oluşumu engellenmiş olur. Ayrıca, inkjet baskı çok ince grafen tabaka birikmesine olanak sağladığı için ince film uygulamalarında da öne çıkmaktadır. Inkjet baskının dezavantajı ise, geleneksel baskı tekniklerine göre oldukça düşük üretim verimidir. Verimi artırmak için, bir baskı cihazında çoklu düzeler ile çalışılması gerekmektedir, bu da hata ve bozulma olasılığını artırmaktadır. Ayrıca, grafenin dispersiyonda agregasyonu düzede tıkanma yapabilir ve damlacık oluşumunu engelleyebilir [51].

1.4. Grafenin Tekstilde Uygulama Alanları

Elektronik tekstiller ya da e-tekstiller olarak da bilinen akıllı tekstiller, biyosensörler, sağlık uygulamaları, giyilebilir ekranlar, askeri alanlar gibi sektörlerde potansiyel uygulamalara sahip olduğundan dolayı oldukça ilgi çekmektedir. Giyilebilir bir e-tekstil ürünü elektriksel iletkenliğin yanı sıra mukavemetli, mekanik olarak esnek ve hafif olmalıdır. Son yıllarda, yüksek performanslı iletken tekstillerde grafenin lif, iplik ya da kumaş olarak uygulanabilmesi sıra dışı özelliklerinden dolayı popülerliğini artırmıştır [55].



Şekil 1.13. Grafenin tekstilde kullanım alanları

1.4.1. Tekstil esaslı sensörler

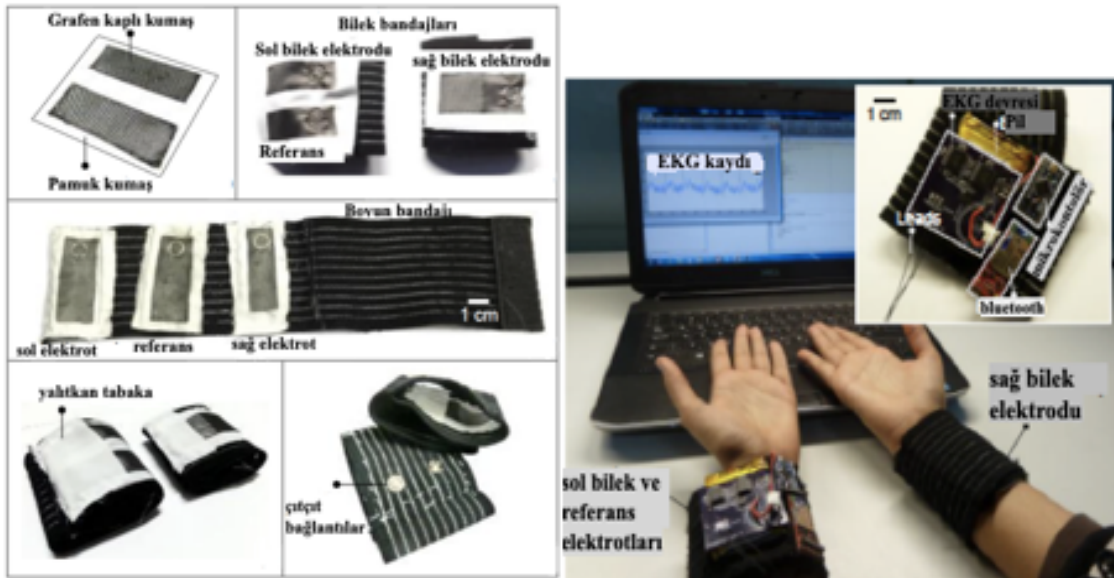
Bir sinyali ya da uyarıyı algılayan ve bu uyarıyı elektronik olarak ölçülebilen bir sinyale dönüştüren cihaza sensör denir. Örneğin, sensörler ısı, ışık ve basınç gibi fiziksel güçlere tepki verir ve bu fiziksel miktarın ölçümü için bir çıktı oluşturur. Akıllı tekstiller, mekanik olarak ve/veya yapısal olarak bir tekstil malzemesine entegre edilen sensörleri kapsamaktadır [56]. Bu tip giyilebilir elektronik sistemler, askeri, güvenlik, sağlık ve spor gibi alanlarda yeni ve gelişmiş uygulamalarda kullanım potansiyeline sahiptir. Giyilebilir sensörler, insanlar ya da hayvanlar tarafından vücuda giyilebilir ve vücut ile sensör arasındaki bağlantı sayesinde fizyolojik parametrelerin görüntülenebilmesine olanak sağlar. Tekstil malzemelerinin sıcaklık, basınç, gerinim ve nem gibi farklı uyarıyı algılamasına olanak sağlayan akıllı giysiler, bağımsız olarak geliştirilen sensörler ya da bir tekstil parçasına entegre edilen sensörler için destek yüzey olarak kullanılabilir [56]. Grafen esaslı malzemeler mükemmel esneklik ve iyi elektriksel iletkenliklerinden dolayı genellikle gerinim ve basınç sensörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tekstil esaslı sensörlerin geleneksel üretim prosesleriyle uyumlu olması büyük ölçekli ve düşük maliyetli üretim yapılabilmesini sağlamaktadır [53].

Tekstil gerinim sensörü, gerinim uygulanan bir tekstil malzemesinin elektriksel direncinde ve kapasitansında meydana gelen değişiklikleri algılayan bir sistemdir. Gerinim sensörlerinin yüksek hassasiyete, iyi esnekliğe ve iyi gerilebilmeye sahip olması gerekmektedir. Grafen esaslı tekstil gerinim sensörleri, nefes alma, yüz ifadeleri, sesler, öksürme ve nabız gibi küçük hareketlerden, uzuv gibi geniş hareketlere kadar oldukça çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır [57]. Tekstil gerinim sensörleri piezodirençli, kapasitif, piezoelektrik, triboelektrik ve optik gibi alt başlıklara ayrılmaktadır. Piezodirenç sensörleri tekstil gerinim sensörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü geniş ölçüm aralığına, basit cihaz yapısına, yüksek hassasiyete ve düşük enerji tüketimine sahiptir [57, 58]. Doğal cildin hassas basınç algılama özelliklerini taklit edebilen ve bunun üzerine çıkabilen basınç sensörlerinin geliştirilmesi, malzemelerin ve cihazların rasyonel tasarımını gerektirir. Yüksek hassasiyet, iyi esneklik ve çok fonksiyonlu özelliklere sahip, giysilere yerleştirilen ya da düzgün olmayan biyolojik yüzeylere direk olarak sarılan giyilebilir basınç sensörlerine talep oldukça fazladır [58].

Yin ve ark. [58], poliamid interlok kumaşı İGO dispersiyonunda daldırma ile kaplama yöntemiyle kaplamışlar, ardından İGO/poliamid kumaşı PDMS ile sandviç yapı oluşturacak şekilde kaplayarak üretmişlerdir. Elde edilen kompozit yapının basınç sensörü olarak performansı test edilmiştir. Yüksek hassasiyete, düşük algılama limitine, geniş bir algılama aralığına ve 10000 yükleme-boşaltma döngüsünde mükemmel kararlılığa sahip basınç sensörünün; solunum, el bileğinden nabız ve ses tanıma gibi insanların fiziksel olarak oluşturdukları sinyalleri yüksek doğrulukta tespit edebildiği belirtilmiştir.

Wang ve ark. [59], poliester nonwoven kumaşı vakum filtrasyon tekniği ile GO ile kaplamışlar ardından hidroiyodik asit/asetik asit karışımı ile indirgemişlerdir. Düşük yüzey direncine sahip olan İGO/PET kumaşın gerinim sensörü olarak kullanımı incelenmiştir. El bileği üzerine yerleştirilen kumaşa, bileğin yukarı ve aşağı bükülmesi sonucu oluşan gerinimler, kumaş direncindeki değişim yoluyla izlenmiştir.

Yapıcı ve Alkhidir [60], naylon kumaşı daldırma yöntemiyle GO ile kaplamışlar ve hidroiyodik asit ile indirgemişlerdir. Elde edilen İGO/Naylon kumaşın EKG sensörü olarak kullanımı incelenmiştir. Giyilebilir prototip EKG bilek bandajının performansının konvansiyonel Ag/AgCl elektrotlarla karşılaştırıldığında mükemmel olduğu ve herhangi bir ön hazırlık veya jel uygulaması gerektirmemesinin de avantaj sağladığı belirtilmiştir.



Şekil 1.14. Grafen içerikli tekstil tabanlı EKG sensör tasarımı ve prototipi [60]

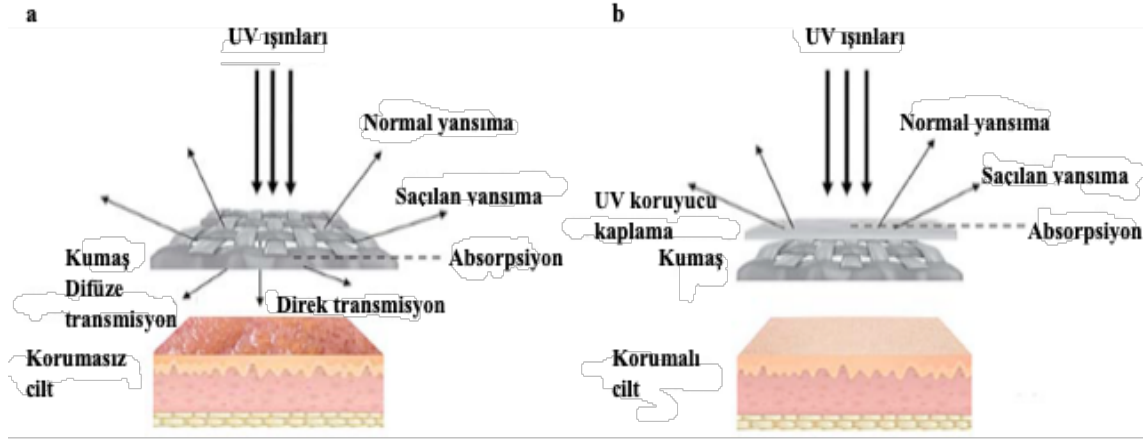
Montazerian ve ark.[61], Spandex ipliği daldırma yöntemiyle grafen nanotabakalar ile kaplamışlar, ardından iletken ipliğe koruyucu olarak silikon kauçuk kaplama işlemi uygulamışlardır. Sağlık verilerinin izlenmesi amacıyla üretilen entegre sensör, kompozit yapı olarak geliştirilmiştir. Cam elyaf/PP dokuma kumaş arasına eklenen iplik sensör sıcak preslemeyle kompozit yapı olarak elde edilmiştir. İnsan vücut hareketleri ve nabız algılama performansı test edilmiştir. Kompozit sensörün, parmağın bükülüp-açılması, el bileğinden nabız ölçümü, kifo gibi omurganın duruş bozukluğu neden olduğu davranışların gözlenmesi, nefes alış-verişinin göğüsteki hareketi gibi hareketleri algıladığı ifade edilmiştir.

Huang ve ark. [62], hareket algılama amaçlı sensör malzemesi olarak tekstil üzerinde iletken kompozit yüzey oluşturmuşlardır. Çalışmada, iletken kompozit tabaka olarak kullanılan grafen nanotabakalar, PANi polimer ve silikon kauçuk karışımı likra kumaş üzerine spin kaplama tekniği ile kaplanarak, esnek kumaş elektrodunun üretimi gerçekleştirilmiştir. Tekstil elektrot, sensör cihazın direnç-hassasiyetli kısmı olarak kullanılmıştır. Sensör cihazın nemden etkilenmesini önlemek ve kullanım esnasında davranışlarını stabil tutmak için PDMS tabaka ile kaplanmıştır. Eldiven üzerine yerleştiren sensörler parmak hareketlerini algılamak üzere test edilmiştir. Parmakların bükülme ve açılma hareketleri boyunca parmaklardaki buna karşılık gelen direnç artmış ve geri dönmüştür. Bu yüzden de, esnek kumaş gerinim sensörlerinin, elektromekanik cihazlarda ve robotik ve diğer sanal gerçeklik uygulamalarında hareketi kontrol etmek amaçlı kullanımı öne çıkmaktadır.

Golparvar ve Yapıcı [63], elektrookülogram (EOG) sinyallerini edinme amaçlı grafen-tekstil elektrotlarını geliştirerek, medikal uygulamalar ve insan-bilgisayar etkileşiminde kişisel aparat ve arayüz olarak giyilebilir EOG sensörlerin geliştirilmesiyle ilgili bulguları paylaşmışlardır. EOG, göz küresinin hareketinin neden olduğu biyopotansiyel sinyallerin kaydedilmesi için kullanılan bir ölçüm tekniğidir. GO ile daldırma yöntemiyle kaplanan naylon kumaş ardından indirgenerek İGO/Naylon kumaş yapısı elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, İGO/Naylon elektrot konvansiyonel Ag/AgCl elektrot ile karşılaştırılmış ve farklılık olmadığı görülmüştür.

1.4.2. UV koruyucu tekstiller

UV radyasyon, UVA (400-315 nm), UVB (315-290 nm) ve UV-C (290-200 nm) ışınlarından oluşmaktadır. Bu ışınlar, üst atmosferin filtreleme etkinliğine, coğrafi konuma, atmosferdeki saçılma, bulut yoğunluğuna, yerel koşullara bağlı olarak yeryüzüne gelen güneş ışığında farklı miktarlarda bulunmaktadır. UVC ışının tamamı ve UVB ışının %98'i ozon tabakası tarafından filtrelendirir [64-66]. UV ışınların canlı organizmalar, özellikle insanlar üzerindeki etkisi üzerine pek çok araştırma yapılmış ve cilt kanseri ve UV miktarı arasındaki önemli bir ilişki olduğu bilinmektedir. Uzun süre güneş ışığına maruz kalma sonucu deri hücreleri zararlı UV ışınları absorplar ve fazla miktarda absorplanan UV ışınları yara oluşumu sonucu cilt kanseri gibi hastalıklara neden olur. UV ışınların zararlı etkilerine karşı toplumsal uyarı amaçlı UV indeksi, UV koruma faktörü (UPF) ve güneş koruma faktörü (SPF) gibi çeşitli raporlama teknikleri sunulmuştur. Tekstil malzemeleri ve güneş koruyucu losyonlar için genel olarak kullanılan terminolojiler UPF ve SPF olarak bilinmektedir [65]. Tekstillerin uzun süre UV ışınına maruz kalmasının dezavantajı, absorbe edilen UV ışını nedeniyle farklı kimyasal bağların kırılması olup, bu da tekstil liflerinin fotokimyasal bozunmasına, renk solmasına, kristalinitenin artmasına ve başka kimyasal ve fiziksel değişimlere neden olur. UPF değerleri, UV ışının neden olduğu cilt kızarıklığını tekstil malzemelerinin ne kadar azalttığını belirtmektedir. Örneğin UPF 50, $E(\lambda)$ (relatif eritemal etki spektrumu) dalga boyu aralığında UV ışınları 50 kat azalttığını ifade etmektedir. Bir tekstil ürününün UPF değeri, lif içeriği, örgü tipi, kumaş rengi, bitim işlemi ve kullanılan katkı malzemesi gibi üretim şartlarına bağlıdır. Ayrıca, esneme, aşınma ve nem içeriği gibi üretim sonrası şartlar da UPF değerini etkilemektedir. UV koruyucu bir giysi için minimum UPF değerinin 40 ya da 50+ olması önerilmektedir [67].



Şekil 1.15. UV ışınların (a) korumasız kumaşta ve (b) korumalı kumaşta şematik görünümü [68]

Grafen (ya da İGO), 260 nm gibi kısa dalga boylarında UV ışınları absorplamaktadır, bu yüzden 280-400 nm aralığındaki dalga boylarında grafenin UV koruma mekanizması absorplama ağırlıklıdır. Grafenin uzun dalga boylarında UV ışınları yansıtarak UV koruyucu özelliğe sahip olması, eşsiz 2 boyutlu düzlemsel yapısı ile açıklanmaktadır. Böylelikle, grafenin UV koruyucu özelliği iki simultane etkinin, daha kısa dalga boylarında absorpsiyon ve daha uzun dalga boylarında yansıtma birleşimiyle oluştuğu söylenebilir [69]. GO, İGO ve grafen nanotabakaların üstün UV koruyucu özelliğe sahip olduğu literatürde çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Tablo 1.2’de yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar özet olarak sunulmuştur.

Tablo 1.2. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen ultraviyole koruyuculuk sonuçları

Malzeme kompozisyonu	Kaplama tekniği	İndirgeme maddesi	UPF			Kaynak
			Yıkama öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
Gr/WPU/Pamuk	Daldırma	-	356.74	-	-	[66]
SnO₂-İGO/Poliester	Çektirme	SnCl ₂	221.4	216.9	10	[69]
Gr/WPU/Pamuk	Emdirme	-	500	-	10	[70]
PANI/GO/Pamuk	Vakum filtrasyon	-	445.21	412.63	10	[71]

Tablo 1.2. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen ultraviyole koruyuculuk sonuçları (devam)

Malzeme kompozisyonu	Kaplama tekniği	İndirgeme maddesi	UPF			Kaynak
			Yıkama öncesi	Yıkama öncesi	Yıkama öncesi	
GO/Pamuk	Daldırma	FeCl ₂ /FeCl ₃	266.02	-	-	[72]
GO/Pamuk	Daldırma	Hidrazin monohidrat	442.69	422.32	10	[73]
Kitosan/Gr/Pamuk	Daldırma	-	465.8	432.7	10	[74]
GO/İpek	Daldırma	Na ₂ S ₂ O ₄	~25	~24	10	[75]
GO/Aramid	Daldırma	Na ₂ S ₂ O ₄	73	-	-	[76]
İGO/PPy/Poliester	Daldırma	-	73	-	-	[77]
GO/Pamuk	Daldırma	Termal indirgeme	35.8	29.6	8	[78]
N-Halamin-GO/Pamuk	Daldırma	C ₆ H ₈ O ₆	187	-	-	[79]
PEDOT:PSS-Grafen/Kitosan/Pamuk	Daldırma	-	312	301	10	[80]
GO/Poliamid	Elektroforetik biriktirme	Termal indirgeme	≥500	-	-	[81]
Cu-İGO/Pamuk	Daldırma	Na ₂ S ₂ O ₄	46.45	-	-	[82]
İGO/WPU/Pamuk	Şablon baskı	Na ₂ S ₂ O ₄	757	-	-	[83]

1.4.3. Hidrofobik tekstiller

Bir yüzeyin ıslanabilirliği, belirli bir sıvının bir damlasının yayılması olarak tanımlanabilir ve temelde katı substrat ve sıvı (γ_{sl}), substrat ve gaz atmosferi (buhar vs.) (γ_{sv}), ve sıvı ve atmosfer (γ_{lv}) arasındaki arayüz enerjileri ile ilgilidir. Bu büyüklükler arasındaki ilişki ve yüzey üzerinde duran damlacığın statik temas açısı (Θ_Y) Young eşitliği ile açıklanmaktadır [84, 85]:

$$\cos \Theta_Y = \frac{(\gamma_{sv} - \gamma_{sl})}{\gamma_{lv}} \quad (2)$$

Hidrofobisite, polar olmayan grupların eklenmesiyle substratın yüzey enerjisinin azalması ve yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla elde edilebilir [84]. Hidrofobik yüzeyler, temas açısı 90° ve daha büyük olan yüzeyleri, süperhidrofobik yüzeyler ise su temas açısı 150° ve daha büyük olan mükemmel su iticiliğe sahip yüzeyleri ifade etmektedir [85-88].

Grafen malzemeler geniş yüzey alanı, yüksek kalıcılığı, yüksek elastikliği ve mükemmel termal özellikleri ve yüksek mekanik dayanımı gibi özelliklerinden dolayı büyük ilgi çekmektedir. Grafenin bu kadar çeşitli özellikleriyle hidrofobik tekstillerde kullanımının farklı uygulama alanlarında multi-fonksiyonel özelliklere sahip tekstillerin geliştirilmesinde önemli olduğu belirtilmektedir [87]. Tablo 1.3'te literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar özet olarak sunulmuştur.

Tablo 1.3. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinin su temas açısı değerleri

Malzeme kompozisyonu	Kaplama tekniği	İndirgeme maddesi	Su Temas Açısı (°)			Kaynak
			Yıkama Öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
İGO/İpek	Daldırma	Na ₂ S ₂ O ₄	126.93	~126	10	[75]
İGO/Poliester	Daldırma	Na ₂ S ₂ O ₄	127	-	-	[77]
İGO/Pamuk	Daldırma	Termal indirgeme	125	108	8	[78]
İGO-PSPH-Cl/Pamuk	Daldırma	C ₆ H ₈ O ₆	140	-	-	[79]
İGO/Poliamid	Elektroforetik biriktirme	Termal indirgeme	96.7	-	-	[81]
Cu-İGO/Pamuk	Daldırma	Na ₂ S ₂ O ₄	150	-	-	[82]
İGO/Poliester	Sprey	Termal indirgeme	79	-	-	[89]
SiO ₂ /İGO/Pamuk	Sprey	-	151.4	-	-	[90]
GO/Pamuk	Daldırma	-	143	-	-	[91]
Organosilikon-İGO/Pamuk	Daldırma	Termal indirgeme	153	152.7	Ultra-sonik	[92]
PMS-Gr/Pamuk	Daldırma	C ₆ H ₈ O ₆	163	-	-	[93]
Ag/İGO/Pamuk	Daldırma-Mikrodalga	Trisodyum sitrat	135.1	-	-	[94]
PEDOT:PSS-İGO/Poliamid	Daldırma	C ₆ H ₈ O ₆	141	-	-	[95]

1.4.4. Isınabilen tekstiller

Esnek elektro-termal ısıtıcılar, giysilerin ısıtılması, araçların ısıtılması veya medikal amaçlar için ısıtma gibi giyilebilir elektroniklerde son yıllarda artan öneme sahip bir konudur. Bir elektro-termal ısıtıcının verimliliği, temelde konvektif ısı kaybı ile ilgilidir. Grafenin düşük konvektif ısı transfer katsayısına sahip olduğu ve bu yüzden elektro-termal ısıtma malzemesi olarak kullanım potansiyeline sahiptir. Bir elektro-termal ısıtıcı, özellikle giyilebilir cihazlarda kullanılacaksa, insan vücudu için tehlike oluşturmayan düşük voltajda çalışabilen, düşük elektriksel dirence sahip özellikte olmalıdır [96, 97]. Olağanüstü elektrokimyasal özelliklere sahip bir esnek elektriksel iletken tekstil yüzeyi, esnek pil ya da süperkapasitör olarak kullanılabilir. Bu tür bir esnek iletken tekstil malzemesi aynı zamanda yüksek elektro-ısıtma verimi ve elektro-mekanik özelliklere sahip olduğunda ise elektro-ısıtma elemanı ve gerinim sensörü olarak da kullanılabilir [98]. Karbon esaslı malzemeler, Joule yasasına göre elektriksel ısıtma özelliği göstermektedir. Genel olarak, Joule yasası, elektriksel dirence sahip bir malzemenin elektriksel akım geçtiğinde meydana gelen bir durumdur. Burada, malzemenin doğası gereği olan direnç, elektriksel enerjinin termal enerjiye dönüşmesini sağlar. Bu, hareket eden elektronların malzemenin ana bileşenleri olan atomlarla çarpışmasından kaynaklanmaktadır [99].

Wang ve ark. [59], poliester kumaşı daldırma ile kaplama yöntemiyle GO ile kaplamışlar ve hidroiyodik asit ile indirgemişlerdir. Elektrotermal özelliğin belirlenmesi için kumaş 5x2 cm boyutlarında hazırlanmış ve termal kamera ile yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. 0-14 V arası voltaj uygulamalarında yapılan ölçümlerde en yüksek yüzey sıcaklığı 14 V voltajda 3 mg/mL GO konsantrasyonu ile kaplanan kumaşta 138.64°C olarak belirlenmiştir. Isının homojen bir şekilde kumaşa yayıldığı ve kumaşın bükülmüş halde ısıtılmasının sıcaklık dağılımını etkilemediği de bildirilmiştir.

Noh ve ark. [97], akrilik kumaşı GO ile damlatma ile kaplamışlar ve hidroiyodik asit çözeltisi ile indirgemişlerdir. Elektro-termal test için 2.5x0.5 cm boyutlarında kalacak şekilde kumaşın uçlarına gümüş macun yapıştırılmış ve DC güç kaynağına bağlanmıştır. Kumaş düz ve bükülmüş halde 0.06-0.16 A arasındaki akım değerlerinde test edilmiş ve termal kamera ile ısı dağılımı ölçülmüştür. Uygulanan akım/voltaj değeri arttıkça kumaş sıcaklığının arttığı görülmüştür. Düz haldeki kumaşta en yüksek sıcaklık değeri 94°C

olarak 0.16 A akım değerinde ölçülmüş iken, bükülen kumaşta aynı akım değerinde 100°C olarak ölçülmüştür. Düz haldeki kumaşta 94°C sıcaklığa ulaşmak için gereken voltaj 4.9 V iken, bükülen kumaşta 100°C sıcaklığa ulaşmak için 4.7 V olarak tespit edilmiştir.

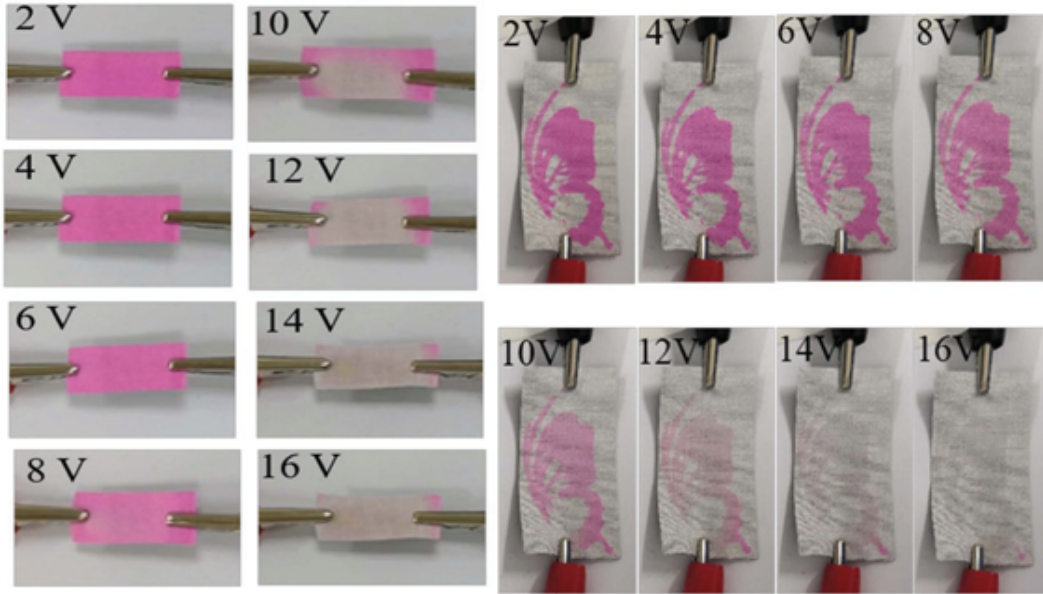
Tian ve ark. [98], daldırma yöntemiyle GO ile kaplanan pamuk kumaşı KMnO_4 sulu çözeltisine daldırarak etanol ilavesiyle KMnO_4 'ü indirgeyerek kumaş üzerinde MnO_2 nanopartikülleri elde etmişlerdir. Ardından karbonizasyon işlemiyle GO'nun indirgenmesi sağlanmıştır. Elde edilen nanokompozit yapı 2x2 cm boyutlarında hazırlanarak elektro-sıtma özelliği DC güç kaynağı ile 1, 3, 5, 10 ve 15 V voltaj uygulamasında incelenmiştir. Kumaşın yüzey sıcaklığının güç uygulamasıyla hızlı bir şekilde arttığı ve uygulanan voltajın artmasıyla da yükseldiği belirtilmiştir. En fazla sıcaklık artışı 15 V uygulanan nanokompozit kumaşta 36°C olarak bildirilmiştir.

Kim ve Lee [99], ticari olarak temin edilmiş güç tutuşur pamuk kumaşı grafen nanotabaka/PVDF-HFP kompozit ile rakle kaplama tekniği ile kaplamışlar ve sıcak pres uygulamışlardır. Elektriksel ısıtma performansı DC güç kaynağı ile 1-6 V arası voltajlarda gerçekleştirilmiş ve termal kamera ile yüzey sıcaklığı belirlenmiştir. Kumaşın yüzey sıcaklığının voltajın ve kompozit karışımındaki grafen nanotabaka konsantrasyonunun artmasıyla arttığı belirtilmiştir. En yüksek grafen konsantrasyonunda 5 V uygulandığında elde edilen yüzey sıcaklığı 46.3°C olarak ölçülmüştür. Ayrıca kumaş büküldüğünde yüzey sıcaklığının arttığı ve en yüksek grafen konsantrasyonunda düz haldeki kumaşla arasında 5.7°C sıcaklık farkı olduğu bildirilmiştir.

Kim ve ark. [100], elektriksel ısıtma performansını incelemek amacıyla para-aramid örme kumaşı daldırma yöntemiyle grafen/WPU kompozit karışımı ile kaplamışlardır. Kaplama işlemi 5 kez tekrarlanmış ve 120°C'de fikse edilmiş, ardından sıcak pres uygulanmıştır. Elektriksel ısıtma performansı için, uçlarına bakır bantlar yerleştirilerek 2.5 x 2.5 cm boyutlarında hazırlanan kumaş DC güç kaynağına bağlanarak 10-50 V arası voltaj uygulanmıştır. Yüzey sıcaklığının ölçülmesinde termal kamera kullanılmıştır. Sonuç olarak, uygulanan voltajın ve sıcak pres sıcaklığının artmasıyla kumaşın yüzey sıcaklığının arttığı belirtilmiş ve en yüksek yüzey sıcaklığı 50 V voltaj uygulamasında ve 140°C sıcak pres sıcaklığında elde edilen yüzey direnci $7.5 \times 10^4 \Omega/\square$ olan kumaşta 54.8°C

olarak ölçülmüştür. Kumaşın 20 dk içerisinde belirtilen sıcaklığa ulaştığı ve 60 dk boyunca herhangi bir değişim olmadan kaldığı bildirilmiştir.

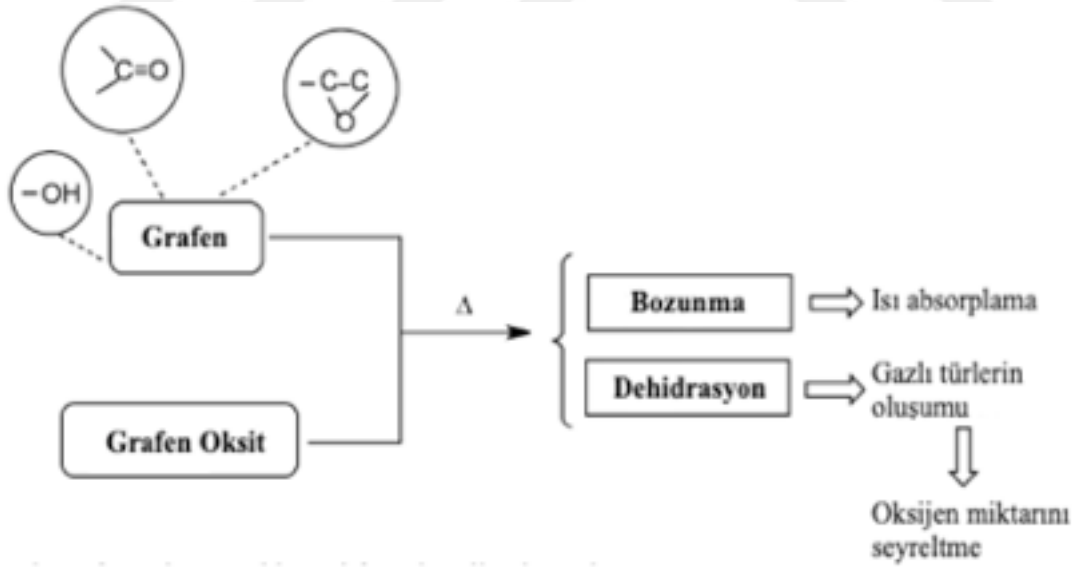
Ji ve ark. [101], elektrik uygulandığında ısınarak renk değiştiren özellikte bir yüzey elde etmek amacıyla pamuk kumaşa öncelikle suda çözünebilir termal olarak kürlenebilen poliüretan ile önileme uygulamışlardır. Ardından, işlem görmüş pamuk kumaşın bir tarafını grafen nanotabaka mürekkep ile, diğer tarafını da termokromik poliüretan mürekkep ile şablon baskı tekniği ile kaplamışlardır. Böylelikle elektro-termokromik kumaş elde etmişlerdir. 2x2 cm boyutlarında hazırlanan kumaşın ısıtma özelliği 2-16 V arasında voltaj uygulamalarında yüzey sıcaklığının termal kamera ile ölçülmesi yoluyla belirlenmiştir. Uygulanan voltajın artmasıyla yüzey sıcaklığı artmış ve en yüksek sıcaklığı 16 V voltaj uygulamasında 72.5°C sıcaklık değeri ölçülmüştür. Ayrıca kumaşın döngüsel ısıtma-soğuma davranışı da incelenmiş ve 12 V uygulamada 3 dk ısıtma ve 1 dk soğuma şeklinde 5 kez gerçekleştiren testte, kumaşın her ısıtma prosesinde sıcaklığının 20°C'den yaklaşık olarak 43°C'ye 40 s içerisinde çıktığı belirtilmiştir.



Şekil 1.16. Farklı boyutlarda elektro-termokromik kaplama yapılmış pamuk kumaşın farklı voltaj uygulamalarında renk değiştirme özelliğinin gösterimi [101]

1.4.5. Güç tutuşur tekstiller

Tekstil malzemeleri yapısına bağlı olarak kolaylıkla tutuşabilir, birden yoğun duman açığa çıkarabilir ve hızlıca yangını tetikleyebilir. Tekstil malzemelerinin doğası gereği alevlenebilen ve tutuşabilen yapısı ileri seviye kullanımını ciddi şekilde kısıtlamaktadır. Grafenin, etkili çevre dostu bir güç tutuşur malzeme olduğu gösterilmiştir. Grafenin 2 boyutlu tabakalı yapısı, oksijenin izole edilmesinde, ısı transferinin geciktirilmesinde ve piroliz ürünlerinin açığa çıkmasını önlemede güçlü bir fiziksel bariyer gibi davranmaktadır [102-104]. Grafen ve türevleri spesifik geniş yüzey alanına sahiptirler, bu da yanıcı gaz türlerinin adsorpsiyonuna katkı sağlar ve ayrıca tutuşma süresince bu gazların salınımını ve difüzyonunu geciktirir. Grafen oksitteki karboksil, epoksi ve hidroksil grupların varlığı güç tutuşurluk özelliklerin sağlanmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Oksijen içerikli fonksiyonel gruplar oldukça düşük sıcaklıklarda bozunabilir ve dehidrasyona uğrayabilir. Sonuç olarak, bu endotermik olgu, ısıнын absorplanmasında kullanılabilir ve böylece tekstil yüzeyinin tutuşma süresince soğuması sağlanabilir, aynı zamanda dehidrasyon sonucu oluşan gazlar, tutuşma bölgesindeki oksijen miktarını seyrelterek faydalı bir etki de göstermektedir (Şekil 1.17)[105].



Şekil 1.17. Grafen oksit ve fonksiyonelleştirilmiş grafenin güç tutuşurluk etkisi [105]

İGO tabakaların güç tutuşurluk mekanizmasının 3 şekilde gerçekleştiği ifade edilmektedir [102, 105, 106]: 1-İGO tabakalar tekstil yüzeyini oksijen, alev ve ısıdan korumada güçlü bir fiziksel bariyer olarak davranmaktadır. 2- İGO yandığında büyük

miktarda karbon dioksit açığa çıkarır. Karbon dioksitin yangın söndürücü ajan olarak kullanıldığı bilinmektedir. 3-İGO kömür oluşturan özelliktedir, tutuşma süresince sürekli ve yoğun olarak kalıntı kömür katmanları oluşturur ve kumaş yüzeyinde biriken bu kalıntı kömür katmanları ateş kaynağından yayılan ısı transferini önlemede bariyer olarak davranır ve etkin bir şekilde tutuşmayı engellemektedir.

LOI tekstil yüzeylerin yanıcılığının belirlenmesinde önemli bir göstergedir. LOI, 40 mm uzunluğundaki alev ile malzemenin yanmasını destekleyebilen oksijen ve azot karışımında minimum oksijen konsantrasyonunu ifade etmektedir. Genellikle LOI değeri %26'nın üzerinde olan tekstil malzemeleri güç tutuşur olarak değerlendirilmektedir [102-104].

Ji ve ark. [102], ipek krep saten kumaşın her iki tarafını GO hidrosol ile rakle kaplama yöntemi ile kaplamışlar ve askorbik asit ile indirgemişlerdir. İpek kumaşın İGO kaplamayla mükemmel güç tutuşur özellik gösterdiği belirtilmiştir. İpek kumaşın LOI değeri %24 iken İGO kaplı ipek kumaşta %43.5 ve 10 yıkama sonrasında %42.3 olarak hesaplanmıştır. İpek kumaşın kendini söndürme süresi 12 s ve % kalıntı kömür oranı 35.5 iken İGO kaplı kumaşta kendini söndürme süresi 5 s'ye düşmüş ve % kalıntı kömür oranı 90.1 olarak bildirilmiştir.

Kundu ve ark. [103], fitik asit ve lignini GO ile fonksiyonelleştirerek poliamid 6,6 kumaş kaplamışlardır. En yüksek LOI değeri GO ile fonksiyonelleştirilmiş fitik asit ve lignin ile kaplanan PA 6,6 kumaşta %27 olarak hesaplanmıştır. Yanma hızı ve koni kalorimetrisi sonuçlarına göre % kalıntı miktarı, GO ile fonksiyonelleştirilmiş lignin, kitosan ve fitik asit ile kaplanan PA 6,6 kumaşta sırasıyla en düşük ve en yüksek olarak belirlenmiştir.

Chavalli ve ark. [104], potasyum karbonat ile fonksiyonelleştirdikleri GO (FGO)'yu daldırma ile kaplama yöntemiyle pamuk kumaşa uygulamışlar ve güç tutuşurluk özelliğini incelemişlerdir. İşlem görmemiş pamuk kumaşın LOI değeri %17.5 iken FGO kaplı kumaşın LOI değeri %54.75 olarak hesaplanmıştır ve 2 yıkama sonrası %29.7'ye düştüğü belirtilmiştir. Bağlayıcı uygulanmış FGO kaplı pamuk kumaşın ise yıkama öncesi LOI değeri %53.9 iken 2 yıkama sonrası LOI değeri %47.8 olarak hesaplanmıştır. Dikey yanma sonucuna göre, yanma uzunluğu bağlayıcısız ve bağlayıcı FGO kaplı kumaşta 2 cm iken 2 yıkama sonrası sırasıyla, 7 cm ve 3.7 cm olarak bildirilmiştir.

Zhao ve ark. [107], İGO ile kaplanan poliestер/pamuk kumaşı fosfat alev geciktirici ile kaplayarak güç tutuşurluk özelliğini incelemişlerdir. Dikey yanma testi sonucuna göre yalnızca İGO kaplı kumaşın yanma uzunluğunda azalma olduğu görülmüştür. LOI değeri ise, yalnızca İGO kaplı kumaşta 20.6 iken fosfat alev geciktirici uygulanmış İGO kaplı kumaşta 32 olarak elde edilmiştir.

Wang ve ark. [108], poliamid 6 kumaşı GO, melanin ve triallil siyanat (TAC) ile fırça kaplama tekniğı ile kaplamışlar ve ardından elektron demeti ışınlaması uygulanarak çapraz bağlama gerçekleştirilmiştir. Güç tutuşurluk özelliğinin değerlendirildiğı çalışmada, GO, melamin ve TAC kaplı çapraz bağlanmış PA 6 kumaşta tutuşma sonrası kendini söndürme gerçekleştiğı ve yanma uzunluğunun 2.5 cm olarak belirlendiğı ifade edilmiştir.

Zhu ve ark. [109], poliestер kumaşı ilk olarak silan esaslı bağlayıcı olan KH560 ile kaplamışlar ardından emdirme yöntemiyle GO uygulanmıştır. Dikey yanma testi sonucuna göre, KH560 ve GO kaplanan poliestер kumaşta kömürleşmenin olduğu ve damlatmanın olmadığı belirtilmiştir.

1.4.6. Tekstil esaslı enerji depolama

Superkapasitörler yüksek güç yoğunluğu ve uzun döngü ömrü gibi avantajlarıyla etkili bir elektrokimyasal enerji depolama cihazlarıdır. Bunlar elektrikli ve hibrit araçlar, giyilebilir ve taşınabilir elektronikler gibi enerji depolama uygulamalarında pillerle birlikte ya da tamamen pillerin yerine kullanım potansiyeline sahip alternatif cihazlardır. Farklı yük depolama mekanizmalarına göre süperkapasitörler, elektriksel çift katmanlı kapasitörler (EDLC) ve pseudokapasitörler olarak ikiye ayrılmaktadır. Elektriksel çift katmanlı kapasitörlerin yük depolama mekanizması, elektrolit ve elektrot arayüzündeki yüklerin ayrılması esasına dayanmaktadır. Dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında, pozitif ve negatif yükleri depolayan pozitif ve negatif elektrotlar, elektrik alanı dengelemek için elektrottan zıt iyonları toplar. İyonların migrasyonu sonucuyla oluşan potansiyel fark enerji depolama mekanizmasıdır. Yüksek yüzey alanı, elektron yükünün transfer mesafesini azaltmak ve güç yoğunluğunu sağlamak için elektrot malzemesi ile elektrolit arasındaki etkili temas alanını artırır. Bu yüzden, spesifik yüzey alanı ve gözenek boyutunun kontrolü ve elektriksel iletkenliğin sağlanması yüksek depolama kapasitesine ulaşmada etkili yollardır. Pseudokapasitörler, aktif malzemelerin yüzeye

yakın bölgelerinde ya da yüzeyinde meydana gelen tersinir redoks reaksiyonlarla çalışırlar. Pseudokapasitörler, elektriksel çift katmanlı kapasitörlere göre daha yüksek spesifik kapasitans ve enerji yoğunluğuna sahiptirler. Ancak yaygın olarak kullanılan pseudokapasitör elektrotların zayıf elektriksel iletkenlikleri redoks reaksiyonlarını kısıtlayarak yetersiz elektrokimyasal performansa ve ömür döngüsüne neden olmaktadır [110-113]. Aktif karbonlar, karbon nanotüpler ve grafen gibi karbon malzemeler düşük maliyet, elektriksel iletkenlik ve yüksek yüzey alanı gibi özelliklerinden dolayı süperkapasitör elektrotların yapımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Esnek süperkapasitörler, elektronik tekstiller gibi gelecek-nesil giyilebilir cihazlarda potansiyel güç kaynağı olmaları nedeniyle oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu yüzden hafif, esnek ve gerilebilir, mekanik dayanımı yüksek süperkapasitörlere ihtiyaç artmaktadır. Grafen, mükemmel mekanik özellikleri ve elektriksel iletkenlik özelliklerinden dolayı tekstil malzemeleri ile birlikte esnek süperkapasitör cihazların üretiminde önemli bir rol oynamaktadır [110, 113].

Ramados ve ark. [114], ticari olarak temin edilmiş bir iletken kumaşı GO ile daldırma yöntemiyle kaplamışlar ve termal indirgeme uygulamışlardır. Elde ettikleri kumaşın süperkapasitör ve kendi kendine çalışma özelliklerini incelemişlerdir. Elektrokimyasal performans sonuçlarına göre 27.7 kW/kg güç yoğunluğunda 5.8 Wh/kg enerji yoğunluğu olduğu bildirilmiştir. Fotosensörü çalıştırmak için esnek kumaş süperkapasitörün bir nanojeneratör ile şarj edilmesiyle kendi kendine çalışan bir sistem olduğu da gösterilmiştir.

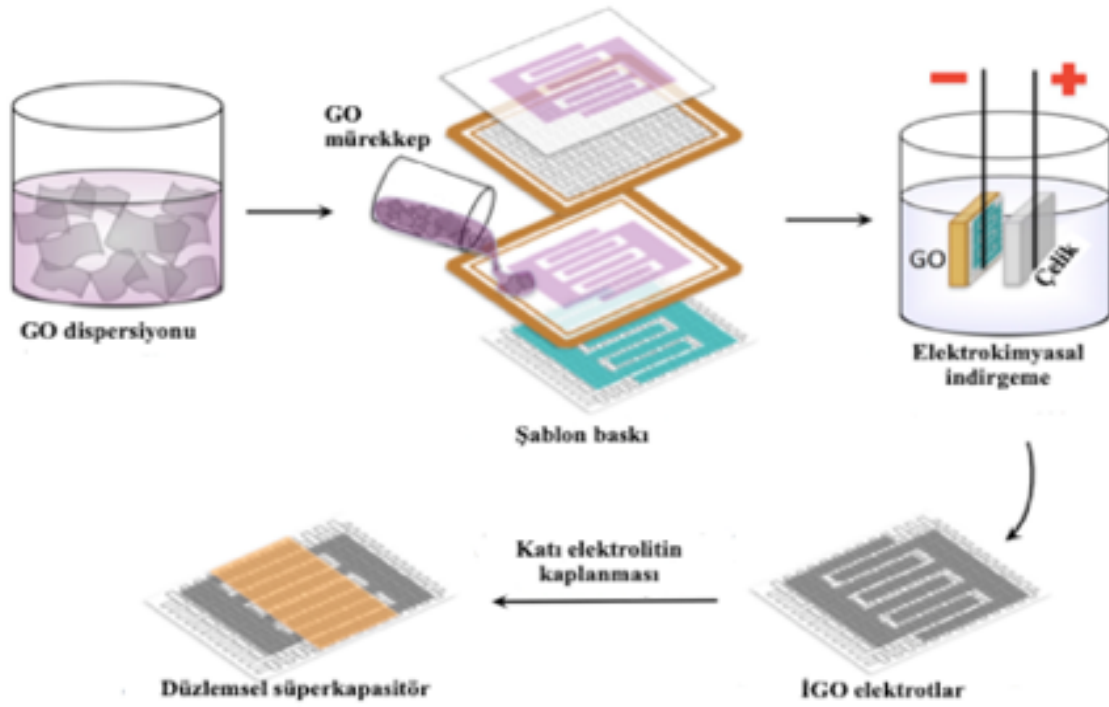
Shao ve ark. [115], polyester kumaşı daldırma yöntemiyle GO ile kaplayarak NaBH_4 ile indirgemişlerdir. Ardından anilinin in situ polimerizasyonu ile İGO/Poliester kumaş üzerinde PANi sentezi gerçekleştirilmiştir. Süperkapasitör olarak kullanımı test edilen çalışmada, elektrokimyasal analiz sonucuna göre PANi/İGO/Poliester kumaşın maksimum spesifik kapasitansa sahip olduğu ve yüzey direncinin $218 \Omega/\square$ olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. PANi ve İGO varlığının elektrokimyasal kapasitansın artmasında önemli katkı sağladığı ve 1 A/g akım yoğunluğunda 1293 F/g maksimum spesifik kapasitans değerine sahip olduğu, döngüsel kararlılığın yüksek olduğu, 3000 döngüden sonra kapasitansın %95 oranında korunduğu bildirilmiştir.

Xu ve ark. [116], pamuklu kumaşı daldırma yöntemiyle GO ile kaplamışlar ve NaBH_4 ile indirgemişlerdir. Kapasitans özelliğinin incelendiği çalışmada, elektrokimyasal test sonuçlarına göre, döngüsel voltamogramlarının dikdörtgene yakın bir şekilde olduğu görülmüş olup, bunun ideal bir kapasitif davranış olduğu ortaya konmuştur. Spesifik kapasitans değeri 40 F/g olarak elde edilmiştir. Galvanostatik şarj-deşarj testi 1000 döngü boyunca gerçekleştirilmiş ve spesifik kapasitansın %90 oranında korunduğu ifade edilmiştir.

Xu ve ark. [117], süperkapasitör uygulamalarını incelemek amacıyla daldırma yöntemiyle GO kaplanan pamuk kumaşı termal olarak indirgemişler ve kimyasal polimerizasyon ile polipirol sentezi gerçekleştirmişlerdir. Elektrokimyasal test sonuçlarına göre, PPy/İGO/Pamuk kumaşın 0.6 mA/cm^2 akım yoğunluğunda 336 F/g spesifik kapasitans ve 21.1 Wh/kg enerji yoğunluğu değerlerine sahip olduğu görülmüştür. 500 döngü sonunda %64 oranında kapasitansın korunduğu bildirilmiştir.

Zhao ve ark. [118], daldırma yöntemiyle GO ile kaplanan naylon/likra kumaş, askorbik asit ile indirgendikten sonra kimyasal polimerizasyon tekniği ile polipirol ile kaplanmıştır. Elektrokimyasal test sonuçlarına göre, PPy/İGO/naylon kumaşın %50 oranında gerilmesiyle spesifik kapasitansın arttığı ve 114 F/g değerinden 125 F/g değerine çıktığı belirtilmiştir. 0.5 A/g akım yoğunluğunda 1000 döngü sonunda %50 gerginlik uygulanan kumaşta kapasitansın %79 oranında korunduğu ifade edilmiştir.

Abdelkader ve ark. [119], süperkapasitör cihaz oluşturmak amacıyla pamuk kumaşı GO ile şablon baskı tekniğiyle kaplamışlar ve elektrokimyasal indirgeme işlemi uygulamışlardır. Elektrokimyasal test sonuçlarına göre, üretilen süperkapasitör cihazın döngüsel voltamogramlarının dikdörtgene yakın bir şekilde olduğu görülmüş ve etkili bir elektrokimyasal çift katmanlı kapasitör oluşturulduğu doğrulanmıştır. Ayrıca, redoks piklerinin olmaması da indirgeme işleminin başarılı olduğunu ve oksijen içerikli fonksiyonel grupların yok olduğunu göstermiştir. Böylelikle pseudokapasitans katkısının önemsiz derecede olduğu belirtilmiştir. Bölgesel kapasitans değeri yaklaşık olarak 257 F/g olarak elde edilmiş ve döngüsel dayanımının yüksek olduğu görülmüştür. 10000 döngü sonunda kapasitansın %97 oranında korunduğu ifade edilmiştir.



Şekil 1.18. Baskı tekniğiyle süperkapasitör üretim prosesinin şematik gösterimi [119]

1.4.7. Antibakteriyel tekstiller

Her yıl milyonlarca insanda görülen bakteriyel enfeksiyonlar dünyanın en büyük halk sağlığı sorunlarından biridir. Antibiyotik ilaca dirençli enfeksiyonlar ise dünya çapında ciddi derece artmakta ve yayılmaktadır. Antibakteriyel ilaçların aşırı kullanımı ve suistimal edilmesi, antibiyotik ilaca dirençli enfeksiyonları ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* bakterisi agresif ve uzun ömürlü bir bakteri olup, çevre ve temas ettiği yüzeyin koşullarına göre 180-360 gün arasında hayatta kalabilmektedir. Diğer bir çoklu-ilaç dirençli bakteri olan *Escherichia coli* (*E. coli*) gıda kaynaklı bir patojendir ve kanamalı ishal, böbrek yetmezliği ve zatürre gibi hastalıklara neden olabilmektedir. Tekstil ürünleri, liflerdeki mikroskobik boşluklar nedeniyle mikroorganizma büyümesine olanak tanır ve enfeksiyonun yayılmasına neden olur [120]. Sağlık sektörünün artan endişesiyle insan sağlığı ve çevre güvenliği uygulamalarında doğrudan kullanım amacıyla antibakteriyel tekstillerin üretimi önemli bir konudur. Tekstillerde antibakteriyel özellik, yüzey modifikasyon prosesleri ile tekstillere antibakteriyel malzemelerin uygulanması şeklinde elde edilebilmektedir [121]. Son yıllarda grafen; bakteri, mantar ve bitki patojenleri üzerinde ciddi bir sitotoksik etki

göstermesinden dolayı yeni bir etkili antibakteriyel malzeme olarak görülmektedir. Ayrıca grafen, yenilenebilir, elde etmesi kolay olup metal ve metal oksitlere göre daha ucuzdur [122]. İndirgenmiş GO, bakteri çoğalması için uygun koşullarda bile yüzeylerde bakteri büyümesini engellemektedir [123]. GO, İGO ve grafenin antibakteriyel davranışı, fiziksel ve kimyasal etkilerin ikisini de içermektedir. Fiziksel hasarlar, grafenin keskin kenarlarının bakteriyel membranlarla direk teması ve lipid moleküllerin yıkıcı ekstraksiyonu ile oluşmaktadır. Burada GO'nun karbonil, karboksil ve epoksi gibi oksijen içerikli fonksiyonel gruplar içeren ve bu sayede negatif yüklenmesine neden olan kimyasal kompozisyonu etkilidir. Böylelikle, bakteri hücre duvarlarına çok daha kolaylıkla bağlanır ve onları hasara uğratar. Kimyasal etki, reaktif oksijen türlerinin ya da yük transferinin yarattığı oksidatif strestir [79, 121, 122].

Mirjalili [72], antibakteriyel özellikte pamuk kumaşı GO kaplayarak ve ardından manyetik nanopartiküllerin sentezlenmesiyle elde etmiştir. AATCC test metodu 100:2004'e göre gerçekleştirilen test Gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) ve Gram-negatif (*Escherichia coli*) bakterileri ile yapılmıştır. Her iki bakteri türünde de %100 indirgeyici etkinliğin elde edildiği bildirilmiştir.

Berendjchi ve ark. [77], PPy/İGO kaplı poliester kumaşın antibakteriyel özelliğini Gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) ve Gram-negatif (*Escherichia coli*) bakterilerine karşı AATCC test metodu 100:2003'e göre belirlemişlerdir. Yalnızca PPy kaplı ve PPy/ İGO kaplı poliester kumaşın her iki bakteri türünde de %99 oranında bakteri indirgeme etkinliği gösterdiği bildirilmiştir.

Pan ve ark. [79], polimerik N-halamin ile fonksiyonelleştirilmiş GO ile kaplanan pamuk kumaşı askorbik asit ile indirgemişler ve *S. aureus* ve *E.coli* bakterilerine karşı antibakteriyel etkinliği AATCC test metodu 100:2004'e göre belirlenmiştir. PSPH polimeri ile fonksiyonelleştirilmiş GO ile kaplanan pamuk kumaşın klor ile işlem görmesi antibakteriyel etkinin en iyi şekilde elde edilmesine neden olmuştur.

Krishnamoorthy ve ark. [121], GO kaplı pamuk kumaşın antibakteriyel aktivitesini Gram-pozitif (*Streptococcus iniae*) ve Gram-negatif (*Escherichia coli DH5α*) bakterilere karşı çalışmışlardır. Kantitatif bakteri indirgeme testi sonuçlarına göre, GO kaplı pamuk kumaşın antibakteriyel aktivitesinin zamana bağlı olduğu görülmüştür. Gram-pozitif

bakteride Gram-negatif bakteriye göre daha etkin bir antibakteriyel aktivite olduğu belirtilmiştir.

Zhao ve ark. [123], kimyasal olarak ve γ -ışını ile çapraz bağlanmış GO kaplı pamuk kumaşın antibakteriyel aktivitesini Gram-negatif (*Escherichia coli*) ve Gram-pozitif (*B. subtilis*) bakterilere karşı kalitatif olarak test etmişlerdir. Sonuç olarak, 4 saatten kısa sürede bakterilerin %98'den fazlasını inaktive ettiği, ve 100 kez yıkama sonrasında bile bakteri inaktivasyon etkinliğinin %90'dan fazla olduğu bildirilmiştir.

Ghosh ve ark. [124], indirgenmiş GO ve gümüş nanopartikülleri kaplanmış pamuk kumaşın *E.coli* bakterisine karşı antibakteriyel yapısı inhibisyon bölgesinin ölçülmesi tekniğiyle belirlenmiştir. GO kaplı kumaşa inhibisyon bölgesi 0.1 cm iken İGO-Ag nanopartikül kaplı kumaşa 1.0 cm olarak ölçülmüştür.

Karimi ve ark. [125, 126], grafen/TiO₂ kaplı pamuk kumaşın antibakteriyel özelliğini Gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) ve Gram-negatif (*Escherichia coli*) bakterilerine karşı AATCC test metodu 100:2004'e göre belirlemişlerdir. Ayrıca antifungal çalışma da diploid mantar olan *Candida albicans* ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, grafen/ TiO₂ kaplı pamuk kumaşın mükemmel antibakteriyel ve antifungal aktivite gösterdiği ve mikroorganizmaları engelleme ve öldürme konusunda tamamen etkili olduğu bildirilmiştir.

Shirgholami ve ark. [127], grafen/TiO₂ nanokompozit kaplı yünlü kumaşın antibakteriyel özelliğini Gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) ve Gram negatif (*Escherichia coli*) bakterilerine karşı AATCC test metodu 100:2004'e göre belirlemişlerdir. AATCC test metodu 100:2004, özellikle, dinamik temas koşulları altında salınımı olmayan antibakteriyel ajanlar ile işlem görmüş numuneler için tasarlanmıştır. Yalnızca nano TiO₂ ile kaplanan yün kumaşa, Gram pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı antibakteriyel etkinlik, sırasıyla %35 ve %40 iken grafen/ TiO₂ nanokompozit kaplı yün kumaşa antibakteriyel etkinlik her iki bakteri türünde de %100 olarak bildirilmiştir.

Hasani ve Montazer [128], İGO ile kaplanmış katyonize pamuk/naylon kumaşın kumaşın antibakteriyel özelliğini Gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ve *Enterococcus faecalis*) ve Gram-negatif (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*) bakterilerine karşı AATCC test metodu 100:2004'e göre belirlemişlerdir. Katyonizasyon işleminin İGO kaplı pamuk/naylon kumaşın antibakteriyel etkinliğini artırdığı bildirilmiştir.

1.4.8. Elektromanyetik kalkanlama özellikli tekstiller

Baz istasyonları, enerji iletim hatları, radar, askeri elektronik cihazlar, uydular, cep telefonları, tıbbi tarama cihazları, evde kullanılan elektrikli ve elektronik cihazlar elektromanyetik dalga yaymaktadırlar ve elektromanyetik alan oluşturmaktadırlar. Elektromanyetik radyasyon; gürültü, su ve hava kirliliğinden sonra en önemli dördüncü insan kaynaklı kirlilik kaynağı haline gelmiştir [129, 130]. Elektromanyetik radyasyon insan sağlığı için zararlıdır ve bazı durumlarda insan vücudunda olumsuz etkileri olabilmektedir. Elektromanyetik radyasyona uzun süre maruziyet sonucunda lösemi, düşükle sonuçlanan hamilelikler, meme kanseri gibi ciddi rahatsızlıklar oluşabilmektedir. Ayrıca medikal cihazların ve endüstriyel elektronik cihazların bozulmasına da neden olabilmektedir. Bu yüzden elektromanyetik radyasyonu kalkanlama günümüzde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [131, 132]. Elektromanyetik kalkanlama, boşluktaki elektromanyetik enerjinin, iletken ya da manyetik malzemelerden yapılmış bariyer ile engellenerek nüfuz etmesinin kısıtlanması şeklinde ifade edilebilir [133]. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği desibel (dB) olarak ifade edilir ve bir kalkanın etkinliği, frekansa, kalkan-kaynak arası mesafeye, kalkanın kalınlığına ve kalkan malzemesine bağlıdır [134]. Elektromanyetik dalgaları kalkanlama özelliğine sahip malzemeler inşaat, askeri, uzay ve ticari uygulamalarda kullanılmaktadır. Elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip kumaşlar, günlük giyim ve özel amaçlı tekstillerde tercih edilmektedir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği gösteren bir kumaş üretmede elektriksel iletken bir malzeme ile tekstil yüzeyinin modifikasyonu en uygun ve etkili yöntemlerden biridir. Kuvvetli elektromanyetik dalgaların geçişini engelleyebilmek için genellikle kumaş yüzeyinde kalın kaplamalara ihtiyaç vardır, bu da kumaşın kullanımını ve konfor özelliklerini olumsuz etkilediğinden elektromanyetik kalkanlama özellikli kumaşların pratikte uygulamasını büyük ölçüde kısıtlamaktadır [135]. Karbon nanolifler, karbon siyahı, karbon nanotüpler ve grafen (ve İGO) gibi karbon esaslı malzemeler yüksek elektriksel iletkenlikleri, hafifliği, mükemmel mekanik özellikleri ve geniş yüzey alanları gibi özellikleri nedeniyle elektromanyetik kalkanlama uygulamalarında katkı maddesi olarak kullanılabilir. Bu karbon esaslı malzemeler içerisinde grafen, 2 boyutlu düzlemsel yapıya sahip olması ve göstermiş olduğu üstün özellikler nedeniyle potansiyel gelişime açık, hafif elektromanyetik koruyucu malzeme olarak kullanılması konusunda ilgi çekmektedir [136, 137].

Ghosh ve ark. [124], indirgenmiş GO ve gümüş nanopartikülleri ile daldırma yöntemiyle kaplanmış pamuk kumaşın antibakteriyel özelliğiyle birlikte elektromanyetik kalkanlama etkinliğini de incelemişlerdir. X-bandı (8.2-12.4 GHz) aralığında yapılan ölçümlerde, elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin daldırma ile kaplama sayısının artması ve dolayısıyla kaplama kalınlığının artmasıyla orantılı olduğu görülmüştür. En yüksek kalkanlama etkinliği değeri, en fazla kaplama sayısında 27.36 dB olarak belirlenmiştir. Ayrıca elektromanyetik kalkanlama etkinliğinde absorpsiyonun baskın olduğu ifade edilmiştir.

Liu ve ark. [137], naylon kumaşı grafen ve poliüretan reçine ile hazırladıkları pat ile kaplamışlardır. Çalışmada, farklı miktarlarda grafen içeriğinin elektromanyetik özelliklere etkisi incelenmiştir. 0-40 MHz frekans aralığında yapılan ölçümlerde, kalkanlama etkinliği en yüksek grafen içeriğinde (%20) ve 0.5 mm kaplama kalınlığında 19.7 dB olarak belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek grafen miktarında hazırlanan pat ile farklı kalınlıklarda kaplama yapılmış ve kalkanlama etkinliği belirlenmiştir. %20 grafen konsantrasyonu ve 2 mm kaplama kalınlığında kalkanlama etkinliğinin 65.8 dB olarak ölçüldüğü ifade edilmiştir.

Islam ve ark. [138], kontinü boyama yöntemiyle GO ile kapladıkları pamuk kumaşı askorbik asit ile indirgemişler ve 30-1530 MHz frekans aralığında elektromanyetik kalkanlama etkinliğini incelemişlerdir. Kaplama sayısı arttıkça kalkanlama etkinliğinin de arttığı belirtilmiş ve en yüksek kalkanlama etkinliği 20 kaplama sayısında 35 dB olarak bildirilmiştir. Ayrıca kalkanlama etkinliğinde yansıtma mekanizmasının baskın olduğu ifade edilmiştir.

Gupta ve ark. [139], ZnO kapladıkları pamuk kumaşı sprey kaplama tekniği ile GO ile kaplamışlar ve ardından termal indirgeme uygulamışlardır. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği X-bandı (8.2-12.4 GHz) aralığında ölçülmüştür. Kalkanlama etkinliğinin İGO konsantrasyonunun artmasıyla arttığı ve en yüksek kalkanlama etkinliği değerinin 54.76 dB olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca, elektromanyetik kalkanlama etkinliğindeki baskın mekanizmanın absorpsiyon olduğu ifade edilmiştir.

Wang ve ark. [140], dopamin ile yüzey modifikasyonu uygulanan poliester kumaşı önce GO ile kaplamışlar ve Ag nanopartiküllerin kaplanması ile GO'nun indirgenmesi aynı anda mikrodalga ortamında gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği 1-

18 GHz frekans aralığında ölçülmüştür. Kalkanlama etkinliğinin yıkamaya dayanımının da incelendiği çalışmada 1-18 GHz frekans aralığında yıkama öncesi değer 58-65 dB arasında iken, yıkama sonrası 40-45 dB arasında ölçülmüştür.

1.5. Tekstil yüzeylerin GO ile kaplanmasıyla ilgili literatür araştırması

Tekstil yüzeylerin GO ile kaplanması ve indirgenmesiyle ilgili literatür araştırması sonucu ulaşılan bilgiler Tablo 1. 4'te özetlenmiştir. Tablo 1. 5'te ise literatür araştırması sonucu ulaşılan bilgilerden indirgenmiş grafen oksit kaplı tekstil yüzeylerin elektriksel iletkenlik sonuçları verilmiştir.

Wang ve ark. [59], poliester dokunmamış kumaşı vakum filtrasyon tekniği ile GO ile kaplamışlardır. 4 farklı GO konsantrasyonunda (0.5 mg/mL, 1 mg/mL, 2 mg/mL ve 3 mg/mL) hazırlanan dispersiyonlar ile kaplanan poliester su jetli dokunmamış kumaşlar, ardından hidroiyodik asit ve asetik asit karışım buharında indirgenmiştir. Sonuç olarak, 3 mg/mL GO dispersiyonu ile kaplanan kumaşın elektriksel direncinin $24.7 \Omega/\square$ olduğu ve 100 bükme-bırakma ve 10 katlama-açılma döngüsünde elektriksel direnç değişiminin önemsiz olduğu ifade edilmiştir. Elektro-termal özellik incelendiğinde indirgenmiş GO kaplı poliester dokunmamış kumaşın ısınma özelliğinin uygulanan voltajın ve GO konsantrasyonunun artmasıyla arttığı ve en yüksek ısınma değerinin 14 V voltajda 138.64°C olarak 3 mg/mL GO ile kaplı kumaşta olduğu belirtilmiştir.

Qu ve ark. [66], pamuk dokuma kumaşa emdirme yöntemiyle UV koruyucu özellik kazandırmak amacıyla grafen nanotabaka ve su bazlı poliüretan (WPU) kaplama yapmışlardır. Çalışmada, farklı grafen nanotabaka konsantrasyonun UV koruma özelliğine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, grafen nanotabaka konsantrasyonun artmasıyla UV geçirgenliğin azaldığı ve UV koruma faktörü değerinin arttığı belirtilmiştir. En yüksek UV koruma faktörü değeri en yüksek grafen miktarında 356.74 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, grafen/WPU kaplamanın pamuk kumaş mekanik özelliğini etkilediği ve kaplamadaki grafen miktarının artmasıyla kopma dayanımının azaldığı görülmüştür.

Hu ve ark. [70], pamuk dokuma kumaşa emdirme yöntemiyle çok fonksiyonlu bitim işlemi uygulamak amacıyla grafen ve su bazlı anyonik alifatik poliüretan (WPU) kompozit geliştirmişlerdir. Uzak kızılötesi radyasyon emisyonu, elektriksel iletkenlik ve

ultraviyole koruyuculuk gibi özellikler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kaplama sayısının artmasıyla kumaş üzerindeki grafen miktarının artmasına bağlı olarak uzak kızılötesi radyasyon emisyonunun, elektriksel iletkenliğin ve UV koruyuculuğun arttığı görülmüştür. Test edilen bu özelliklerin 10 yıkamaya kadar dayanıklı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca en yüksek termal iletkenlik değeri de en yüksek kaplama sayısında 50.633×10^{-3} W/mK olarak elde edilmiştir.

Tang ve ark. [71], yüksek elektriksel iletkenlik ve UV koruyuculuk gibi çok fonksiyonlu pamuklu kumaşı vakum filtrasyon yöntemiyle GO ile kaplayarak ve ardından polianilin (PANI) ile in-situ polimerizasyon yöntemi uygulayarak elde etmişlerdir. PANI/GO nanokompozit yapısının pamuk kumaşın elektriksel iletkenliğini ve UV koruma özelliğini artırdığı ve 10 yıkamaya kadar kalıcı olduğu belirtilmiştir.

Pandiyarasan ve ark. [73], pamuklu kumaşa daldırma tekniğiyle GO kaplama yapmışlar ve UV koruyuculuk özelliğini incelemişlerdir. Hidrazin ile indirgeme işlemi sonucunda elde edilen İGO/pamuk kumaşın UV koruma faktörü değeri 442.69, 10 yıkama sonrasında ise 422.32 olarak ölçülmüştür.

Tian ve ark. [74], ultraviyole koruyucu özelliğe sahip pamuklu kumaş elde etmek amacıyla kitosan/grafen nanokompozit yapısı hazırlamışlardır. Asetik asit/su karışımında çözünönen kitosana grafen nanotabakalarının ilavesiyle elde edilen dispersiyon emdirmesi yöntemiyle pamuk kumaşa uygulanmıştır. Kurutma ve kürleme işlemlerinin ardından yapılan UV geçirgenlik analiziyle elde edilen kumaşın UV koruma faktörü değerinin Gr nanotabaka konsantrasyonunun artmasıyla arttığı ve yıkama dayanımının yüksek olduğu görülmüştür.

Cao ve Wang [75], ipek kumaşı daldırma tekniği ile GO ile kaplamışlardır. Ardından sodyum hidrosülfid ile indirgeme işlemi uygulanmıştır. Çalışmada, kaplama-indirgeme döngüsü 1-9 arasında tekrarlanmıştır. Sonuç olarak, kaplama-indirgeme sayısı arttıkça elektriksel yüzey direncinde azalma olduğu ve en düşük yüzey direncinin 9 kez yapılan uygulamalar sonucu $3.24 \text{ k}\Omega/\text{cm}$ olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. En iyi UPF değeri ise 24.45 olarak ölçülmüştür. Ayrıca ipek kumaşın su temas açısının arttığı ve en iyi su temas açısı değerinin 129.72° olarak elde edildiği ve hidrofobisitenin sağlandığı ifade edilmiştir. Ek olarak, bu özelliklerin 10 yıkamaya kadar dayanıklı olduğu da gösterilmiştir.

Amesimeku ve ark. [76], polidopamin ile yüzey fonksiyonelleştirme işlemi uygulanmış olan aramid kumaşa GO ile yüzey modifikasyonu uygulamışlardır. Daldırma ile kaplama tekniği ile farklı tekrar sayılarında (1-5 arası) GO uygulanması sonrasında sodyum hidrosülfid ile indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. En yüksek kaplama sayısında yapılan indirgeme işlemiyle elde edilen numunede $6.43 \text{ k}\Omega/\square$ elektriksel yüzey direnci ölçülmüştür. UV koruyuculuk değerinin 73 ile en yüksek olduğu ve 168 saat UV ışına maruz bırakılmanın ardından 47'ye düştüğü belirtilmiştir. TGA ve DSC sonuçlarıyla da indirgenmiş GO kaplı aramid kumaşın termal dayanımının arttığı da tespit edilmiştir.

Berendjchi ve ark. [77], poliester dimi dokuma kumaşı önce daldırma yöntemiyle GO ile kaplamışlar ardından indirgemişlerdir. Sonrasında kumaş pirol monomeri çözeltisine daldırılmış ve kimyasal oksidatif polimerizasyon ile polipirol (PPy) sentezi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen İGO/PPy kaplı poliester kumaşın elektriksel iletkenlik, mekanik dayanım, antibakteriyel aktivite ve UV koruma özellikleri incelenmiş ve sırasıyla, $5 \Omega/\square$, 426 N, %99.9 ve 73 olarak verilmiştir.

Cai ve ark. [78], daldırma ile kaplama yöntemiyle pamuk kumaşı GO ile kaplamışlardır. Çalışmada 3 farklı GO dispersiyon konsantrasyonu (0.4, 0.7 ve 1 mg/mL) hazırlanmış ve kaplama-kurutma işlemi 3 kez tekrarlanmıştır. Termal indirgeme işlemi 3 farklı sıcaklıkta (160, 200 ve 250°C) azot ortamında 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Yüzey elektriksel direnci, hidrofobisite ve UV koruyuculuk gibi fonksiyonel özellikler yıkama öncesi ve sonrasında değerlendirilmiştir. Yıkama öncesinde en iyi sonuçlar 0.7 mg/mL GO dispersiyon konsantrasyonu ile kaplı kumaşta elde edildiği belirtilmiştir. 8 yıkama sonrası 200°C'de indirgenmiş kumaşta yapılan değerlendirmede, incelenen fonksiyonel özelliklerde değişimin belirgin olmadığı ifade edilmiştir.

Samanta ve Bordes [89], spreyle kaplama tekniği ile poliester kumaşı GO ile kaplamışlardır. Çalışmada 3 farklı GO dispersiyon konsantrasyonu (%0.01, %0.1 ve %0.5) ve yüzey aktif madde kullanımının etkisi incelenmiştir. GO ile kaplanan poliester kumaş, termal indirgeme yöntemiyle 200°C'de 2 saat süreyle ve kimyasal indirgeme yöntemiyle iki ayrı indirgeme maddesiyle (askorbik asit ve NaBH_4) oda sıcaklığında 48 saat süreyle indirgenmiştir. Sonuç olarak, termal indirgeme yönteminin kimyasal indirgemeye göre daha yüksek elektriksel iletkenlik ve kopma dayanımı sağladığı

belirtilmiştir. Ayrıca, yüzey aktif madde içermeyen termal yöntemle indirgenmiş poliestere kumaşın daha yüksek su temas açısına sahip olduğu ifade edilmiştir.

Tissera ve ark. [91], GO kaplı pamuk kumaşı daldırma ile kaplama tekniği ile üretmişlerdir. 3 farklı GO dispersiyon konsantrasyonu (0.05, 0.1, 0.2 ve 0.4 mg/mL) ile yapılan kaplama uygulamasında hidrofobik özellik su temas açısı ölçümü ile incelenmiştir. Sonuç olarak, en yüksek su temas açısı 143° olarak 0.4 mg/mL GO dispersiyonu ile kaplanmış pamuk kumaşta elde edilmiştir.

Shateri-Khalilabad ve Yazdanshenas [93], süperhidrofobik ve elektriksel olarak iletken pamuk kumaş üretiminde GO kaplama uygulaması daldırma ile kaplama yöntemiyle 3 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiş ve ardından askorbik asit ile indirgeme işlemi uygulanmıştır. Sonrasında elde edilen kumaş PMS (polimetilsiloksan) ile kaplanmış. PMS uygulanan kumaşın su temas açısı 163° olarak ölçülmüştür. Ayrıca PMS uygulanmamış indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın elektriksel direncinin 91.8 k Ω /cm² olduğu ve PMS kaplamayla 112.5 k Ω /cm² değerine arttığı belirtilmiştir.

Wang ve ark. [94], pamuk dokuma kumaşı daldırma yöntemiyle GO ile kaplamışlar ve ardından gümüş nitrat çözeltisine daldırıp trisodyum sitrat ilavesiyle mikrodalga uygulamasıyla indirgeyerek Ag/İGO kaplı pamuk kumaş elde etmişlerdir. Elektriksel yüzey direnci, elektromanyetik kalkanlama etkinliği (1-18 GHz), su temas açısı ve termal ısıtma (4 V) özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar, sırasıyla, 5.61 Ω /cm², 40 dB, 135.1°, 61.3°C olarak verilmiştir.

Tian ve ark. [98], pamuk bezayağı dokuma kumaşı daldırma ile kaplama yöntemiyle GO ile kaplamışlar ve ardından KMnO₄ sulu çözeltisine daldırılmış ve etanol damlatılmasıyla KMnO₄'ün indirgenerek kumaş üzerinde MnO₂ nanopartikülleri elde edilmiştir. Karbonizasyon işlemiyle GO'nun indirgenmesi sağlanmıştır. Elde edilen nanokompozit yapının lityum iyon pillerde anot elektrot olarak elektrokimyasal özellikleri incelenmiş ve spesifik kapasitans ve akım yoğunluğu değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Isıtma özelliği incelendiğinde ise, 15 V voltaj uygulandığında 5 dk içerisinde 36°C sıcaklık artışı olduğu görülmüştür.

Ji ve ark. [102], ipek kumaş üzerine rakle ile kaplama tekniğiyle farklı miktarlarda GO (%3.9, %7.8, %15.6 ve %19.5) kaplamışlardır. Kumaşın her iki yüzü de GO ile

kaplandıktan sonra askorbik asit ile indirgeme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numunenin elektriksel iletkenlik ve güç tutuşurluk özellikleri incelenmiştir. Kumaş üzerindeki grafen miktarı arttıkça yüzey direncinin düştüğü ve en düşük direnç değeri $0.13 \text{ k}\Omega/\square$ olarak ölçülmüştür. Ayrıca, LOI değeri de ipek kumaşta 24 olarak hesaplanmışken en yüksek miktarda kaplanmış kumaşta 43.5 olarak bulunmuştur. Kumaşın kendini söndürme süresi de grafen miktarına bağlı olarak azalma göstermiştir ve 12 saniyeden 5 saniyeye kadar düşmüştür.

Kundu ve ark. [103], bitkisel esaslı bir biyo-makromolekül olan lignin ve çevre dostu fosfor bileşiği olan fitik asit ile GO'yu fonksiyonelleştirmişlerdir ve hazırlanan dispersiyonlarla poliamid 6,6 kumaşa emdirme yöntemiyle güç tutuşur bitim işlemi olarak uygulanmıştır. Çalışmada ayrıca kitosan ile de uygulama yapılarak çeşitli kombinasyonlarda güç tutuşurluk özelliğın etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, lignin ile fonksiyonelleştirilmiş GO ile kaplanan poliamid 6,6 kumaşa, sonrasında kitosan ve fitik asit ile yapılan kaplama uygulamalarının daha iyi bir termal dayanım, kül oluşum yeteneğı ve LOI değeriinde %25.5 gibi önemli bir artış sağladığı belirtilmiştir. Ancak en yüksek LOI değeri önce lignin-GO ve sonra fitik asit-GO ile kaplanmış poliamid 6,6 kumaşta %27 olarak tespit edilmiştir. Ek olarak, bu numunenin mekanik dayanımını koruduğı da içerdığı grafen tabakaların etkisinden kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Krishnamoorthy ve ark. [121], daldırma ile kaplama yöntemiyle pamuk kumaşı GO ile kaplamışlardır. Kaplama işlemi, pamuk kumaşın GO sulu dispersiyonunda 24 saat 300 rpm'de karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, GO kaplanan pamuk kumaşın antibakteriyel özellik gösterdiği, termal dayanıma sahip olduğı ve UV ışına maruz kaldığında fotokatalitik aktivite gösterdiği belirtilmiştir.

Zhao ve ark. [123], GO kaplı pamuk kumaşı 3 farklı yöntemle üretmişlerdir. Bunlar; direkt adsorpsiyon, radyasyon ile indüklenmiş çapraz bağlama ve kimyasal çapraz bağlamadır. Bu uygulamaların tamamında kaplama tekniğı olarak vakum filtrasyon kullanılmıştır. Direkt adsorpsiyonda, GO dispersiyonu pamuk kumaşa vakum filtrasyon tekniğı ile kaplanmıştır. İkinci uygulamada pamuk kumaş trietil izosiyanürat (TAIC) çözeltisine daldırılıp ardından GO ile kaplanmıştır. Sonrasında γ ışını uygulamasıyla çapraz bağlanma sağlanmıştır. Üçüncü uygulamada ise, pamuk kumaş TAIC çözeltisine daldırıp ardından termal başlatıcı olan amonyum persülfat içerkli GO dispersiyonunun

vakum filtrasyon uygulanmasıyla kaplanmıştır. Sonrasında 80 °C’de 8 saat süreyle polimerizasyonun gerçekleştirilmiş ve kimyasal çapraz bağlanma sağlanmıştır. Antibakteriyel özelliğin incelendiği çalışmada, 3 yöntemle üretilen GO kaplı pamuk kumaşların oldukça kuvvetli antibakteriyel özellik gösterdiği ve 4 saatten daha kısa bir sürede %98 oranında bakterileri inaktifleştirdiği belirtilmektedir. Ayrıca, 100 kere yıkama sonrasında da %90 oranında bakterileri inaktifleştirme kabiliyeti olduğu açıklanmıştır. GO kaplı pamuk kumaşların cilt tahrişine neden olmadığı da yapılan testlerle gösterilmiştir.

Ghosh ve ark. [124], antibakteriyel ve elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip pamuk kumaşı GO ve gümüş nanopartikül kaplama ile elde etmişlerdir. GO dispersiyonu, gümüş nitrat çözeltisi ilavesiyle hazırlanmış ve ardından hidrazin hidrat eklenerek otoklavda indirgenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gümüş nanopartikül içerikli İGO dispersiyonuna pamuk kumaş 7-10 s süreyle daldırılmış ve kaplama işlemi bu şekilde 30 kez tekrarlanmıştır. Elde edilen kumaşın elektriksel iletkenliğinin ve elektromanyetik kalkanlama özelliğinin kaplama sayısı ile arttığı ve en yüksek iletkenliğin 1.701 S/cm ve kalkanlama etkinliğinin 8.2-12.4 GHz (X-bandı) aralığında 27.36 dB olarak elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca kumaşın antibakteriyel özellik gösterdiği görülmüştür.

Shirgholami ve ark. [127], yünlü dokuma kumaşı daldırma yöntemiyle farklı konsantrasyonlarda GO ve TiO₂ ile kaplamışlar ve çeşitli özellikleri değerlendirmişlerdir. Çalışmada, uygulanan GO konsantrasyonunun artmasıyla elektriksel direncin düştüğü ve titanyum izopropoksit miktarının artmasıyla direncin arttığı görülmüştür. Fotokatalitik özelliğin titanyum izopropoksit miktarına bağlı olarak arttığı, GO/TiO₂ nanokompozit içerikli yün kumaşın daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, GO/TiO₂ nanokompozit yün kumaşın UV geçirgenliğinin daha düşük olduğu ve sitotoksitenin de olmadığı ifade edilmiştir.

Hasani ve Montazer [128], pamuk/poliamid 6,6 karışım kumaşı çektirme yöntemiyle GO ile kaplamışlardır. Çalışmada, kumaş, daha fazla anyonik yapıdaki GO ile kaplanması amacıyla 3-kloro-2-hidroksi propil trimetil amonyum klorür (CHPTAC) ile kationikleştirme işlemi uygulanmıştır. Ardından GO ile kaplanan kumaş sodyum ditiyonit ile indirgenmiştir. Sonuç olarak, kationik işlem uygulanmış kumaşın 0.6 kΩ/□ değeri ile en düşük elektriksel dirence sahip olduğu görülmüştür. Yıkama sonrası ise 2

$k\Omega/\square$ değerine yükseldiği belirtilmiştir. Ayrıca, katyonize işlem uygulanmış indirgenmiş GO kaplı kumaş etüvde 220 °C’de 15 dk tutulmuş ve direnç değerinin $0.5 k\Omega/\square$ ’ye düştüğü rapor edilmiştir. Katyonik işlemin indirgenmiş GO kaplı kumaşın antibakteriyel özelliklerini geliştirdiği ve %100 oranında UV reflektansı sağladığı ifade edilmiştir.

Shateri-Khalilabad ve Yazdanshenas [141], daldırma ile kaplama yöntemiyle pamuk kumaşı GO ile kaplamışlardır. Kaplama-kurutma işlemi GO adsorpsiyonunu artırmak amacıyla 3 kez tekrarlanmıştır. Yapılan parametre çalışmasıyla farklı indirgeme maddeleri ($NaBH_4$, N_2H_4 , $C_6H_8O_6$, $Na_2S_2O_4$ ve $NaOH$), indirgeme çözeltisi konsantrasyonu (0.1, 0.5, 2.5, 10, 25, 50 ve 100 mM), indirgeme süresi (1, 5, 15, 30, 60 ve 120 dk) ve kaplama sayısının (1, 4, 7, 10, 15 ve 20) elektriksel iletkenliğe olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan 5 farklı indirgeme maddesinden en iyi elektriksel iletkenliğin ve mekanik performansın $Na_2S_2O_4$ ile indirgenmiş olan numune olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kaplama sayısının 1’den 20’ye kadar artmasıyla yüzey direncinin düştüğü ve uygun işlem parametresinin 95 °C’de 30 dk olduğu ifade edilmiştir.

Chatterjee ve ark. [142], daldırma ile kaplama tekniği GO kaplı pamuk dokuma ve örme kumaşları üretmişlerdir. Çalışmada 3 farklı GO dispersiyon konsantrasyonu (%0.75, %1.5 ve %2.25) hazırlanmış ve 3 farklı kaplama sayısı (5, 10 ve 15) belirlenerek kumaşlar kaplanmıştır. Ardından $Na_2S_2O_4$ ile indirgeme işlemi 95 °C’de 30 dk süreyle gerçekleştirilmiştir. Yüzey direnci, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği gibi özellikler test edilmiş ve yıkama dayanımı incelenmiştir. Kaplama sayısı ve GO konsantrasyonu artmasının belirtilen özelliklere olumlu yönde etki yaptığı görülmüştür. Genel olarak örme kumaşın daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. En iyi yüzey direnci, en yüksek GO konsantrasyonunda ve en fazla kaplama sayısında pamuk örme kumaşa $0.19 M\Omega/\square$ olarak bulunmuştur. Yıkama sonrasında ise en iyi yüzey direnci yine aynı kumaşa $1.75 M\Omega/\square$ olarak belirtilmiştir.

Kowalczyk ve ark. [143], pamuklu kumaşa sol-jel metodu ile grafen ve indirgenmiş grafen oksit kaplama işlemini fulard makinesinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, grafen ve indirgenmiş grafen oksit formunda temin edilen partiküller %10’luk organo-silikon sol içerisinde farklı miktarlarda (%0.5, %1 ve %1.5) hazırlanmış ve fulard makinesinde 4 kez kaplama uygulaması gerçekleştirilmiştir. En iyi anti-statik özelliğin %1.5 grafen içerikli sol kaplamayla elde edildiği ve yüzey direncinin $10^5 \Omega$ ve hacim

direncinin $10^3 \Omega$ olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca kaplama uygulaması sonrası kalandırlama işleminin kumaş yüzeyini pürüzsüzleştirerek partiküller arası mesafeyi azaltarak iletkenliğin artmasını sağladığı ifade edilmiştir.

Rani ve ark. [144], GO kaplı pamuk eldesinde yüzey pürüzlülüğü sağlamak ve GO tutunması artırmak amacıyla pamuk kumaşa plazma uygulaması gerçekleştirmiş ardından daldırma yöntemiyle kaplama tekniği ile GO kaplama uygulanmıştır. Çalışmada farklı plazma uygulama sürelerinin (5, 10, 20 ve 60 dk) etkisi incelenmiştir. Plazma uygulamasıyla pamuk kumaş yüzeyinde negatif yüklerin oluşması ve GO'nun da negatif yüklü olmasından dolayı kaplama etkisini artırmak için pamuk kumaş sığır serum albümini (BSA) çözeltisine daldırılarak pozitif yüklü olarak elde edilmiştir. Ardından GO ile kaplanan kumaş hidrazin hidrat ile indirgeme işlemiyle elektriksel olarak iletken hale dönüştürülmüştür. Sonuç olarak plazma işlem süresinin 10 dk olduğu numunelerin kaplama uygulamasının daha iyi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca plazma uygulanmış pamuk kumaş ile plazma uygulanmamış indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşların elektriksel iletkenlik ölçümlerinde plazma uygulanmış kumaşın $2.01 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ ile en yüksek değere sahip olduğu gösterilmiştir.

Molina ve ark. [145], daldırma ile kaplama yöntemiyle poliester kumaşı GO ile kaplamışlar ve ardından sodyum ditiyonit ile indirgeme işlemi uygulamışlardır. Kaplama uygulaması 4 kere tekrarlanmıştır. Elektriksel iletkenlik ve elektrokimyasal özelliğin incelendiği çalışmada, indirgeme işlemiyle direnç değerinin $10^{10} \Omega$ değerinden $10^5 \Omega$ değerine düştüğü ve kaplama sayısı arttıkça direncin düşmeye devam ettiği ve en yüksek kaplama sayısında 667Ω olarak ölçüldüğü belirtilmiştir.

Molina ve ark. [146], daldırma ile kaplama yöntemiyle poliester kumaşı GO ile kaplamışlardır. Çalışmada 3 g/l konsantrasyonda hazırlanan GO dispersiyonu ile kaplama işlemi 4 kez tekrarlanmıştır. Ardından sodyum ditiyonit ile kimyasal indirgeme işlemi uygulanmıştır. Elektriksel iletkenlik ve elektrokimyasal özelliklerin incelendiği çalışmada, minimum yüzey direncinin $1.1 \times 10^4 \Omega/\square$ olarak 3 kez kaplama uygulanmış kumaşta ölçüldüğü belirtilmiştir. Döngüsel voltametri ile GO'nun indirgenmesiyle elektro-aktivitede artış olduğu ve bu artışın kaplama sayısı ile orantılı olarak arttığı gösterilmiştir.

Kongahge ve ark. [147], poliester dokunmamış kumaşı daldırma ile kaplama yöntemiyle GO ile kaplamışlardır. Kaplama işlemi, iki farklı GO konsantrasyonunda 6 kere tekrarlanmıştır. Ardından sodyum ditiyonit ve sodyum bisülfid karışımında kimyasal indirgeme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen indirgenmiş GO kaplı poliester kumaşın yüzey direncinin $330 \Omega/\square$ olduğu ve 10 dk içerisinde 36°C 'ye kadar ısınabildiği belirlenmiştir. Elektriksel direncin sürtünme dayanımı test edildiğinde, 6000 sürtünme devrinde elektriksel dirençte %20 oranında bir değişim olduğu görülmüştür.

Babaahmadi ve ark. [148], daldırma yöntemi ile GO kaplanmış poliester dokuma kumaşa kalay klorür ile kimyasal indirgeme ve termal indirgeme (85 , 150 ve 200°C) işlemleri uygulanmıştır. İki farklı GO konsantrasyonunda (%0.1 ve %0.25) yapılan çoklu kaplama uygulaması ve kombine indirgeme işlemleri sonucunda en düşük yüzey direnci değeri, yüksek GO konsantrasyonunda ve kimyasal indirgeme sonrası 200°C 'de yapılan ısıtma işlemiyle elde edilen numunede $3.5 \text{ k}\Omega/\square$ olarak ölçülmüştür.

Hasani ve Montazer [149], pamuk/poliamid 6,6 karışım kumaşı çektirme yöntemiyle GO ile kaplamışlardır. Çalışmada, %0.5 konsantrasyonda hazırlanan GO dispersiyonunda katyonik yüzey aktif madde miktarı setil trimetil amonyum bromür (CTAB) değiştirilerek (%0.01, %0.02, %0.03, %0.04 ve %0.05) kaplama işlemi uygulanmıştır. Ardından $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ve dopamin hidroklorür ile indirgeme gerçekleştirilerek proses parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, sodyum hidroksit ilave edilmiş sodyum ditiyonit indirgeme çözeltisi ile indirgeme işleminin pozitif etkili olduğu görülmüştür. Dopaminin yüksek sıcaklıkta indirgeme etkisinin daha iyi olduğu da belirtilmiştir. Sodyum hidroksit ilaveli sodyum ditiyonit çözeltisi ile indirgenmiş kumaşın en düşük yüzey direncine sahip olduğu ve en iyi antibakteriyel etkiyi gösterdiği ifade edilmiştir.

Manasoğlu ve ark. [150], poliester dokuma kumaşı rakle ile kaplama tekniğiyle grafen nanopartiküller ile kaplamışlardır. Çalışmada, 3 farklı grafen nanopartikül (50, 100 ve 200 g/kg) miktarının etkisi incelenmiştir. yapılan test ve analizler sonucunda, grafen nanopartikül miktarının artmasıyla yüzey direncinde azalma olduğu ve en düşük yüzey direncinin $2.53 \times 10^4 \Omega/\square$ ve bu numunede en yüksek termal iletkenliğin 0.4243 W/mK olarak hesaplandığı belirtilmiştir. Ayrıca, sürtünme dayanımı testi sonucunda numunelerin 50 000 döngüde herhangi bir ağırlık kaybı göstermediği hatta 100 000

döngüde en yüksek miktarda grafen nanopartikül kaplanan kumaşta ağırlık kaybının %0.47 olduğu ifade edilmiştir.

Fugetsu ve ark. [151], poliakrilat ipliklerden dokunmuş olan kumaş GO ile boyama yöntemiyle kaplanmışlardır. Ardından sodyum hidrosülfid çözeltisi ile indirgeme işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak elde edilen numunenin elektriksel direnci $92.52 \Omega/\text{cm}$ olarak ölçülmüş ve 30 kez sıcak musluk suyu ile yıkamanın ardından direnç değişiminin %3'ten daha az olduğu ifade edilmiştir.

Lu ve ark. [152], ipek dokuma kumaşı daldırma ile kaplama yöntemiyle GO ile kaplanmışlardır. Çalışmada, kaplama-indirgeme döngüsü 1-7 arasında tekrarlanmıştır. İpek dokuma kumaş GO ile ilk kaplama öncesinde, kumaş üzerinde pozitif yükler ekleyerek daha fazla GO tutunmasını sağlamak amacıyla sığır serum albümini (BSA) ile işlem görmüştür. Ardından GO ile kaplanan ipek kumaş hidrazin buharı ile indirgenmiştir. Yapılan test ve analizler sonucunda, 7 kez kaplama-indirgeme döngüsü uygulanmış ipek kumaşın hidrofobik karakterde olduğu ve su temas açısının 115° olarak elde edildiği belirtilmiştir. Kaplama-indirgeme döngü sayısı arttıkça numunenin yüzey direncinin düştüğü ve en düşük yüzey direnci değerinin 7 kez kaplama-indirgeme uygulanmış kumaşta $1.5 \text{ k}\Omega/\square$ olarak ölçüldüğü ifade edilmiştir.

Zulan ve ark. [153], ipek dokuma kumaşı daldırma yöntemiyle kaplama tekniğiyle GO ile kaplanmışlardır. Öncesinde ipek kumaş, GO kaplama etkisini artırmak için rejenere ipek fibroini ve BSA çözeltilerine daldırılmış, ardından GO kaplama işlemi yapılmıştır. Bu işlemler ardarda 6 kez tekrarlanmıştır. Sonrasında da termal indirgeme işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak, GO ve indirgenmiş GO kaplanan ipek kumaşın termal dayanımının geliştiği görülmüştür. Rejenere ipek fibroini ile işlem gören kumaşta yapılan kaplama ve indirgeme sonrasında en düşük elektriksel direnç değerinin $24.59 \text{ k}\Omega/\text{cm}$ olarak ölçüldüğü belirtilmiştir.

Islam ve ark. [138], pamuk bezayağı dokuma kumaşı kontinü boyama yöntemiyle GO ile kaplanmışlardır ve ardından askorbik asit ile indirgemişlerdir. Elde edilen kumaşın mukavemetinin GO boyama sayısının artmasıyla arttığı ve en yüksek mukavemet değerinin 20 kez boyama sonucunda 42 MPa olarak bulunduğu belirtilmiştir. Elektriksel iletkenlik ve elektromanyetik kalkanlama ölçümleri sonucunda en yüksek değerlerin en

fazla boyama sayısında elde edildiği görülmüştür. En iyi elektromanyetik kalkanlama ve elektriksel iletkenlik değerleri, sırasıyla, 35 dB ve 2.3×10^{-1} S/cm olarak ölçülmüştür.

Yaghoubidoust ve ark. [154], pamuk kumaşı daldırma yöntemiyle GO ile kaplamışlar, ardından polipirrol sentezi gerçekleştirilmiştir. Yapılan test ve analizler sonucunda, GO'nun varlığının kompozit yapının termal dayanımı, mukavemeti, elektrokimyasal özelliği ve elektriksel iletkenliği artırdığı belirtilmiştir. Elektriksel iletkenlik değeri 1.12 S/cm olarak ölçülmüştür.

Gupta ve ark. [139], elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip pamuk kumaşı ZnO ve İGO ile elde etmişlerdir. Pamuk kumaş üzerinde öncelikle ZnO nanopartikülleri sentezlenmiş ardından spreylendirme yöntemiyle GO kaplanmıştır ve termal indirgeme prosesi argon ortamında gerçekleştirilmiştir. Farklı miktarlarda GO kaplamanın elektromanyetik kalkanlama etkinliği üzerine etkisi incelenmiştir. 8.2-12.4 GHz (X-Band) frekans aralığında yapılan elektromanyetik kalkanlama etkinliği testinde en yüksek değer 54.76 dB olarak ZnO/%7 İGO kaplanmış pamuk kumaşta elde edilmiştir. Ayrıca kalkanlama etkinliğinde baskın mekanizmanın absorpsiyon olduğu belirlenmiştir.

Babaahmadi ve ark. [155], elektriksel iletkenliği yüksek poliestere kumaşı İGO ve Ag kaplamayla elde etmişlerdir. Öncelikle hazırlanan GO dispersiyonuna AgNO_3 çözeltisi ilave edilmiş ve poliestere bezayağı dokuma kumaş daldırma ile kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Bu işlem 5 kez tekrarlanmış ve son olarak hidrazin ile indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda termal tavlama uygulamasıyla İGO/Ag kaplı poliestere kumaş elde edilmiştir. Sonuç olarak, %0.25 GO ve %10 Ag konsantrasyonunda ve 200°C termal tavlama sıcaklığında en yüksek elektriksel iletkenlik değeri 0.26 S/cm olarak belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlikte yıkama sonrası değişimin olmadığı, yıkamaya karşı dayanıklı olduğu ifade edilmiştir.

Quadil ve ark. [156], mekanik, elektriksel ve UV koruyuculuk gibi özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla poliestere örme kumaşı daldırma ile kaplama yöntemiyle öncelikle GO ile kaplamışlar ardından indirgemişlerdir. Sonrasında ise kumaş üzerinde gümüş nanopartikülleri sentezlenmiştir. Elde edilen İGO/Ag nanokompozit kaplı poliestere örme kumaşın kopma dayanımında azalma olduğu, elektriksel direncin azaldığı ve UV geçirgenliğinin azalarak UV koruyuculuğun arttığı ifade edilmiştir.

Moazami ve ark. [157], poliester dokuma kumaşa fonksiyonel özellik kazandırmak için İGO/Ag nanokompozit kaplama prosesi uygulamışlardır. Bu kapsamda öncelikle, poliester kumaşa GO adsorpsiyonunu artırmak için etilen diamin ile aminoliz, NaOH ve CTAB ile hidroliz yüzey modifikasyon işlemleri uygulanmıştır. Ardından hazırlanan GO dispersiyonu ile poliester kumaş daldırma ile kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Sonrasında, GO kaplı kumaş gümüş nitrat çözeltisine daldırılmış ve askorbik asit ilavesiyle indirgenme işlemi gerçekleştirilerek kumaş üzerinde İGO/Ag nanokompozit kaplama elde edilmiştir. Elektriksel direncin uygulanan GO ve Ag konsantrasyonu ve kumaş modifikasyonuna bağlı olarak değişim gösterdiği belirtilmiştir. Aminoliz modifikasyonu uygulanan poliester kumaşın İGO/Ag nanokompozit ile kaplanmasıyla mükemmel antibakteriyel aktivite gösterdiği ve kopma dayanımının daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Polyester sujetli dokunmamış kumaş	0.5, 1, 2, 3 mg/mL	Vakum filtrasyon	1	HI/Asetik asit	40°C’de 12 saat	[59]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	Gr / WPU (%0.05, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 Gr)	Emdirme-oda sıcaklığında 60 dk. (L:G=30:1)	1	-	-	[66]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	Gr / WPU	Emdirme-oda sıcaklığında 100 dk. (L:G=30:1)	1, 2, 3	-	-	[70]
Pamuk dokuma kumaş	5 mg/mL	Vakum filtrasyon	1	-	-	[71]
Pamuk kumaş		Daldırma- oda sıcaklığında 2 saat ultrasonikasyon 24 saat		N ₂ H ₄ .H ₂ O	90°C’de 48 saat otoklav	[73]

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri (devam)

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	%2 Kitosan / %0.1, %0.3, %0.6, %1 Gr	Emdirme-oda sıcaklığında 2 saat	1	-	-	[74]
İpek krep dokuma kumaş	2 g/L	Daldırma- 20°C'de 60 dk.	1-9	Na ₂ S ₂ O ₄	90°C'de 60 dk.	[75]
Aramid dokuma kumaş	0.005 g/mL	Daldırma- 60°C'de 60 dk. (L:G=50:1)	1-5	Na ₂ S ₂ O ₄ (L:G=20:1)	90°C'de 60 dk.	[76]
Polyester dimi dokuma kumaş	%1 GO PPy	Daldırma -70°C'de 60 dk.	1	Na ₂ S ₂ O ₄	90°C'de 60 dk.	[77]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	0.4, 0.7, 1 mg/mL	Daldırma- 60°C'de 2 saat	3	Termal indirgeme	250°C	[78]
Polyester bezayağı dokuma kumaş	%0.01, %0.5	Sprey kaplama	-	Termal indirgeme C ₆ H ₈ O ₆ NaBH ₄	200°C'de 2 saat Oda sıcaklığında 48 saat	[89]

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri (devam)

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	1 mg/mL GO SiO ₂ /GO=%10, %20, %30, %40, %50	Sprey kaplama	1	Termal indirgeme	180°C’de 45 dk. Sıcak pres	[90]
Pamuk kumaş	0.2 mg/mL	Daldırma -oda sıcaklığında 10 dk	20	C ₆ H ₈ O ₆	95°C’de 60 dk.	[93]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	1 g/L	Daldırma- mikrodalga 700 W 10 dk.	1	Gümüş nitrat- Trisodyum sitrat	Mikrodalga 700 W 10 dk.	[94]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	1 mg/mL (%0.2 KMnO ₄)	Daldırma- oda sıcaklığında 60 dk.	1	Karbonizasyon	N ₂ ortamında 800°C’de 2 saat	[98]
İpek krep saten dokuma kumaş	~25 mg/mL	Rakle kaplama	2	C ₆ H ₈ O ₆	90°C’de 90 dk.	[102]
Pamuk kumaş	%0.5 İGO/Ag	Daldırma- oda sıcaklığında 7-10 s	30	N ₂ H ₄ .H ₂ O	180°C’de 8 saat otoklav	[124]

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri (devam)

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Yün bezayağı dokuma kumaş	%0.02, %0.05, %0.1, %0.2, %0.5 (1-5 mL Titanyum izopropoksit)	Daldırma- 60-65°C’de 60 dk.	1	Na ₂ S ₂ O ₄	90°C’de 30 dk.	[127]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	1 g/L	Kontinü boyama	1, 5, 10, 15, 20	C ₆ H ₈ O ₆	100°C’de 5 dk.	[138]
Pamuk kumaş	%3 ZnO %1, %3, %5, %7 GO	Sprey kaplama- 80°C	-	Termal indirgeme	Argon-600°C’de 1 saat	[139]
Pamuk	%0.05	Daldırma -oda sıcaklığında 30 dk.	3	NaBH ₄ N ₂ H ₄ C ₆ H ₈ O ₆ Na ₂ S ₂ O ₄ NaOH	95°C’de 60 dk.	[141]

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri (devam)

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Pamuk dokuma kumaş Pamuk örme kumaş	% 0.75, %1.5, %2.25	Daldırma -oda sıcaklığında 30 dk.	15	Na ₂ S ₂ O ₄	95°C’de 30 dk. (L:G=100:1)	[142]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	%0.5, %1, %1.5 İGO-Gr	Sol-jel emdirme -oda sıcaklığında	4	-	-	[143]
Pamuk kumaş	%0.2	Daldırma -oda sıcaklığında 30 dk.	-	N ₂ H ₄ .H ₂ O	Kaynama sıcaklığında 30 dk.	[144]
Polyester dokuma kumaş	3 g/L	Daldırma -oda sıcaklığında 30 dk	4	Na ₂ S ₂ O ₄	90°C’de 30 dk.	[146]
Polyester dokunmamış kumaş	%0.25, %0.6	Daldırma -oda sıcaklığında 2 dk	6	Na ₂ S ₂ O ₄ :NaHSO ₃ (4:1)	95°C’de 60 dk.	[147]
Polyester dokuma kumaş	%0.1, %0.25	Daldırma -oda sıcaklığında 30 dk		SnCl ₂ /Termal tavlama	85, 150, 200 °C’de 30 dk.	[148]
%50 Pamuk/ %50 Poliamid ripstop dokuma kumaş	%0.5	Daldırma- 60°C’de 60 dk. (L:G=100:1)	1	Na ₂ S ₂ O ₄ Dopamin hidroklorür	Kaynama sıcaklığında 60 dk.	[149]

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri (devam)

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Poliester bezayağı dokuma kumaş	50, 100, 200 g/kg Gr	Rakle kaplama		-	-	[150]
Poliarilat (Vectran) dokuma kumaş	%0.3	Daldırma- oda sıcaklığında 15 dk. (L:G=100:1)	1	Na ₂ S ₂ O ₄	90°C’de 30 dk.	[151]
İpek kumaş	2 mg/mL	Daldırma- oda sıcaklığında 30 dk.	1-7	N ₂ H ₄ buharı	Oda sıcaklığında geceboyu	[152]
Ham ipek bezayağı dokuma kumaş	2, 5 mg/mL	Daldırma- oda sıcaklığında 5 dk. (L:G=20:1)	6	Termal indirgeme	200°C’de 30 dk.	[153]
Pamuk bezayağı dokuma kumaş	%0.1, %0.25 AgNO ₃ /GO: %5, %10, %20, %40	Daldırma -oda sıcaklığında 60 dk.	5	N ₂ H ₄	80°C’de 24 saat (N ₂ ortamında) 85, 150, 200°C’de 30 dk. tavlama	[155]

Tablo 1.4. Tekstil yüzeylerinin GO ile kaplanması ve indirgeme işlemlerine ait proses parametreleri (devam)

Kumaş özellikleri	GO konsantrasyonu	Kaplama yöntemi	Kaplama sayısı	İndirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	Kaynak
Poliester örme kumaş	1 mg/mL	Daldırma -oda sıcaklığında 60 dk.	25	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ $\text{Ag-N}_2\text{H}_4.\text{H}_2\text{O}$	95°C’de 60 dk. Oda sıcaklığında 15 dk.	[156]
Poliester dokuma kumaş	%0.05, %0.2, %0.5, %1	Daldırma - 70°C’de 60 dk	1, 2	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	90°C’de 60 dk.	[157]

Tablo 1.5. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen elektriksel direnç sonuçları

Malzeme Kompozisyonu	İndirgeme maddesi	Elektriksel direnç / iletkenlik			Kaynak
		Yıkanmamış/ Yıkama öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
GO/Poliester	HI/Asetik asit (2:5)	24.7 $\Omega/\square$	-	-	[59]
Gr/WPU/Pamuk	Grafen/WPU	$2.94 \times 10^{-1} \Omega m$	$3.35 \times 10^{-1} \Omega m$	10	[70]
PANI/GO/Pamuk	PANI/GO	48.35 Ωcm	52.37 Ωcm	10	[71]
GO/İpek	Na ₂ S ₂ O ₄	3.86 k Ω/cm	6.57 k Ω/cm	1	[75]
GO/Aramid	Na ₂ S ₂ O ₄	6.43 k Ω/cm	-	-	[76]
	Na ₂ S ₂ O ₄	5 $\Omega/\square$			[77]
GO/Pamuk	Termal indirgeme	$\sim 10^4 \Omega/m^2$	$\sigma/\sigma_0=1$	1	[78]
Cu-GO/Pamuk	Na ₂ S ₂ O ₄	6.42 k $\Omega/\square$	16.70 k $\Omega/\square$	20	[82]
GO/Poliester	Termal indirgeme	2.38 mS/m	2.16 mS/m	10	[89]
	C ₆ H ₈ O ₆	0.83 mS/m	0.79 mS/m		
	NaBH ₄	0.69 mS/m	0.66 mS/m		

Tablo 1.5. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen elektriksel direnç sonuçları (devam)

Malzeme Kompozisyonu	İndirgeme maddesi	Elektriksel direnç / iletkenlik			Kaynak
		Yıkanmamış/ Yıkama öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
GO/Pamuk	C ₆ H ₈ O ₆	0.84 kΩ/□	-	-	[93]
Ag/GO/Pamuk	Gümüş nitrat- Trisodyum sitrat	5.61 Ω/□	33.60 Ω/□	1	[94]
GO/Pamuk	Karbonizasyon	90 S/m	-	-	[98]
GO/İpek	C ₆ H ₈ O ₆	0.13 kΩ/□	-	10	[102]
Ag/GO/Pamuk	N ₂ H ₄ .H ₂ O	1.701 S/cm			[124]
TiO ₂ /GO/Yün	Na ₂ S ₂ O ₄	330x10 ³ Ω/□	330 x10 ³ Ω/□	1	[127]
GO/Pamuk	C ₆ H ₈ O ₆	2.3x10 ⁻¹ S/cm	-	-	[138]
ZnO/GO/Pamuk	Termal indirgeme	15.79 S/cm	-	-	[139]
Ag-GO/Poliester	Mikrodalga	0.678 Ω/□	2 Ω/□	1	[140]

Tablo 1.5. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen elektriksel direnç sonuçları (devam)

Malzeme Kompozisyonu	İndirgeme maddesi	Elektriksel direnç / iletkenlik			Kaynak
		Yıkanmamış/ Yıkama öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
GO/Pamuk	NaBH ₄	34.600 kΩ/cm	-	-	[141]
	N ₂ H ₄	62.7 kΩ/cm			
	C ₆ H ₈ O ₆	31.2 kΩ/cm			
	Na ₂ S ₂ O ₄	19.4 kΩ/cm			
	NaOH	23.300 kΩ/cm			
GO/Pamuk	Na ₂ S ₂ O ₄	0.19 MΩ/□	1.75 MΩ/□	1	[142]
İGO/Pamuk	İGO	7.6x10 ¹⁰ Ω	-	1	[143]
Gr/Pamuk	Grafen	3.0x10 ⁵ Ω	7.0x10 ⁵ Ω		
GO/Pamuk	N ₂ H ₄ .H ₂ O	1.7x10 ⁵ Ω	-	-	[144]
GO/Poliester	Na ₂ S ₂ O ₄	11.06x10 ³ Ω/□	-	-	[146]
GO/Poliester	Na ₂ S ₂ O ₄ :NaHSO ₃ (4:1)	330 Ω/□	-	-	[147]

Tablo 1.5. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen elektriksel direnç sonuçları (devam)

Malzeme Kompozisyonu	İndirgeme maddesi	Elektriksel direnç / iletkenlik			Kaynak
		Yıkanmamış/ Yıkama öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
GO/Poliester	SnCl ₂ /Termal tavlama	3.5 kΩ/□	$\sigma/\sigma_0=1$	1	[148]
GO/Pamuk/Poliamid	Na ₂ S ₂ O ₄ Dopamin hidroklorür	0.1x10 ⁴ Ω/□ 0.5x10 ⁴ Ω/□	-	-	[149]
Gr/Poliester	Grafen	2.53x10 ⁴ kΩ/□	-	-	[150]
GO/Poliarilat	Na ₂ S ₂ O ₄	92.52 Ω/cm	$\sigma/\sigma_0 < \%3.2$	30	[151]
GO/İpek	N ₂ H ₄ buharı	1.5 kΩ/□	-	-	[152]
GO/İpek	Termal indirgeme	3.28 kΩ/cm	-	-	[153]
Ag/GO/Pamuk	N ₂ H ₄ -Termal tavlama	0.26 S/cm	-	-	[155]
GO/Poliester	Na ₂ S ₂ O ₄ Ag-N ₂ H ₄ .H ₂ O	0.06 MΩ/cm 0.35 MΩ/cm	-	-	[156]

Tablo 1.5. İGO ile kaplanmış tekstil yüzeylerinde elde edilen elektriksel direnç sonuçları (devam)

Malzeme Kompozisyonu	İndirgeme maddesi	Elektriksel direnç / iletkenlik			Kaynak
		Yıkanmamış/ Yıkama öncesi	Yıkama sonrası	Yıkama sayısı	
GO/Poliester	C ₆ H ₈ O ₆	2.3 kΩ/□	-	-	[157]
GO-PANi/İpek	Na ₂ S ₂ O ₄	0.09 kΩ/cm	-	-	[158]

1.6. Grafen oksit indirgenmesinde çevre dostu maddelerinin kullanımı ile ilgili literatür araştırması

Grafen oksitin indirgenmesi amacıyla çevre dostu maddelerin kullanımının araştırılması kapsamında yapılan literatür çalışmasıyla, GO'nun indirgenmesinde kullanılan malzemeler tablo olarak verilmiştir. Tablo 1.6'da bitkisel esaslı malzemeler, Tablo 1.7'de biyomoleküller ve Tablo 1.8'de mikroorganizmalar ve bunlardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Li ve ark. [159], çevre dostu ve hızlı bir işlemle indirgenmiş GO eldesinde okaliptus yaprağı ekstraktının etkisini incelemişlerdir. Kuila ve ark. [160], GO'nun indirgenmesinde çevre dostu bir yaklaşımla yabani havuç kökü kullanmışlardır. Yabani havuç kökünde bulunan endofitik mikroorganizmaların GO'nun indirgenmesinde etkili olduğu öne sürülmüştür. Thi Vu ve ark. [161], GO'nun indirgenmesinde çevre dostu malzeme olarak kafein kullanmışlardır. Hou ve ark. [162], GO'nun indirgenmesinde kurutulmuş kasımpatı çiçeği ekstraktı kullanmışlardır. Suresh ve ark. [163], GO indirgenmesinde tarçın ekstraktı kullanarak boya uzaklaştırma özelliği incelenmiştir. Xu ve ark. [164], farklı çevre dostu maddelerinin GO'nun indirgenmesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, askorbik asit, glukoz ve çay polifenolü çevre dostu indirgeme maddeleri olarak kullanılmıştır. En iyi indirgeme etkisinin elektriksel iletkenliğin en yüksek olduğu askorbik asit ile elde edildiği ifade edilmiştir. Upadhyay ve ark. [165], üzüm ekstraktının GO'nun indirgenmesi çevre dostu bir indirgeme maddesi olarak kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, üzüm ekstraktı ile indirgenmiş GO'nun sudan boyarmadde uzaklaştırma özelliği incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen indirgenmiş GO'nun adsorban olarak oldukça etkili olduğu belirtilmiştir. Khan ve ark. [166], GO'nun indirgenmesinde çevre dostu malzeme olarak misvak kökü ekstraktı kullanmışlardır. Zhou ve ark. [167], GO'nun indirgenmesinde doğal ve toksik olmayan fitik asit kullanmışlardır. Bo ve ark. [168], fenolik bileşiklerden olan hidrokisinnamik asit yapısında olan kafeik asit ile GO'nun indirgenmesini incelemişlerdir. Çalışmada, farklı indirgeme sürelerinin etkisi araştırılmış, en iyi indirgeme 24 saat süreyle yapılan uygulamada tespit edilmiştir. Chu ve ark. [169], siyah soya fasulyesi ekstraktı ile GO'yu indirgemişlerdir. Farklı indirgeme sıcaklığı ve mikrodalga işlem uygulanmasının indirgenme etkisini inceledikleri çalışmada, 95°C indirgeme reaksiyon sıcaklığı ve

ardından mikrodalga uygulamasının indirgenme üzerine olumlu etkisi olduğu elektriksel direnç değişimiyle belirlenmiştir. Suresh ve ark. [170], GO'nun çevre dostu indirgenmesinde ıspanak kullanmışlar ve antioksidanlık ve boya absorpsiyon özelliklerini incelemişlerdir. Khanra ve ark. [171], çevre dostu ve düşük maliyetli indirgeme maddesi olarak maya kullanmışlardır. Maya içerdiği nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADPH) maddesi nedeniyle indirgeyici ve fonksiyonelleştirici bir ajan olarak kullanılmaktadır. Chettri ve ark. [172], pelin otu yapraklarından hazırladıkları ekstrakt ile GO'yu indirgemişlerdir. Zaid ve ark. [173], doğal β -karoten ile GO'nun indirgenmesini incelemişlerdir. Gurunathan ve ark. [174], resveratrol ile indirgenmiş GO'nun antikanser özelliğini incelemişlerdir. Maddinedi ve ark. [175], doğal bir malzeme olan süt proteini-kazein- ile GO'nun indirgenmesini araştırmışlardır. Wang ve ark. [176], GO'nun indirgenmesinde çevre dostu malzeme olarak biyomolekül olan aminoasit yapısındaki alanin kullanmışlardır. Li ve ark. [177], şeker üretim prosesinin en büyük ölçekli atığı olan şeker kamışı posasını GO indirgenmesinde kullanmışlardır. Chu ve ark. [178], GO'yu hibisküs bitkisi ekstraktı ile indirgeyerek esnek grafen elektrot üretmişlerdir. Wijaya ve ark. [179], kaffir lime kabuğundan elde edilen ekstrakt ile GO'yu indirgemişler ve adsorpsiyon özelliğini incelemişlerdir. Moosa ve Jaafar [180], siyah çay yapraklarından elde edilen ekstrakt ile GO'yu indirgeyerek sudan kurşun iyonlarını uzaklaştırma özelliğini incelemişlerdir. Hou ve ark. [181], GO'nun indirgenmesinde doğal bir malzeme olan kurt üzümü meyvesinden elde edilen ekstraktı kullanmışlardır. Haghighi ve Tabrizi [182], gülsuyunun GO'nun indirgenmesinde çevre dostu bir madde olarak kullanımını incelemişler ve elektrokatalitik özelliğini araştırmışlardır. Gurunathan ve ark. [183], mitokondrial polipeptit olan humanin ile GO'yu indirgemişlerdir. Akhavan ve ark. [184], GO'yu indirgemek için yeşil çay polifenollerini antioksidan aktiviteyi artırmak için demir varlığında kullanmışlardır. Pham ve ark. [185], GO'nun indirgenmesinde doğal bir antioksidan olan glutatyon maddesini kullanmışlardır. Kumar ve ark. [186], GO'nun çevre dostu indirgenmesinde soğan suyu kullanmışlar ve konsantrasyon ve sıcaklık gibi parametrik çalışmaların indirgeme üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Soğan suyunda bulunan sistein aminoasitinin GO'nun indirgenmesinde etkin olduğu ifade edilmiştir. Ghosh ve ark. [187], çevre dostu indirgeyici madde olarak karoten ve C vitamini açısından zengin bir bitki olan Çin ateş asması yapraklarından elde ettikleri ekstrakt ile GO'yu indirgemişlerdir.

Yaragalla ve ark. [188], üzüm çekirdeği ekstraktı kullanarak GO'yu indirgemişler ve antimikrobiyel ve antikanser özelliklerini incelemişlerdir. De Silva ve ark. [189], GO'nun indirgenmesinde askorbik asit kullanmışlardır. Sykam ve ark. [190], tulsi yeşil çayı ekstraktı ile çevre dostu indirgenmiş GO'nun süperkapasitör ve boya adsorpsiyon özelliklerini incelemişlerdir. Tran ve ark. [191], GO'nun indirgenmesinde aromatik yapıda olmayan bir aminoasit olan aspartik asit kullanmışlardır. Bhattacharya ve ark. [192], aloe vera bitkisinin jeli ile GO'yu indirgeyerek elektrokimyasal ve boya adsorpsiyon özelliklerini incelemişlerdir. Chen ve ark. [193], tiol grubu içeren bir aminoasit olan sistein ile GO'yu indirgemişlerdir. Khenfouch ve ark. [194], beyaz pelin otu yapraklarından elde edilen ekstraktı GO'nun indirgenmesinde çevre dostu malzeme olarak kullanmışlardır. Lee ve Kim [195], GO'nun indirgenmesinde 7 farklı bitki yaprağından elde edilen ekstraktları kullanmışlardır. Kiraz, manolya, çınar, çam, akçaağaç, Trabzon hurması ve ginkgo yapraklarından elde edilen ekstraktlardan GO'nun indirgenmesinde en optimum sonuçların elde edildiği malzemenin kiraz yaprağı ekstraktı olduğu belirtilmiştir. Zhang ve ark. [196], glutatyon ile GO'yu indirgeyerek superkapasitör elektrot malzemesi olarak özelliğini incelemişlerdir. He ve ark. [197], askorbik asit, fruktoz, glukoz, sakkaroz kullanarak GO'yu indirgemişlerdir. Sadhukhan ve ark. [198], GO'nun çevre dostu indirgenmesinde mango yaprağı ekstraktı ve patates ekstraktı kullanmışlardır. Chandu ve ark. [199], hint armudu yaprağı ekstraktı ile GO'nun indirgenmesini araştırmışlardır. Suresh ve ark. [200], karanfil ekstraktı ile GO'nun indirgenmesini incelemişlerdir. Shubha ve ark. [201], tulsi (kutsal fesleğen) yaprağı ekstraktıyla GO'nun indirgemişler ve hücrel uyumluluk testleri uygulamışlardır. Thakur ve Karak [202], gölevez yaprağı, Seylan demirağacı yaprağı ve portakal kabuğundan elde ettikleri ekstraktlar ile GO'yu indirgemişlerdir. Tabrizi ve ark. [203], altın/indirgenmiş GO'nun çevre dostu eldesinde bira kullanmışlardır. Bira içerisinde bulunan maltoz, dekstrin, alanin ve fenolik bileşiklerin indirgeyici özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Hatamie ve ark. [204], GO'nun indirgenmesinde doğal bir indirgeyici malzeme ve antioksidan olan kürkümün kullanmışlar ve insan meme kanseri hücrelerinde sitotoksik özelliklerini incelenmişlerdir. Chen ve ark. [205], GO'nun indirgenmesinde *Azotobacter chroococcum* adı verilen nitrojenaz enzimi içeren bakteri kullanmışlardır. Nitrojenaz enziminin indirgeyici özelliği olduğundan GO'nun indirgenmesinde etkili olabileceği belirtilmiştir.

Gurunathan ve ark. [206], koli basili (*Escherichia coli*) biyokütlesiyle GO'yu indirgeme çalışma yapmışlardır. Wang ve ark. [207], ayrıştırıcı metal indirgeyici bakteri ailesine ait olan *Shewanella* bakterisi ile GO'yu indirgemişlerdir.



Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısmı	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Ökalyptus	Yaprak	Ekstraksiyon - 80°C'de 1 saat ısıtma	80°C'de 8 saat	233.5	273.5	10.0	25.4	0.88	0.35	3.47-XPS	-	[159]
Yabani havuç	Kök	-	Oda sıcaklığında 48 saat	-	-	11.2	23.96	0.79	-	11.9-XPS	-	[160]
Kasımpatı	Çiçek	Ekstraksiyon - 95°C'de 30 dk.	95°C'de 24 saat	-	-	6.6	24.6	1.33	0.36	4.96-XPS	-	[162]
Tarçın	Kabuk	Ekstraksiyon - 100°C'de 5 saat	45 dk.	226	280	10	23	-	-	-	-	[163]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Üzüm	Meyve	Ekstraksiyon – kaynama sıcaklığında 10 dk.	95°C’de 1-3- 6 saat	230-300	270	10.4	23.7	0.850	-	-	-	[165]
Misvak	Kök	Ekstraksiyon – kaynama sıcaklığında 4 saat.	98°C’de 24 saat	230-301	280	10.9	22.4	-	-	-	-	[166]
Siyah soya fasulyesi	Tohum	Ekstraksiyon - 50°C’de 1 saat	95°C’de 1 saat Mikrodalga	-	-	-	21.9-25.6	-	-	-	15 MΩ/□ 1.5 kΩ/□	[169]
Ispanak	Yaprak	-	Kaynama sıcaklığında 30 dk	225	282	10	26	0.76	0.33	-	-	[170]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Pelin otu	Yaprak	Ekstraksiyon – kaynama sıcaklığında 3 dk.	90°C’de 6 saat	-	-	9.81	28.33	0.901	3.15	-	-	[172]
Şeker kamışı posası	Posa	Ekstraksiyon – 60°C’de 5 saat	95°C’de 12 saat	232.5 -300	270.5	10.8	26.5	0.83	-	3.37-XPS	-	[177]
Hibisküs	Çiçek	Ekstraksiyon – 60°C’de 1 saat	1 saat sonikasyon + 1 saat kaynama sıcaklığında	232.6	268.2	10.4	25.0	0.85	0.36	3.1-XPS	0.63 MΩ/□ Mikrodalga-36.5 Ω/□	[178]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Kaffir Lime	Kabuk	Ekstraksiyon – oda sıcaklığında 8 saat	8 saat	300-343	300	10.11	26.34	0.875	0.338	-	-	[179]
Siyah çay	Yaprak	Ekstraksiyon – 90°C’de 15 dakika	90°C’de 1 saat	228	271	11.16	23-26	0.79	0.34	-	-	[180]
Kurt üzümü	Meyve	Ekstraksiyon – 95°C’de 30 dakika	95°C’de 24 saat	-	-	6.6	26	1.33	0.34	6.5-XPS	-	[181]
Gülsuyu	Yaprak	-	95°C’de 5 saat otoklav	230	260	13	24	0.78	-	-	-	[182]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Yeşil çay	Yaprak	Ekstraksiyon – 80-86°C’de 10 dakika	40, 60, 80°C’de 10 dakika	-	-	-	-	-	-	-	3.9x10 ⁵ Ω/□	[184]
Soğan suyu	-	-	2 saat oda sıcaklığında + otoklav 150°C’de 12 saat	232-303	275	11.16	24.06-25.02	0.87	0.346	-	-	[186]
Çin ateş asması	Yaprak	Ekstraksiyon – kaynatma 15 dk.	50°C’de 12 saat	241-300	262	10.36	25.21	0.8528	0.3528	-	-	[187]
Üzüm çekirdeği	Tohum	Toz ekstrakt	Oda sıcaklığında 10 saat	241	280	11	-	0.649	-	3.42-XPS	-	[188]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısımı	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Tulsi yeşil çayı	Yaprak	Ekstraksiyon – 85°C’de 15 dk.	Mikrodalga 800 W 1 dk.	230-300	270	9.18	26.35	0.962	0.338	7.92-XPS	-	[190]
Kiraz	Yaprak	Ekstraksiyon – 5 dk. kaynatma	95°C’de 12 saat	232	272	10.4	26.1	0.76	-	5.10-XPS	-	[195]
Manolya										4.40-XPS		
Çam										-		
Çınar					-		-			4.96-XPS		
Akçaağaç												
Trabzon hurması										-		
Gingko												

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Mango	Yaprak	Ekstraksiyon – 50°C’de 1 saat	60°C’de 12 saat + 70-80°C’de 8 saat	239-300	259	10.36	21.87	0.85	-	6.60-EDX	1.16x10 ⁻³ S/cm	[198]
Patates	Kök	Ekstraksiyon – suyla öğütme ve santrifüj			265		21.86		-	13.84-EDX	3.58x10 ⁻³ S/cm	
Hint armudu	Yaprak	Ekstraksiyon – kaynama sıcaklığında 30 dk.	100°C’de 12 saat	235-302	276	11.2	23	-	-	-	-	[199]
Karanfil	Tohum	Ekstraksiyon – 100°C’de 5 saat	100°C’de 30 dk.	223	260	11.2	23.9	0.79	-	-	-	[200]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Gölevez	Yaprak	Ekstraksiyon – 50°C’de 20 dk.	Kaynama sıcaklığında 5 saat	232-300	270.9	9.75	25	0.906	0.36	7.11-XPS	4006 S/m	[202]
Seylan demir ağacı	Yaprak		Kaynama sıcaklığında 8 saat		268					6.09-XPS	3184.5 S/m	
Portakal	Kabuk		Kaynama sıcaklığında 8 saat		268					5.97-XPS	3032.6 S/m	
Bira	-	-	90°C’de 5 saat otoklav	230	280	13.01	23.0	0.78	-	-	-	[203]

Tablo 1.6. Grafen oksit indirgenmesinde kullanılan bitkisel esaslı çevre dostu indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	Bitkinin Kullanılan Kısım	Elde edilme yöntemi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2 θ (°)		<i>d</i> -tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
				GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Zencefil	Kök	Ekstraksiyon –Sonikasyon 30 dk.	90°C	232-300	260	10.4	28.0	0.83	-	-	-	[208]
Sarımsak	Kök	Ekstraksiyon –Sonikasyon 1 saat	90°C						-	-	-	

Tablo 1.7. Grafen oksitin çevre dostu indirgenmesinde kullanılan biyomolekül indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar

Çevre dostu indirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
		GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Kafein	80°C'de 12 saat	-	-	11.1	-	0.794	-	6.5- XPS	-	[161]
Glukoz	95°C'de 2 saat	-	-	-	-	-	-	2.89- XPS	3.15 S/cm	[164]
Askorbik asit	95°C'de 2 saat							5.15- XPS	9.8 S/cm	
Çay polifenolü	80°C'de 8 saat							3.44- XPS	1.36 S/cm	
Kafeik asit	95°C'de 2, 12 ve 24 saat	230	270	10.02	24.79	0.880	0.359	7.15- XPS	10 ⁴ – 10 ⁵ Ω	[168]
β-karoten	95°C'de 24 saat	230	270	10.3	23.13	0.862	0.392	-	-	[173]
Resveratrol	90°C'de 1 saat	231	260	10.8	25.9	0.76	0.36	-	-	[174]
Kazein	90°C'de 7 saat	229-300	271	11.2	21.8	0.77	-	-	-	[175]
Alanin	85°C'de 4, 8, 12, 16, 20 ve 24 saat	228	258	11	-	0.78	-	-	-	[176]
Humanin	40°C'de 1 saat	227-300	265	11.7	26.3	0.76	0.34	-	105 S/m	[183]
Glutatyon	50°C'de 6 saat	-	-	11.8°	24.7°	0.75	0.36	-	-	[185]

Tablo 1.7. Grafen oksitin çevre dostu indirgenmesinde kullanılan biyomolekül indirgeme maddeleri ve elde edilen sonuçlar (devam)

Çevre dostu indirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
		GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Askorbik asit	65°C'de 60 dk.	230-300	263	9.50	24.86	0.930	0.358	4.7- XPS	-	[189]
Aspartik asit	90°C'de 3, 6, 12 saat	250	260	11.1	-	0.794	-	-	700 S/m	[191]
Sistein	Oda sıcaklığında 72 saat	230-300	270	11.3	24.0	0.78	0.37	-	0.124 S/m	[193]
Askorbik asit	95°C'de 10 dk	228-300	264	10.92	24.94	0.796	0.387	16.6-XPS	-	[197]
Fruktoz	30 dk.	-	256	-	24.26	-	-	9.0-XPS		
Glikoz	1 saat		252		22.96			11.1-XPS		
Sakkaroz	1 saat		254		25.28			4.34-XPS		
Kürkümin	85°C'de 120 dk	230-310	270	11	21	0.8	0.4	2.70-XPS	-	[204]

Tablo 1.8. Grafen oksitin çevre dostu indirgenmesinde kullanılan mikroorganizmalar ve elde edilen sonuçlar

Çevre dostu indirgeme maddesi	İndirgeme proses koşulları	UV pik dalgaboyu (nm)		2θ (°)		d-tabakalar arası mesafe (nm)		C/O oranı	Elektriksel direnç / iletkenlik	Kaynak
		GO	İGO	GO	İGO	GO	İGO			
Maya	35-40°C'de 72 saat	230-300	264	11.32	23.5	0.7816	-	5.9- XPS	43 S/m	[171]
Azotobacter chroococcum	72 saat	-	-	11	17-24	0.81	0.37-0.52	4.18- XPS	-	[205]
Koli basili	37°C'de 72 saat	230-300	267	10.54	24	0.84	-	-	-	[206]

1.7. Çalışmada kullanılan çevre dostu indirgeme maddeleri ve özellikleri

1.7.1. Keçiboynuzu

Keçiboynuzu ağacı, yüzyıllardır Akdeniz’de, ülkemizde de Batı ve Güney bölgelerde yetişen, ve Avrupa, Afrika, Avustralya, Asya, Kuzey Amerika gibi birçok kıtaya da yayılmıştır. Keçiboynuzu ağacının temel bileşenleri kabuk ve tohumlardır. Keçiboynuzunun kimyasal içeriği iyi bilinmekle birlikte, keçiboynuzu kabuğu yüksek miktarda karbonhidrat, polifenolik ve antioksidan bileşikler, çözünmeyen diyet lifleri ve mineraller, ve düşük miktarlarda proteinler ve yağlar içermektedir [209, 210]. Ayrıca, keçiboynuzu kabuğu %90 oranında posadan oluşmaktadır ki bunun içerisinde %48-56 oranında şeker, bunun da %75’ini sakaroz oluşturmaktadır, % 16-20 oranında yoğunlaştırılmış tanenler bulunmaktadır [211-214].



Şekil 1.19. Keçiboynuzu meyvesi [215]

Keçiboynuzunun çeşitli ürünlerde ucuz bir kaynak olarak kullanımı artmaktadır. Bazı çalışmalarda keçiboynuzu kabuğunun biyoetanol üretiminde ucuz ve kolay erişilebilen bir malzeme olarak ve sitrik asit üretimi için bir substrat olarak kullanımı araştırılmıştır [214]. Keçiboynuzu ağacının meyvesi olan keçiboynuzu kabuğunun kimyasal bileşimi ile ilgili olarak literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Keçiboynuzu kabuğunun polifenol ve tanen miktarının genellikle coğrafi konum, kültürel şartlar ve olgunlaşma derecesi gibi koşullara bağlı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, keçiboynuzu kabuğunun antioksidan özelliklerinin polifenolik bileşimi ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Yapılan bir çalışmada, keçiboynuzu kabuğunun öğütülerek toz hale getirilmesi sonrasında yapılan ekstraksiyon işlemiyle amino asit, şeker ve organik asit, fenolik asit ve mineral içeriği

belirlenmiştir. Buna göre, keçiboynuzu kabuğunda yüksek miktarda aspartik asit, alanin, glutamik asit, valin gibi amino asitler, sakarin, glukoz ve früktoz gibi şekerler ve organik asitlerden malik asit, fenolik bileşik olarak yüksek miktarda gallik asit içerdiği ifade edilmiştir [213]. Bir başka çalışmada ise, keçiboynuzu kabuğunun asetonda ekstrakte edilmesiyle polifenolik bileşik miktarının %80 oranında elde edildiği belirtilmiştir ve antioksidan potansiyelin incelenmesiyle polifenol içeren keçiboynuzunun antiradikal ve indirgeyici özellikte olduğu ifade edilmiştir [214]. Ek olarak, [210, 215-220] nolu kaynaklarda keçiboynuzu kabuğu ekstraktının antioksidan özellik gösterdiği ile ilgili sonuçlar bulunmaktadır.

1.7.2. Kuşburnu

Kuşburnu bitkileri iklim ve toprak gereksinimleri açısından seçici olmamakla birlikte, Avrupa, Afrika, Orta ve Batı Asya ve Rusya gibi bölgelerde yetişmektedir. Türkiye’de de hemen hemen her bölgede yetişmektedir ve Anadolu’da iyi bilinen ve oldukça fazla tüketilen bir meyvedir. Kırmızı renkli meyveler, fenolik bileşikler, flavonoidler ve antosiyanin ve karotenoidler gibi fitokimyasallar açısından zengindirler [221].



Şekil 1.20. Kuşburnu meyvesi

Kuşburnu (*Rosa canina L.*) bitkisi de düşük oranda yağ, yüksek oranda vitaminler, mineraller ve lifler içermektedir. Kuşburnu meyveleri pek çok Avrupa ülkesinde sağlıklı gıda ürünlerinde ya da vitamin desteği olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır, çünkü yaygın olarak kullanılan diğer meyve ve sebzelerden daha yüksek oranda C vitamini içermektedir [222, 223]. Kuşburnunun C vitamini içeriğinin 300-4000 mg/100 g olduğu bilinmektedir [224]. Ayrıca kuşburnunun içeriğinde askorbik asit, fenolik asitler, hidrolize edilebilen tanenler, proantosiyanidinler, antosiyaninler, flavonoller (kaempferol

ve kuersetin glikositleri) ve çoğunlukla likopen, β -karoten içeren karotenoidler bulunmaktadır [222, 225, 226]. Kuşburnu ekstraktının antioksidan özellik gösterdiği literatürde çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [223, 227, 228]. Ayrıca, kuşburnu ekstraktı literatürde CuO [229, 230], ZnO [231], Pd [232], Ag [233, 234], Au [233], Ag/ZnO [235] nanopartiküllerin çevre dostu sentezinde indirgeyici ajan olarak kullanılmıştır.

1.7.3. Karanfil

Karanfil (*Syzygium aromaticum*), flavonoidler, hidroksibenzoik asitler, hidroksisinamik asitler ve hidroksifenil propenler gibi fenolik bileşiklerin en büyük bitkisel kaynaklarından biridir. Karanfilin temel biyoaktif bileşiği bir terpenoid olan öjenoldür. Bunun yanı sıra, fenolik asitler ve gallik asit ise yüksek konsantrasyonlarda bulunan diğer bileşiklerdir. Ayrıca, hidrolize edilebilen tanenler gibi diğer gallik asit türevleri diğer bileşiklere göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Karanfilde bulunan başka fenolik asitler ise kaffeik, ferulik, elajik ve salisilik asitlerdir. Kaempferol, kuersetin ve grupları karanfilde daha düşük konsantrasyonlarda bulunan flavonoidlerdir [236, 237]. Bitkisel polifenoller genellikle süper aktif antioksidanlar olarak tanımlanmaktadır [237].



Şekil 1.21. Karanfil ağacı ve baharatı

Karanfil bitkisi yüzyıllardır gıda koruyucularda ve tıbbi bitkilerde antioksidan ajan olarak kullanılmaktadır ve antimikrobiyal aktiviteye sahiptir. Son yıllarda karanfil bitkisinin, antibakteriyel, antifungal, antiviral ve kanser önleyici özellikleri pek çok çalışmada araştırılmıştır [236, 238, 239]. Yapılan bir çalışmada, karanfil tohumu ekstraktının antioksidan ve antibakteriyel özellikleri incelenmiş ve etanol ve su ekstraktlarının, yüksek oranda toplam fenolik bileşik miktarına sahip olduğundan yüksek antioksidan aktivite

gösterdiği belirtilmiştir. Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteriler üzerinde gerçekleştirilen antibakteriyel aktivite sonuçlarına göre, yüksek toplam fenolik bileşik miktarına sahip ekstraktların yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği ifade edilmiştir [238]. Ayrıca, karanfil ekstraktının literatürde Ag [240-244], Au/Ag [245], Au [246-248], Fe [249, 250], MnO [251] ve ZnO [252] nanopartikül sentezinde çevre dostu indirgeyici ajan olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.



BÖLÜM II

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan kimyasallar

- **Grafit partikül**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Sigma-Aldrich

Partikül boyutu: +100 mesh

Molekül ağırlığı: 12.01 g/mol

- **Sülfürik asit**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Isolab

Safılık derecesi: %95-98

Molekül ağırlığı: 98.08 g/mol

Kapalı formül: H_2SO_4

- **Fosforik asit**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Merck

Safılık derecesi: %85

Molekül ağırlığı: 98.00 g/mol

Kapalı formül: H_3PO_4

- **Potasyum permanganat**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Isolab

Saflık derecesi: %99.0

Molekül ağırlığı: 158.03 g/mol

Kapalı formül: KMnO_4

- **Hidrojen peroksit**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Merck

Saflık derecesi: %35

Kapalı formül: H_2O_2

- **Etanol**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Isolab

Saflık derecesi: %99.9

Molekül ağırlığı: 46.07 g/mol

Kapalı formül: CH_2OH

- **Hidroklorik asit**

Grafen oksit sentezinde kullanıldı.

Marka: Merck

Saflık derecesi: %37

Molekül ağırlığı: 36.46 g/mol

Yoğunluk: 1.19 g/cm³

Kapalı formül: HCl

- **Yıkama maddesi**

PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ön işleminde, yıkama prosesinde kullanıldı.

Marka: Perlavin OSV

Türü: İyonik olmayan

- **Keçiboynuzu, Kuşburnu ve Karanfil toz ekstraktları**

Naturalya Kimya (Antalya, Türkiye) firmasından suda çözünebilir toz ekstrakt olarak temin edildi. Firmadan verilen bilgiler Tablo 2.1'deki gibidir:

Tablo 2.1. İndirgeme işleminde kullanılan bitkisel ekstraktların genel özellikleri

Ekstrakt	Botanik adı	Bitkinin ekstrakte edilen kısmı	Ekstraksiyon türü	Partikül boyutu	Renk
Keçiboynuzu	<i>Ceratonia siliqua</i>	Meyve	Su/Alkol (%20/%80)	80 mesh	Kahverengimsi
Kuşburnu	<i>Rosa canina</i>	Meyve	Su/Alkol (%30/%70)	80 mesh	Sarı-kahverengi
Karanfil	<i>Syzygium aromaticum</i>	Tohum	Su/Alkol (%20/%80)	80 mesh	Kahverengi

- **Destile su**

Tüm deneysel çalışmalarda, yıkama, dispersiyon ve çözelti hazırlama uygulamalarında kullanıldı.

- **Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş**

Gramaj: 172 g/m²

Kumaş örgüsü: Trikot

Satır sıklığı: 11 tel/cm

Çubuk sıklığı: 15 tel/cm

2.1.2. Kullanılan cihazlar

Hassas terazi: Toz ve kumaş numunelerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanıldı.

Vakum filtrasyon düzeneği: İGO toz numunelerin elde edilmesinde kullanıldı.

Isıticılı manyetik karıştırıcı: Çözelti ve dispersiyon hazırlanmasında ve indirgenme reaksiyonlarında kullanıldı.

Geri soğutucu düzeneği: İndirgenme reaksiyonlarında kullanıldı.

Ultrasonik banyo: GO dispersiyonların hazırlanmasında kullanıldı.

Etüv: GO ve İGO toz numunelerin ve GO ve İGO kaplanmış kumaş numunelerin kurutulmasında kullanıldı.

Santrifüj: Geliştirilmiş Hummers yöntemiyle GO'nun elde edilmesinde kullanıldı.

Laboratuar tipi Haspel boyama makinesi: Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın noniyonik yıkama maddesi ile yıkanmasında kullanıldı.

Laboratuar tipi Jigger boyama makinesi: Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın GO dispersiyonu ile kaplanmasında kullanıldı.

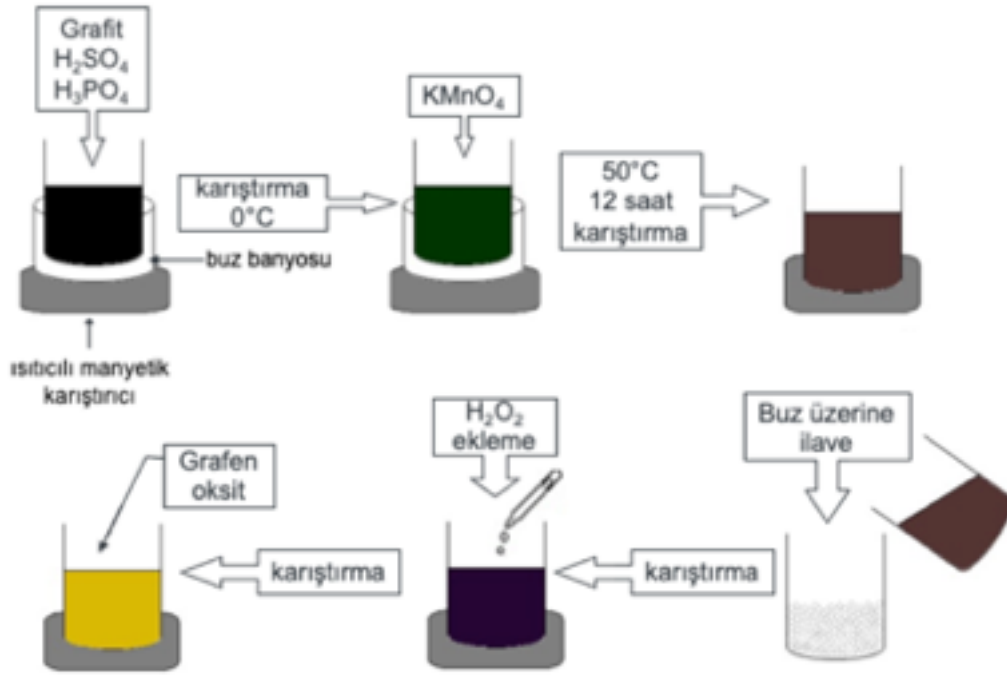
Standart çamaşır yıkama makinesi: Poliamid 6,6 ve İGO kaplanmış poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşların yıkamaya karşı dayanımının belirlenmesi amacıyla kullanıldı.

Sürtme haslığı test cihazı (Krokmeter): GO kaplı ve İGO kaplı poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşların sürtmeye karşı renk dayanımının belirlenmesinde kullanıldı.

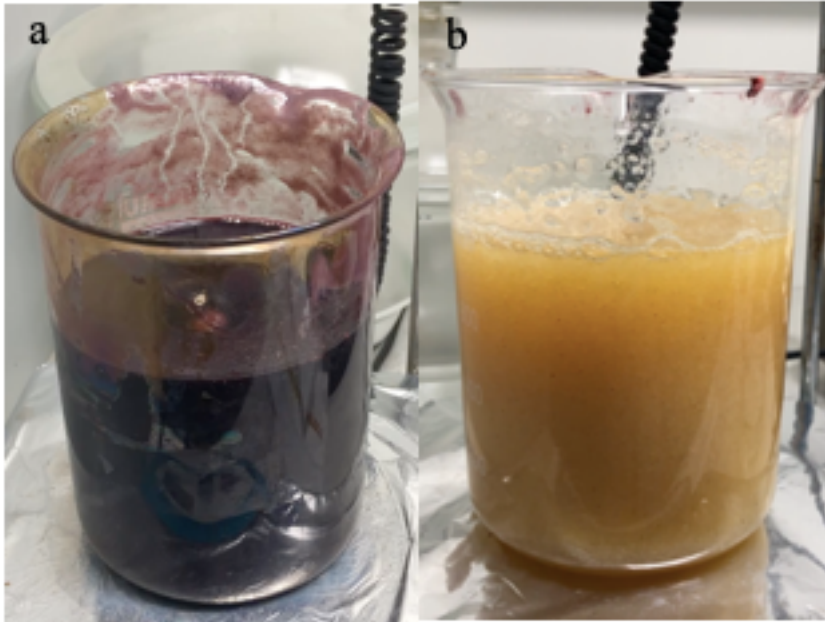
2.2. Yöntem

2.2.1. Grafen oksit sentezi

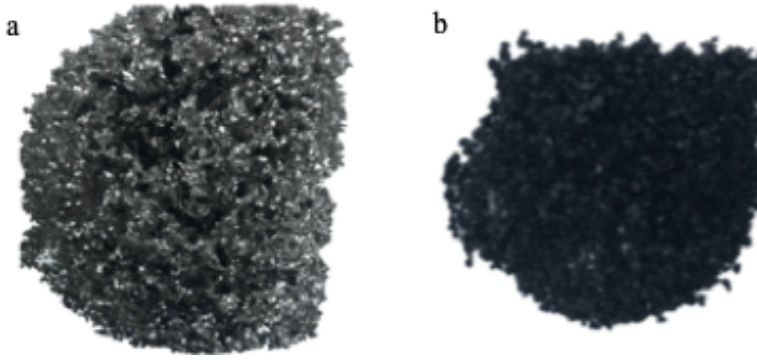
Grafen oksit, grafit partiküllerden geliştirilmiş Hummer yöntemi ile sentezlendi. Kısaca, 9:1 oranında H_2SO_4/H_3PO_4 (360:40 mL) karışımına grafit partikülleri (3 g) ilave edilerek manyetik karıştırıcıda buz banyosunda karıştırıldı. Ardından, $KMnO_4$ (18 g) eklendi ve tamamen çözüldükten sonra karışımın sıcaklığı $50^\circ C$ 'ye çıkarıldı ve 12 saat karıştırıldı. Reaksiyon sıcaklığı oda sıcaklığına ($25^\circ C$) geldikten sonra buz (400 ml) üzerine döküldü ve tamamen erime gerçekleşip karışım homojen bir hale geldiğinde %30'luk H_2O_2 (6 mL) ile reaksiyon sonlandırıldı (Şekil 2.1). Elde edilen süspansiyon 8000 rpm'de 30'ar dk süre ile önce 1 M HCl çözeltisi, sonra 200 ml etanol (x2) ve son olarak destile su ile pH 4-5 olana dek yıkandı. Son olarak elde edilen katı ürün etüvde $60^\circ C$ 'de kurutuldu.



Şekil 2.1. Grafitten kimyasal oksidasyon yöntemi ile grafen oksit sentezinin şematik gösterimi



Şekil 2.2. Grafen oksit sentezinde H_2O_2 ilavesinden önce (a) ve sonra (b) reaksiyondaki renk değişiminin görüntüsü



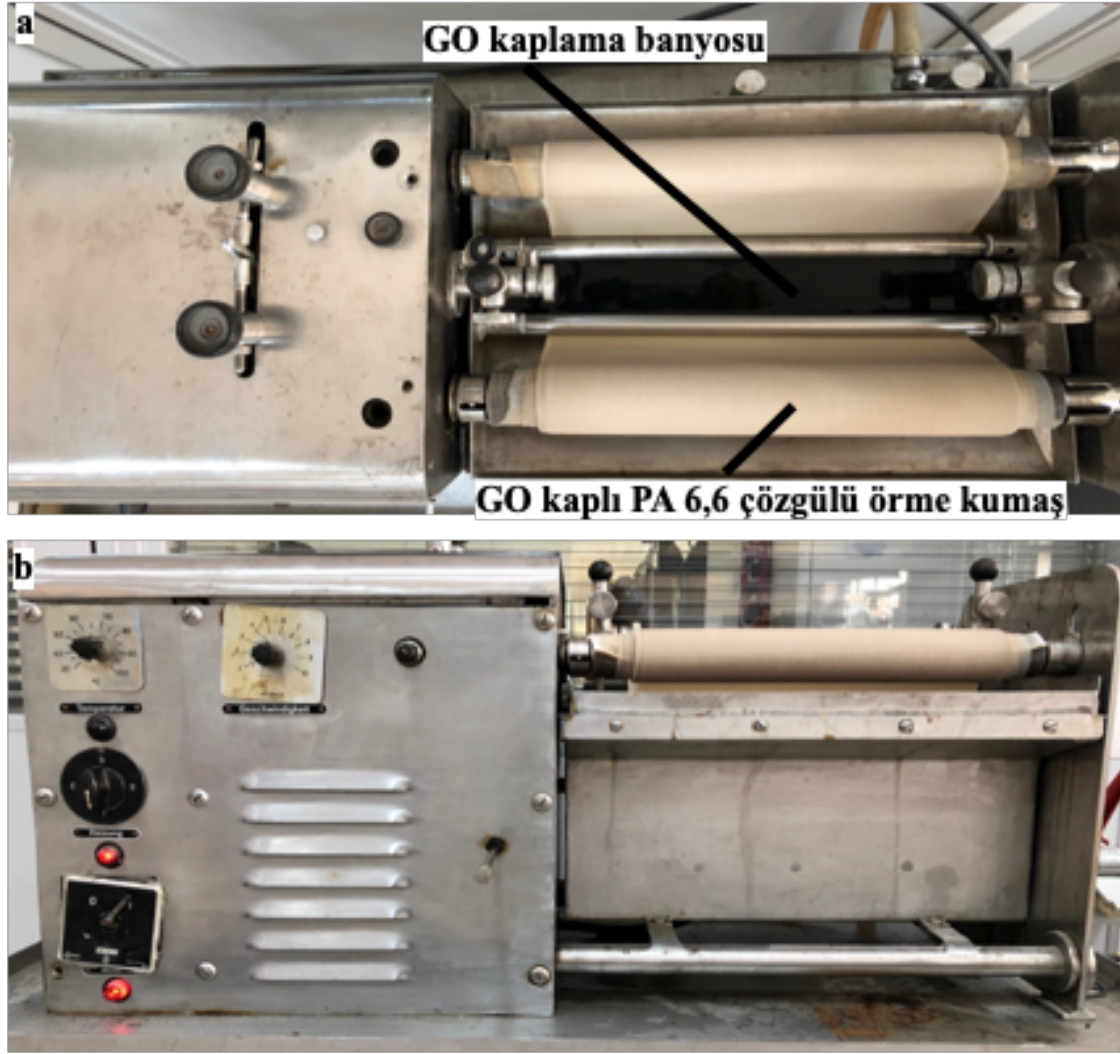
Şekil 2.3. Grafit (a) ve sentezlenen GO (b)'nin görüntüleri

2.2.2. Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa ön işlem uygulanması

Kaplama uygulamasına başlanmadan önce poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş üzerindeki kir ve tozun uzaklaştırılması amacıyla noniyonik yıkama maddesi ile laboratuvar tipi Haspel boyama makinesinde temizleme işlemi yapıldı. Bu amaçla, poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş, 1 g/L Perlavin OSV noniyonik yıkama maddesi ile banyo oranı 1/15 olacak şekilde 60°C'de 30 dk süreyle yıkandı. Ardından kumaş durulandı ve oda sıcaklığında kurutuldu.

2.2.3. Laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde kaplama uygulaması

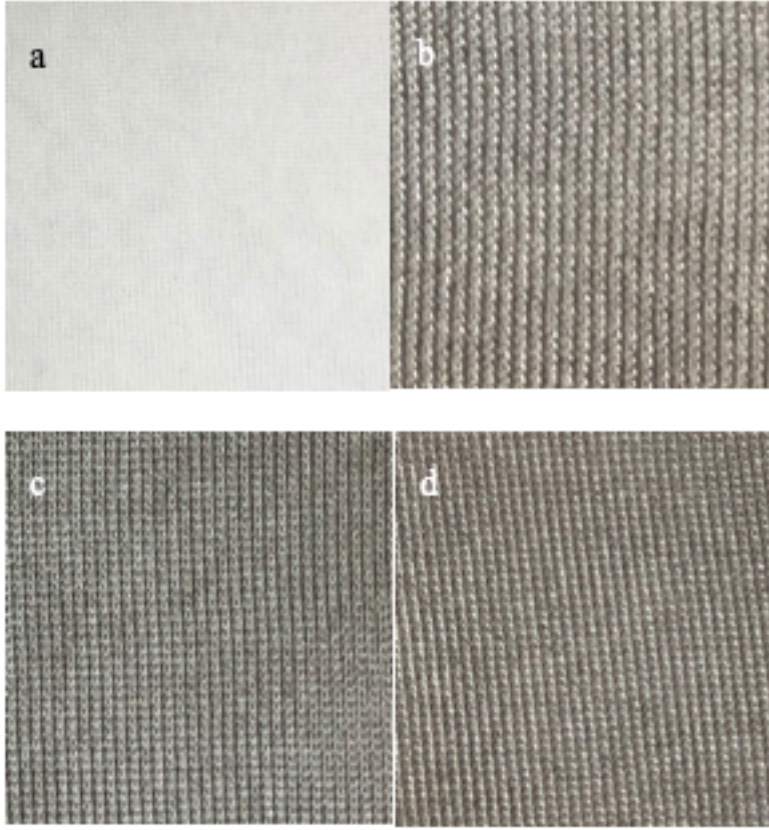
Çalışma kapsamında kaplama uygulamasında kullanılacak olan GO dispersiyonları 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L konsantrasyonlarında destile su kullanılarak ultrasonik banyoda 2-3 saat süreyle oda sıcaklığında hazırlandı. Laboratuvar tipi Jigger boyama makinesi teknesine GO dispersiyonu eklendikten sonra sıcaklık 60°C'ye ayarlandı ve dispersiyonun ısınması sağlandı. Kaplama banyo oranı 1/10 olarak belirlendi. 30 cm eninde 250 cm uzunluğunda hazırlanan poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş boyama makinesi dokuna sarıldı ve makineye yerleştirildi. Kumaşın GO dispersiyonu içerisinden geçerek sargı doku üzerine sarılmasıyla kaplama işlemi 1 saat süreyle sürekli olarak uygulandı (Şekil 2.4). Ardından, GO kaplı poliamid 6,6 kumaş etüvde 60°C'de kurutuldu. Kaplama uygulaması bu şekilde 3 kez tekrarlandı. Tablo 2.2'de kaplama işlemiyle ilgili parametreler ve elde edilen numunelere ait kodlar verildi.



Şekil 2.4. Laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde grafen oksit kaplama uygulaması, (a) makinenin üstten görünümü, (b) makinenin önden görünümü

Tablo 2.2. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın GO ile kaplama işlemine ait proses bilgileri ve numune kodlamaları

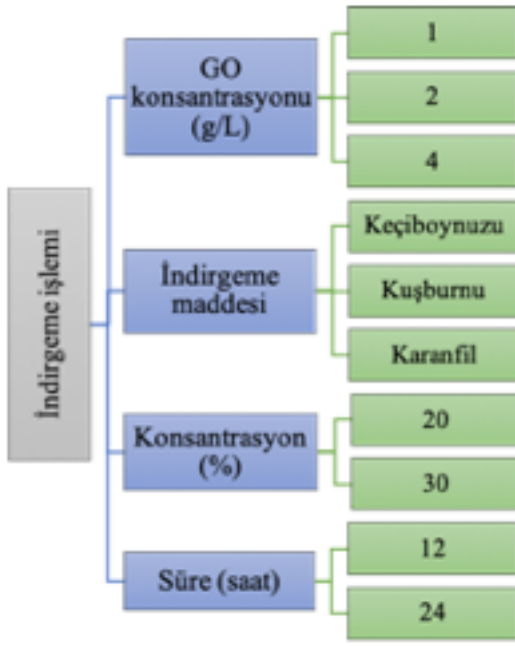
GO konsantrasyonu	Kaplama Süresi	Banyo sıcaklığı (°C)	Banyo oranı	Kaplama sayısı	Numune kodu
1 g/L	1 saat	60	1:10	3	1GO
2 g/L					2GO
4 g/L					4GO



Şekil 2.5. PA 6,6 çözgülü örme kumaş (a), 1GO (b), 2GO (c) ve 4GO (d) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri

2.2.4. GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın toz ekstraktlar ile indirgenmesi

1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile 3 kez kaplanan poliamid 6,6 kumaş banyo oranı 1/20 olan farklı konsantrasyonlarda toz ekstraktlar ile hazırlanan sulu çözeltide 95°C’de geri soğutucu düzeneğe farklı sürelerde indirgenme işlemi gerçekleştirildi. İndirgeme işlemi ile ilgili parametre çalışması Şekil 2.6’da verildi. Tablo 2.3’te indirgenme işleminin uygulanmasına ait bilgiler ve elde edilen numunelere ait kodlamalar verildi. 1 kez yıkama işlemi yapılan numuneler Y1, 10 kez yıkama işlemi yapılan numuneler Y10 ile kodlandı.



Şekil 2.6. İndirgeme işleminde çalışılan proses parametreleri

Tablo 2.3. İndirgeme işleminin uygulanması ve elde edilen numunelere ait kodlar

İndirgeme maddesi	İndirgenme sıcaklığı (°C)	Banyo oranı	A *	İndirgeme maddesi kodu	C**	S***	Numune kodu
Keçiboynuzu toz ekstrakt	95	1/20	1GO	K1	20	12	1GO-K1-20-12
						24	1GO-K1-20-24
					30	12	1GO-K1-30-12
						24	1GO-K1-30-24
			2GO		20	12	2GO-K1-20-12
						24	2GO-K1-20-24
					30	12	2GO-K1-30-12
						24	2GO-K1-30-24
			4GO		20	12	4GO-K1-20-12
						24	4GO-K1-20-24
					30	12	4GO-K1-30-12
						24	4GO-K1-30-24

Tablo 2.3. İndirgeme işleminin uygulanması ve elde edilen numunelere ait kodlar (devamı)

İndirgeme maddesi	İndirgenme sıcaklığı (°C)	Banyo oranı	A*	İndirgeme maddesi kodu	C**	S***	Numune kodu
Kuşburnu toz ekstrakt	95	1/20	1GO	K2	20	12	1GO-K2-20-12
						24	1GO-K2-20-24
					30	12	1GO-K2-30-12
						24	1GO-K2-30-24
			20		12	2GO-K2-20-12	
					24	2GO-K2-20-24	
			30		12	2GO-K2-30-12	
					24	2GO-K2-30-24	
			4GO		20	12	4GO-K2-20-12
						24	4GO-K2-20-24
					30	12	4GO-K2-30-12
						24	4GO-K2-30-24
Karanfil toz ekstrakt	95	1/20	1GO	K3	20	12	1GO-K3-20-12
						24	1GO-K3-20-24
					30	12	1GO-K3-30-12
						24	1GO-K3-30-24
			20		12	2GO-K3-20-12	
					24	2GO-K3-20-24	
			30		12	2GO-K3-30-12	
					24	2GO-K3-30-24	
			20		12	4GO-K3-20-12	
					24	4GO-K3-20-24	
			30		12	4GO-K3-30-12	
					24	4GO-K3-30-24	

A*: GO kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaş numune kodu, C**: İndirgeme çözeltisi konsantrasyonu (w/v %), S***: İndirgeme reaksiyon süresi (saat)



Şekil 2.7. 1GO-K1-20-24 (a), 2GO-K1-20-24 (b) ve 4GO-K1-20-24 (c) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri



Şekil 2.8. 1GO-K2-30-24 (a), 2GO-K2-30-24 (b) ve 4GO-K2-30-24 (c) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri



Şekil 2.9. 1GO-K3-30-24 (a), 2GO-K3-30-24 (b) ve 4GO-K3-30-24 (c) numunelerine ait dijital fotoğraf görüntüleri

2.3. Karakterizasyon teknikleri

X-ışını Kırınım (XRD) Analizi: Grafit, sentezlenen GO ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit tozların karakterizasyonunda Marmara Üniversitesi-Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan XRD analizi Cu K α ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) radyasyon kaynağı ile θ - 2θ aralığı $5^\circ - 50^\circ$ arasında olarak uygulandı. Ölçümler 40 kV voltaj ve 30 mA akım değerlerinde Shimadzu marka LabX XRD 600 model cihaz ile yapıldı. Tabakalar arası mesafenin (d) hesaplanmasında eşitlik (1)'de verilen Bragg eşitliğinden yararlanılmıştır:

$$\lambda = \frac{2d \sin \theta}{n} \quad (1)$$

burada, λ kullanılan X ışını kaynağının dalgaboyu, θ Bragg açısı, d tabakalar arası mesafe ve n ise kırınım sabiti olarak verilmiştir [253].

Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi: Poliamid 6,6, grafen oksit kaplanan ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit/Poliamid 6,6 kumaşların fonksiyonel grup analizinde Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil ve Yazma Eserler Konservasyon ve Restorasyon AR-GE Merkezinde bulunan Perkin Elmer firmasına ait Spectrum Two FTIR cihazı kullanıldı. Spektrumlar $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında ATR aparatı ile gerçekleştirildi.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM): Poliamid 6,6, grafen oksit kaplanan ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit/Poliamid 6,6 kumaşların ve sentezlenen grafen oksit ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit tozların yapısal analizinde Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil ve Yazma Eserler Konservasyon ve Restorasyon AR-GE Merkezinde bulunan JEOL marka JSM-IT100 model SEM cihazı kullanıldı. Numunelere kaplama işlemi, Marmara Üniversitesi-Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Quarum marka SC7620 model kaplama cihazıyla altın/paladyum karışımı 120 s süreyle uygulandı.

Enerji Dağılım X-Işını Spektrometresi (EDXS): Sentezlenen grafen oksit, keçi boynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları indirgenmiş grafen oksit toz numunelerin; GO/PA 6,6 ve İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların elemental analizinde Çukurova Üniversitesi

Merkezi Araştırma Laboratuvarında (ÇUMERLAB) bulunan FEI marka Quanta 650 Field Emission SEM cihazının EDXS bağlantısı kullanıldı.

Termal Gravimetrik Analiz (TGA): Sentezlenen GO ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş GO toz numunelerin ısı kararlılığının kütle kaybı üzerinden belirlenmesinde kullanıldı. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÇOBİLTUM)'da yapıldı. 30-600°C sıcaklıkları arasında 5°C/dk sıcaklık artış hızında ısıtma ile 20 ml/dk N₂ akış oranında analiz gerçekleştirildi. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşların ısı kararlılığının analizinde Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında (ÇUMERLAB) bulunan Mettler Toledo marka TGA 3+ cihazı kullanıldı. Analiz, 30-600°C sıcaklıkları arasında 10°C/dk sıcaklık artış hızında ısıtma ile 40 ml/dk N₂ akış oranında gerçekleştirildi.

Renk Ölçümü: Poliamid 6,6 kumaşın, grafen oksit kaplanan ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit/Poliamid 6,6 kumaşların renk koordinatlarının belirlenmesinde Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünde bulunan Datacolor marka SF 600+ model renk ölçüm cihazı kullanıldı. Ölçümler, SI modunda SAV aparatı ile gerçekleştirildi ve renk farklılıkları D65 ışık kaynağı ve 10° gözlemci açısı değerlerine göre CIE Lab sisteminde hesaplanarak alındı. Her bir numunede 5 farklı yerden ölçüm yapıldı ve ortalama değer kullanıldı.

CIE Lab sisteminde, L* açıklık/koyuluk ifadesidir ve 0-100 arasında değerlendirilmektedir; L*= 0 ise en koyu siyah ve L*= 100 ise en parlak beyaz şeklinde ifade edilir. a* pozitif ise kırmızılığı, negatif ise yeşilliği ve b* pozitif ise sarılığı, negatif ise maviliği ifade etmektedir. a*= 0 ve b*= 0 ise nötr gri olarak ifade edilmektedir. Renk farklılığı (ΔE) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

Patlama Mukavemeti: İşlem görmemiş Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın, grafen oksit kaplanan ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit/Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşların mukavemet testi Marmara Üniversitesi-İstanbul Tekstil Araştırmaları AR&GE ve İnovasyon Merkezi (İTAM) bünyesinde bulunan SDL ATLAS firmasında ait m229 AutoBurst cihazı ile gerçekleştirildi. Tüm testler otomatik modda ve 80 mm, 50

cm² deney alanı ile yapıldı ve her bir numune 3 farklı yerden test edilerek diyafram doğrulama sonrası ortalama değer alındı. Patlama mukavemeti testi TS 393 EN ISO 13938-1 standardına göre uygulandı [254].

Sürtmeye Karşı Renk Haslığı Testi: GO/Poliamid 6,6 ve doğal toz ekstraktlar ile indirgenmiş grafen oksit/Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşların sürtmeye karşı renk haslığı testi TS EN ISO 105–X12:2016 standardına göre krokmetre ile kuru ve yaş sürtme şeklinde kumaşların ilmek çubuk ve ilmek satır yönünde uygulandı [255]. Sonuçların değerlendirilmesinde gri skala (1 en kötü- 5 en iyi) kullanıldı.

Yüzey Direnci Ölçümü: Poliamid 6,6, GO/Poliamid 6,6 ve indirgenmiş GO/Poliamid 6,6 kumaşların yüzey direnci ölçümleri 4 nokta prob tekniği ile gerçekleştirildi. Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünde bulunan direnç ölçüm düzeneği, Keithley marka 2450 model kaynakmetre ve Keithley marka 8009 model direnç test aparatından oluşmaktadır. Her bir numunede 5 farklı ölçüm yapılarak ortalama değer alındı.

Ultra Viyole (UV) Geçirgenlik Analizi: Poliamid 6,6, GO/Poliamid 6,6 ve indirgenmiş GO/Poliamid 6,6 kumaşların ultraviyole geçirgenlik özelliği Marmara Üniversitesi-İstanbul Tekstil Araştırmaları AR&GE ve İnovasyon Merkezi (İTAM) bünyesinde bulunan SDL ATLAS marka Labsphere UV geçirgenlik analiz cihazı ile UV100F yazılımı kullanılarak belirlendi. Ölçümler 290 – 400 nm dalgaboyu arasında yapıldı ve ultraviyole koruma faktörü (UPF) değeri AS/NZS 4399:1996 standardına göre belirlendi [256]. Her bir numunede 10 farklı ölçüm yapılarak ortalama değer alındı. UPF değerine göre, AS/NZS 4399 standardı koruyucu giysileri 3 kategoride sınıflandırmaktadır: UPF değeri 40-50, 50 ve üzeri mükemmel, UPF değeri 25-39 arasında ise çok iyi, UPF değeri 15-24 arasında ise iyi [68]. AS/NZS 4399:1996 standardına göre UPF değeri Eşitlik 2'deki gibi hesaplanmıştır:

$$UPF = \frac{\int_{290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times d_{\lambda}}{\int_{290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times d_{\lambda}} \quad (2)$$

burada, E_{λ} relatif eritemal spektral etkinlik, S_{λ} solar UV spektral ışıma, T_{λ} numunenin spektral geçirgenliği (gelen ışığın numuneden geçmesi), d_{λ} dalga boyundaki artış (nm) ve λ dalga boyu (nm) şeklinde ifade edilmektedir.

Yıkamaya karşı dayanım: Yıkama prosesi TS EN ISO 105-C09 standardı 5A prosedürüne göre uygulandı [257]. Renk ve sürtme haslığı, patlama mukavemeti, elektriksel yüzey direnci, UV koruyuculuk ve antibakteriyel aktivite gibi özelliklerin yıkama dayanımı, 1 yıkama ve 10 ardışık yıkama sonrası değerlendirildi.

Antibakteriyel Aktivite Testi: PA 6,6 çözümlü örme kumaşın, 2GO-K1-20-24, 2GO-K2-30-24, 2GO-K3-30-24 numunelerinin ve 1 yıkama sonrası 2GO-K1-20-24-Y1, 2GO-K2-30-24-Y1 ve 2GO-K3-30-24-Y1 numunelerinin Gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) ve Gram-negatif (*Escherichia coli*) bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite testi Marmara Üniversitesi Biyoloji bölümünde gerçekleştirilmiştir. Antibakteriyel aktivite belirlenmesinde 96 kuyucuklu mikrodilüsyon yöntemi kullanılmıştır. Her bir kuyucuğa 50 µl katyon ayarlı Müeller-Hinton (KAMHB) sıvı besiyeri eklenmiştir. Ardından numuneler ilave edildikten sonra ilk kuyucuktan 50 µl alınıp bir sonraki kuyucuğa aktarılmış ve böylece ½ oranında seri sulandırım yapılmıştır. Son kuyucukta 50 µl alınıp dışarı atılmıştır. Daha sonra, bir gecelik katı kültürde hazırlanan *S. aureus* ve *E. coli* suşu KAMHB besiyerinde McFarland 0,5 bulanıklık standartına uygun olarak hazırlanmış ve 50 µl tüm kuyucuklara (blank hariç) eklenmiştir. Ardından bütün plakalar multimod mikropilaka okuyucu ile 450 ve 600 nm aralığında 18 saat boyunca her 15 dakikada bir okunmuştur. Böylelikle numunelerin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* suşu üzerine antimikrobiyal aktivitesi belirlenmiştir. Test 3 kez tekrarlanmıştır.

2.4. İstatistiksel analiz

Elde edilen sonuçların yorumlanmasında genel davranışın yanı sıra, Poliamid 6,6 çözümlü örme kumaşa uygulanan farklı konsantrasyonlarda GO kaplama, keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenme işlemleri sonrasında patlama mukavemetinde, patlama geriliminde ve UV koruyuculuk özelliğinde ortaya çıkan etkilerin istatistiksel değerlendirmesi de yapılmıştır. İstatistiksel analiz yöntemi olarak; patlama mukavemeti ve patlama gerilimi sonuçlarının değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve UPF sonuçlarının değerlendirilmesinde regresyon ve korelasyon analizi uygulanmıştır. İstatistiksel analiz uygulamalarında %95 güvenlik düzeyi ve $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyi esas alınmıştır. Ayrıca, patlama mukavemeti, patlama gerilimi, yüzey direnci, UV geçirgenlik ve UPF sonuçlarında standart sapma oranları hata çubukları olarak ilgili şekillerde verilmiştir.

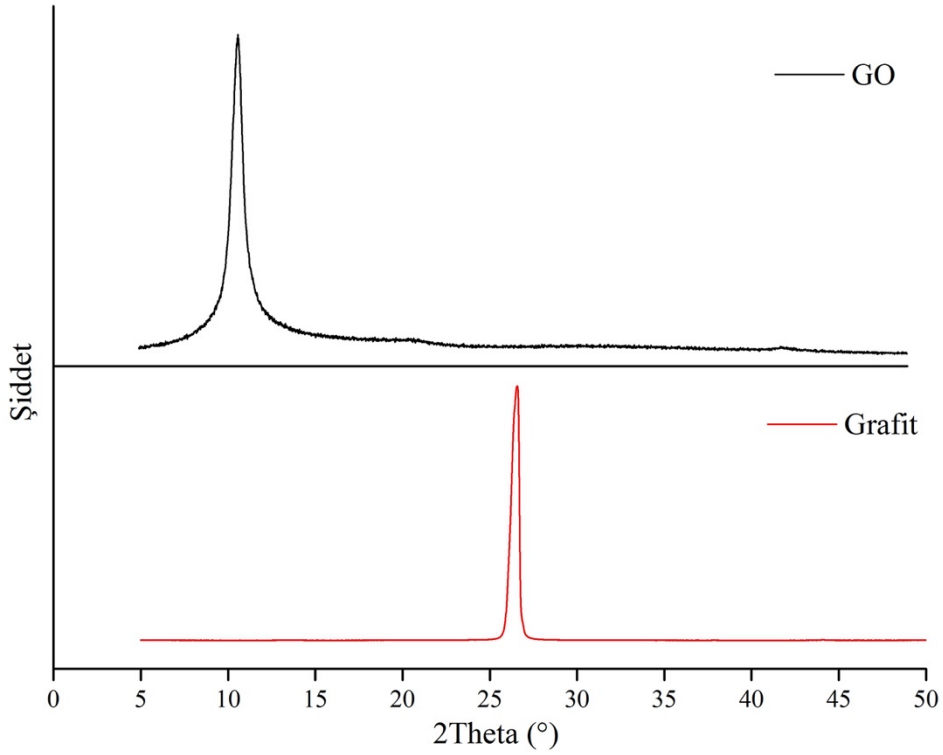
BÖLÜM III

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sentezlenen grafen oksitin karakterizasyonu

3.1.1. XRD analizi

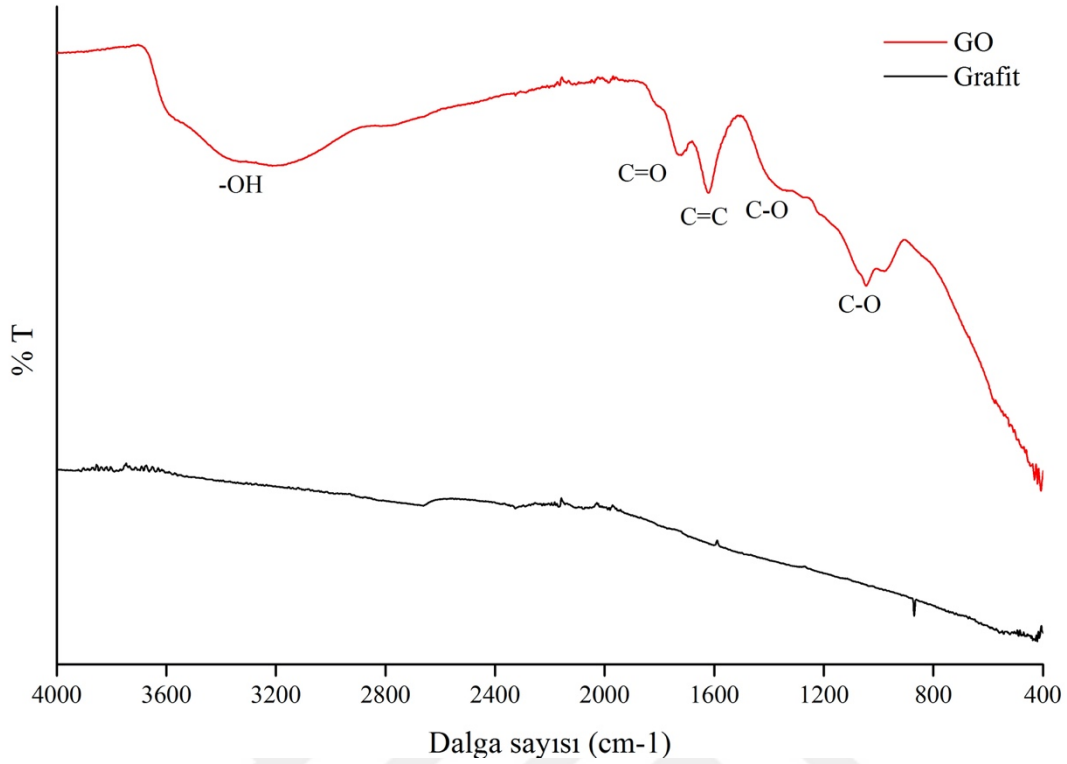
Grafitten kimyasal oksidasyon yöntemiyle sentezlenen GO'nun yapısının karakterizasyonu için XRD analizi yapıldı ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.1'de verildi. Grafit partiküle ait spektrada $2\theta=26.5^\circ$ 'de kuvvetli ve keskin bir pik görülmektedir. Sentezlenen GO spektrası incelendiğinde ise $2\theta=10.8^\circ$ 'de belirgin bir pik olduğu görülmektedir. Grafit partikülde tabakalar arası mesafe $d=0.34$ nm olarak hesaplanırken GO'da bu değer $d=0.82$ nm olarak elde edilmiştir. Buradan, sentezlenen GO'da tabakalar arası mesafenin grafit partikülden daha yüksek olduğu, oksidasyon reaksiyonun tamamlanarak grafitin sıkıştırılmış katmanları arasındaki mesafenin açıldığı ve dolayısıyla GO tabakalarda hidroksil, epoksi, karbonil ve karboksil gibi oksijen içerikli fonksiyonel grupların varlığı anlaşılmaktadır. GO'ya ait spektrada belirgin başka bir pikin olmaması da grafitin oksidasyon reaksiyonlarıyla GO'ya başarılı bir şekilde dönüştürüldüğünü göstermektedir [253, 258-260]. Ayrıca, Şekil 3.1'de sentezlenen GO'nun kristal yapısı da anlaşılabilmektedir. Grafit spektrasına ait pik keskin ve dar olması kristalit boyutunun büyük olduğunu gösterirken, GO'ya ait pikin daha geniş olduğu görülmektedir, dolayısıyla küçük kristalit boyuta sahip olduğunu göstermektedir. Buradan, grafitin kristal yapısının kimyasal oksidasyon reaksiyonlarıyla bozulduğu ve GO oluşumuyla düzensiz bir yapının elde edildiği anlaşılmaktadır [261].



Şekil 3.1. Grafite ve sentezlenen GO'ya ait XRD spektrası

3.1.2. FTIR analizi

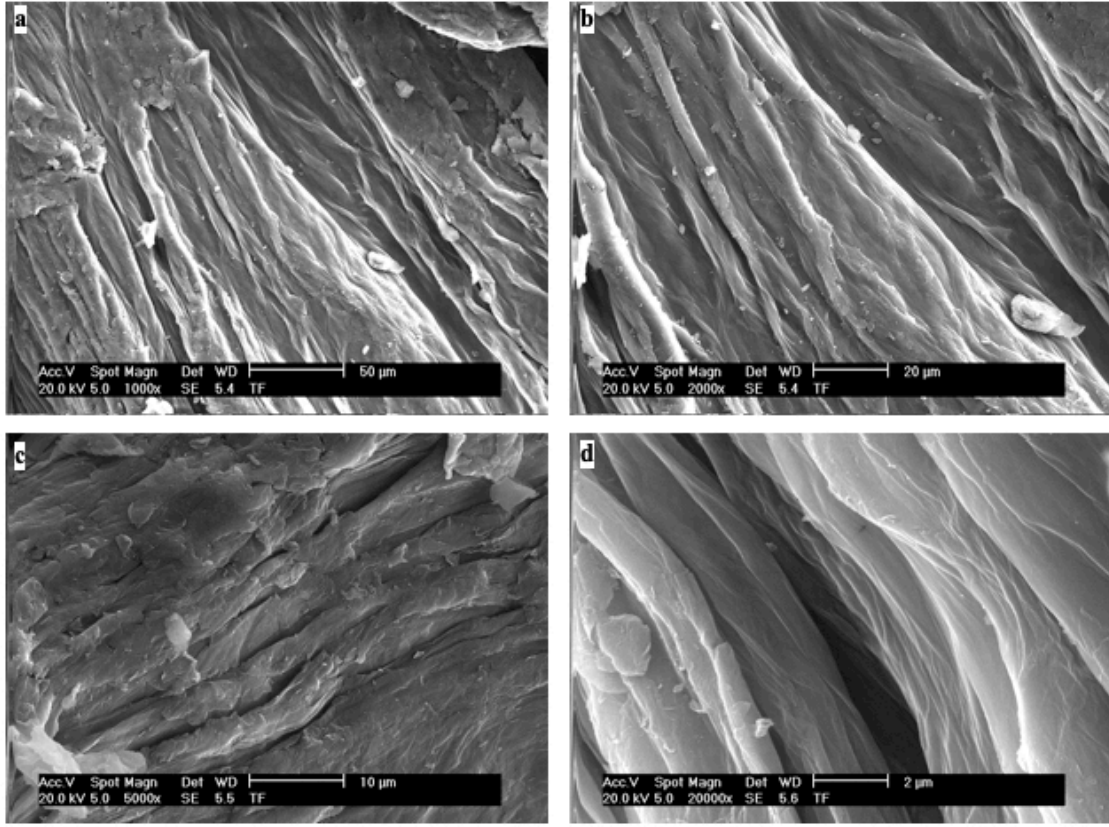
Sentezlenen GO'ya ait fonksiyonel gruplar FTIR-ATR spektroskopisi ile analiz edildi ve ilgili spektra Şekil 3.2'de verildi. Burada, GO'ya ait karakteristik pikler görülmektedir. 1728 cm^{-1} 'de, karboksil ya da karbonil moleküllerin C=O esneme titreşimleri, 1619 cm^{-1} 'de GO'da adsorplanan su moleküllerinin OH gruplarının bükülme ve esneme titreşimleri / okside olmamış grafitik bölgelerin C=C esnemesi, 1392 cm^{-1} 'de karboksilik asite ait C-O esneme titreşimleri, 1045 cm^{-1} 'de C-O-C (epoksi) gruplarının C-O esneme titreşimleri, $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında GO'da absorplanan su molekülleri ve alkol gruplarının varlığından kaynaklı yüzey karboksilik asitin OH esneme titreşimlerine ait pikler görülmektedir [34, 253, 259, 262, 263]. Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu, grafitin kimyasal oksidasyon reaksiyonuyla GO'ya dönüşümünün gerçekleştirildiği ve elde edilen GO'nun oksijen içerikli fonksiyonel gruplara sahip olduğu anlaşılmaktadır.



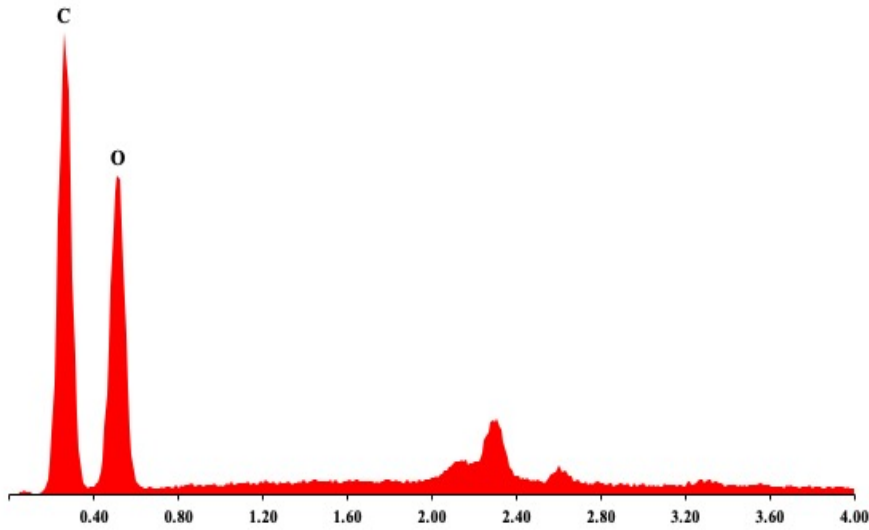
Şekil 3.2. Grafit ve sentezlenen GO'ya ait FTIR spektrası

3.1.4. SEM analizi

Geliştirilmiş Hummers yöntemiyle sentezlenen GO nanotabakalara ait SEM görüntüleri Şekil 3.3'te verildi. Sentezlenen GO nanotabakaların dalgalı, buruşmuş ve kabarık bir yapıda olduğu görülmektedir. Buradan grafen tabakalar arasında oksijen atomlarının eklendiği ve yüksek oranda oksijen içermesinden dolayı GO katmanların belirgin ve kabarık olduğu, ayrıca GO tabaka boyutunun geniş olduğu anlaşılmaktadır [38]. Şekil 3.4'te sentezlenen GO nanotabakaların EDX spektrumu verildi. Elementel analiz sonucuna göre sentezlenen GO'nun C/O oranı 1.15 olarak bulunmuştur.



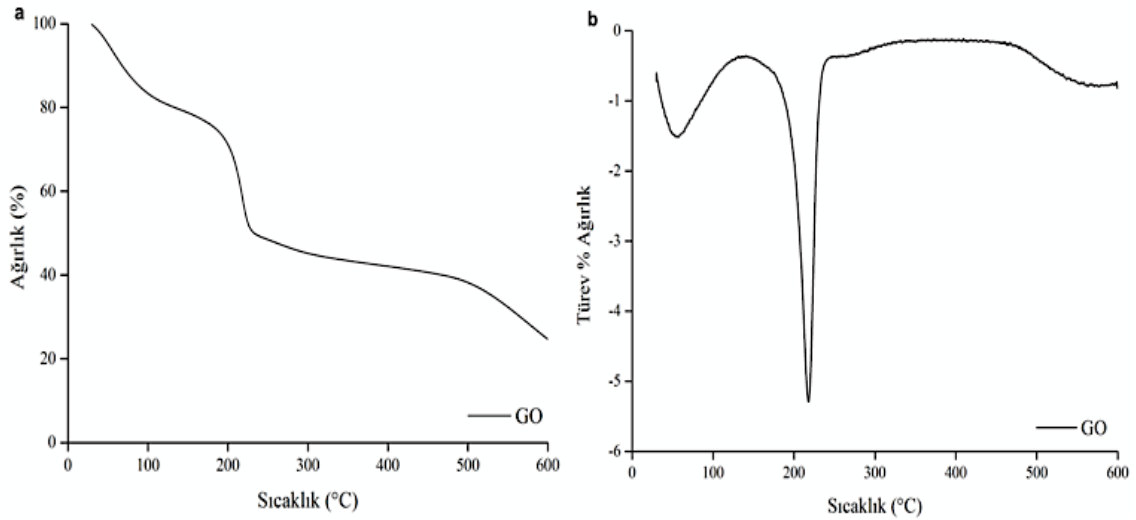
Şekil 3.3. Sentezlenen GO'ya ait SEM görüntüleri (a) 1000x, (b) 2000x, (c) 5000x, (d) 20000x.



Şekil 3.4. Sentezlenen GO'ya ait EDX spektrumu

3.1.5. TGA analizi

Geliştirilmiş Hummers yöntemiyle sentezlenen GO'nun termal dayanımına ait TGA analiz sonucu Şekil 3.5'te verildi. GO'nun termal davranışı incelendiğinde, 100°C sıcaklığa kadar bir miktar kütle kaybı olduğu görülmektedir. Hidrofilik yapıda olan GO'nun bünyesindeki adsorplanan su moleküllerinin uzaklaşmasıyla 56°C civarında kütle kaybına uğramaktadır. En belirgin ve hızlı kütle kaybı ise 170-230°C aralığında gerçekleşmiştir. Şekil 3.5(b)'de verilen türev grafiği incelendiğinde ise maksimum kütle kaybının meydana geldiği sıcaklığın 218°C olduğu görülmektedir. Buradan, GO'nun yapısında bulunan karboksil ya da hidroksil grupları gibi daha az kararlı olan oksijen içerikli fonksiyonel grupların bozunduğu anlaşılmaktadır [30, 258, 264]. Bu kararsız oksijen içerikli fonksiyonel grupların pirolizi esnasında açığa CO, CO₂ ve su buharı çıkmaktadır [260, 265, 266]. 230-600°C arasında ise daha az oranda bir kütle kaybı olduğu ve burada karbonil gibi daha kararlı yapıdaki oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştığı görülmektedir [260]. 600°C sonunda meydana gelen toplam kütle kaybı %75.23 olarak hesaplandı.

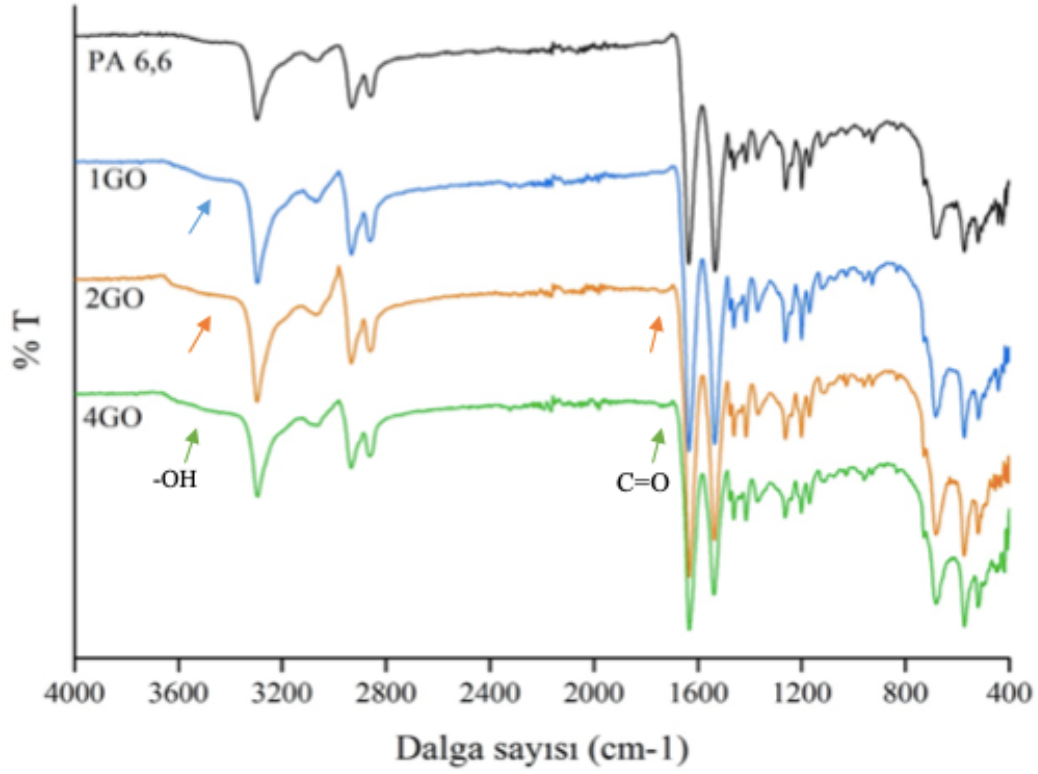


Şekil 3.5. Sentezlenen GO'ya ait TGA (a) ve türev (b) eğrisi

3.2. GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın özelliklerinin değerlendirilmesi

3.2.1. FTIR analizi

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın kimyasal bağ karakterizasyonu ATR-FTIR spektroskopisi ile gerçekleştirildi ve elde edilen spektrum Şekil 3.6'da verildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait spektrum incelendiğinde, 926 cm^{-1} 'de amorf fazdaki amid esneme titreşimleri [267], 954 cm^{-1} 'de kristalin faza ait titreşimler [268], 1118 cm^{-1} 'de C-C ve 1197 cm^{-1} 'de C-O esnemesi [269], 1260 cm^{-1} 'de N-H bükülme titreşimi ve C-N esneme titreşimi (amid III), 1368 cm^{-1} 'de C-N esnemesi, 1459 cm^{-1} , 1413 cm^{-1} ve 1473 cm^{-1} CH_2 makaslama titreşimleri [270], 1534 cm^{-1} 'de N-H bükülme titreşimi ve C-N esneme titreşimi (amid II), 1635 cm^{-1} C=O esneme titreşimleri (amid I), 2855 cm^{-1} ve 2931 cm^{-1} 'de CH_2 asimetric ve simetric esneme titreşimleri [271, 272], 3062 cm^{-1} ve 3290 cm^{-1} 'de NH esneme titreşimlerine ait pikler görülmektedir [273]. GO kaplama işlemiyle belirgin bir yeni pik oluşumu gözlenmemektedir. Ancak $1720\text{-}1740\text{ cm}^{-1}$ aralığında bir genişleme olduğu, bunun GO'ya ait karbonil ve karboksilik grupların C=O esneme titreşimlerine ait pik olduğu belirtilmektedir. 1413 cm^{-1} , 1459 cm^{-1} ve 1635 cm^{-1} 'de pik şiddetinde artış olduğu görülmektedir. 1413 cm^{-1} ve 1459 cm^{-1} 'deki artışın GO'ya ait C-O-H yapısındaki C-O esneme titreşimlerinden ve 1635 cm^{-1} 'deki artışın GO'ya ait grafitik C=C esnemesinden kaynaklandığı söylenebilir. 1368 cm^{-1} 'de görülen pik genişlemesinin ise GO'nun varlığından kaynaklı karboksilik asit grupların C-O esneme titreşimlerinden olduğu ifade edilebilir. Ayrıca, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ aralığında pik genişlemesi olduğu, bunun GO'da bulunan su moleküllerinden kaynaklandığı ifade edilmektedir [81].



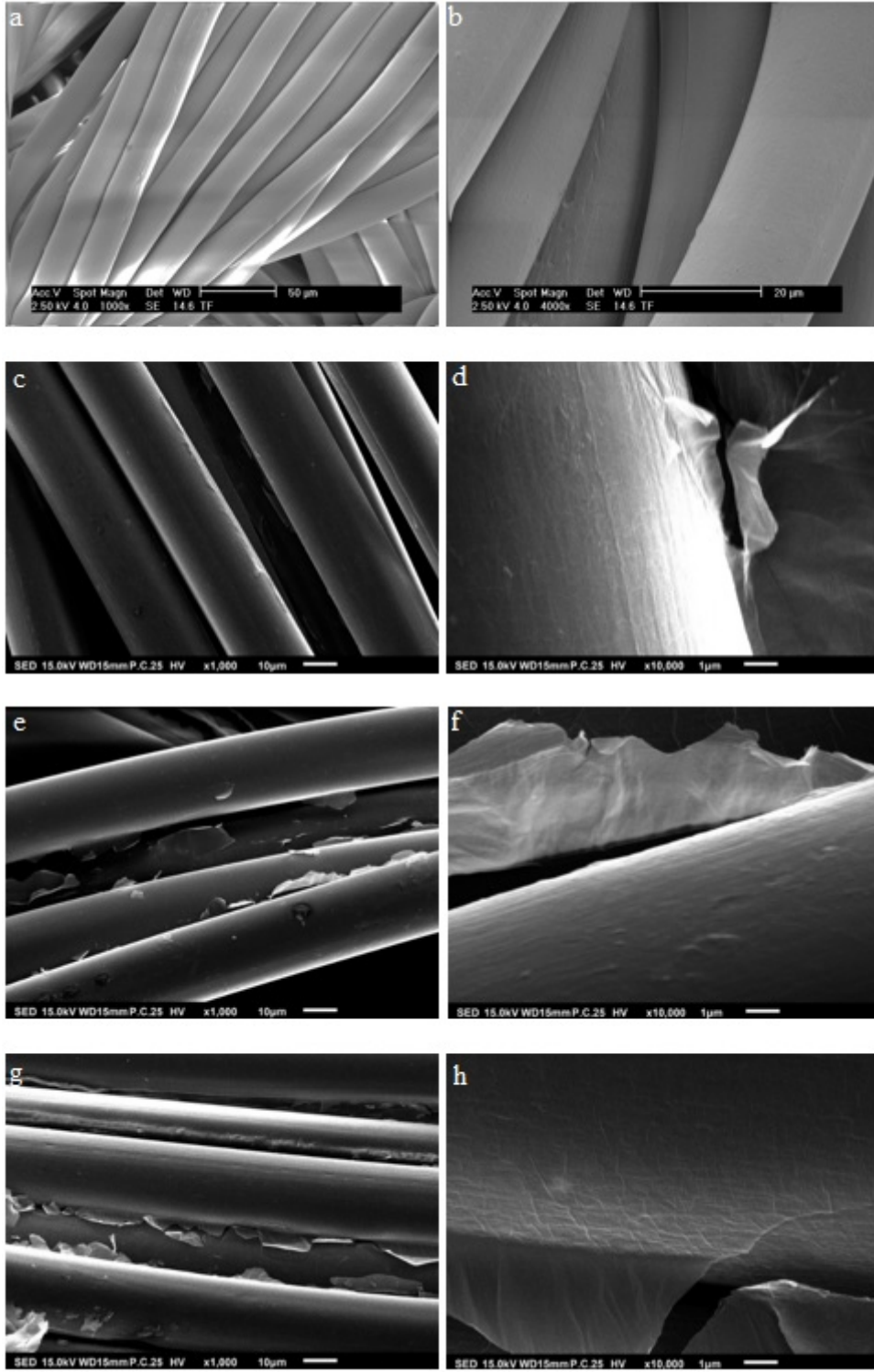
Şekil 3.6. Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanmış olan Poliamid 6,6 kumaşa ait FTIR spektrası

3.2.2. SEM analizi

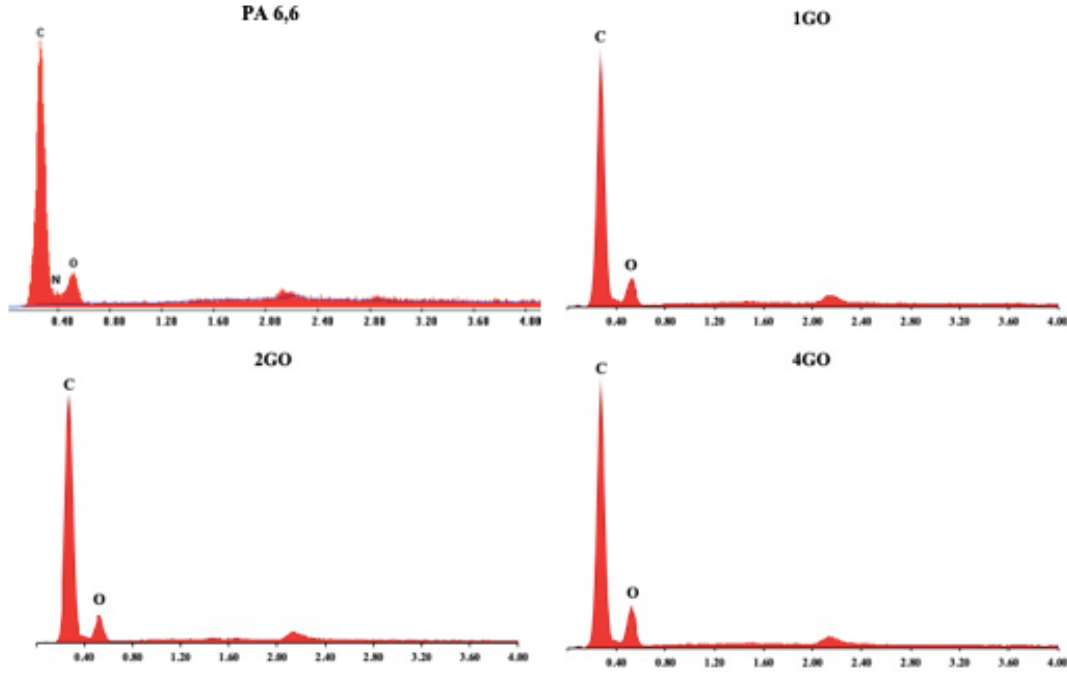
Şekil 3.7’de PA 6,6 kumaşın GO ile kaplamadan öncesi ve farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplamadan sonrasına ait farklı büyütme oranlarındaki elektron mikroskop görüntüleri verildi. SEM görüntüleri ile kumaşın GO kaplama öncesi ve sonrasına ait yüzey özellikleri incelenebilmektedir. Buna göre Şekil 3.7 (a) ve (b)’de PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait görüntüler incelendiğinde, kumaşı oluşturan filamentlerin düzgün ve pürüzsüz bir yapıda olduğu ve filamentler arasında boşlukların bulunduğu görülmektedir. Şekil 3.7 (c) ve (d) incelendiğinde, 1 g/L GO ile 3 kez kaplanmış PA 6,6 kumaşta filamentlerin 1000x büyütmede düzgün ve pürüzsüz yüzeye sahip olduğu görülmektedir, ancak 10000x büyütme oranında filamentlerin ince bir katman GO tabaka ile kaplandığı görülmektedir. 2 g/L ve 4 g/L GO ile 3 saat kaplanan PA 6,6 kumaşa ait görüntülerde 1000x büyütmede filamentler arasında GO tabakaların bulunduğu ve filamentler arası boşlukların dolduğu görülmektedir. GO tabakaların buruşuk ve kabarıklık yapısı filamentlerde belirgin bir şekilde görülmekte ve GO tabakaların filamentlerin üzerine tamamen sararak örttüğü

anlaşılmaktadır. Kaplama işleminde GO konsantrasyonunun artmasıyla kumaş yüzeyinde tutunan GO tabaka miktarının da arttığı buradan anlaşılmaktadır. Laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde yapılan GO kaplama uygulamasıyla PA 6,6 çözgülü örme kumaşın yüzeyinin GO tabakalar ile başarılı bir şekilde kaplandığı söylenebilir. Şekil 3.8’da PA 6,6 ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaşlara ait EDX spektrumu ve Tablo 3.1’de elementel analiz sonuçları verildi. Buradan, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın GO ile kaplanmasıyla oksijen oranında artış olduğu görülmektedir. GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla oksijen oranının da arttığı belirgindir.





Şekil 3.7. Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanmış olan poliamid 6,6 kumaşa ait 1000x ve 10000x büyütmelerde SEM görüntüleri, (a, b) PA 6,6; (c, d) 1GO; (e, f) 2GO; (g, h) 4GO.



Şekil 3.8. PA 6,6 ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşlara ait EDX spektrumları

Tablo 3.1. PA 6,6 ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların elemental analiz sonuçları

Numune	C (Atomik %)	O (Atomik %)	C/O (Atomik %)
PA 6,6	70.67	13.20	5.353
1GO	62.53	17.89	3.495
2GO	61.72	18.37	3.359
4GO	61	21.74	2.805

3.2.3. Renk ölçüm sonuçları

Renk koordinatlarının ve renk farklılığının belirlenmesi, PA 6,6 kumaşta GO ile kaplama işlemleriyle oluşan renk değişimlerinin anlaşılmasında önemli bir analiz tekniğidir. PA 6,6 kumaşa ve farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları Tablo 3.2’de verildi. PA 6,6 kumaşın renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, L^* değerinin oldukça yüksek olduğu, kumaşın parlaklığının fazla olduğu ve a^* ve b^* değerlerinin de oldukça düşük sıfıra yakın olduğu görülmektedir. 1 g/L GO ile kaplama işleminden sonra PA 6,6 kumaşta L^* değerinde belirgin bir düşüş olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca a^* ve b^* değerlerinin pozitif yönde arttığı, a^* değerinin bir miktar pozitif yönde artmasıyla kırmızılığın ve özellikle b^* değerindeki artışın fazla olması

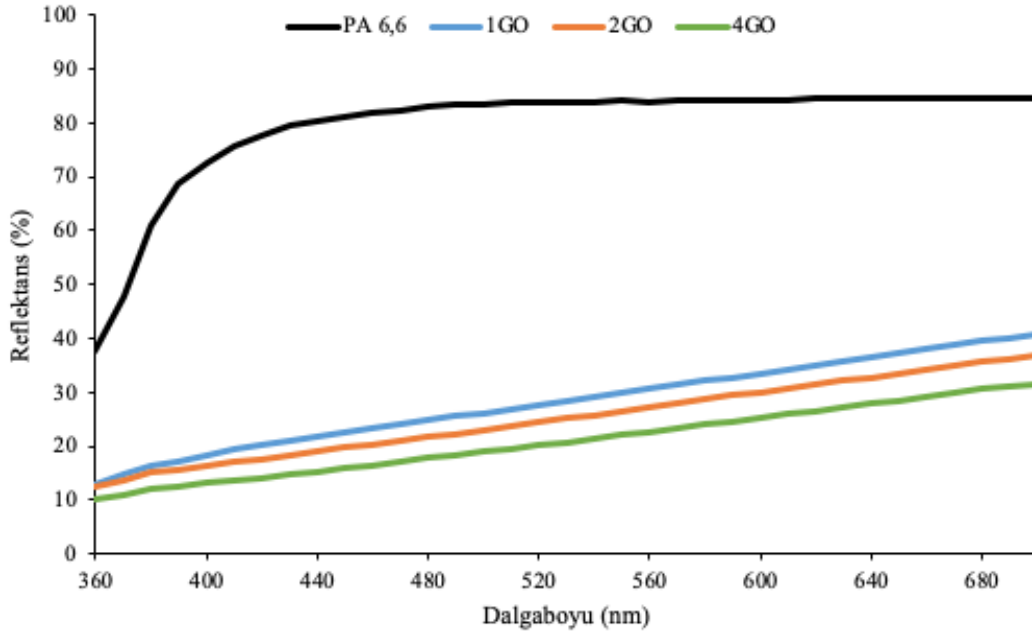
kumaşta sarı rengin olduğunu göstermektedir. C* ve h değerleri incelendiğinde ise, C* değerinde belirgin artış olduğu, renk doygunluğunun bir miktar arttığı ve h açısındaki düşüş ile nüansın açık kahverengi tonlarında olduğu anlaşılmaktadır. GO konsantrasyonunun artmasıyla kumaşta L* değerinin azaldığı ve koyuluğun arttığı görülmektedir. a*, b* ve C* değerleri de GO konsantrasyonu ile artmış ve h açısı azalmıştır. Buradan GO konsantrasyonunun artmasıyla kumaş üzerindeki GO tabaka miktarının arttığı anlaşılmaktadır. PA 6,6 kumaş ile GO kaplanan PA 6,6 kumaşlar arasında renk farkı (ΔE) sonuçları da bunu doğrulamaktadır. 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaş ile 1 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın ΔE değerlerine bakıldığında belirgin bir renk farklılığı olduğu Tablo 3.2’den görülmektedir.

Tablo 3.2. Poliamid 6,6 kumaş ve grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
PA 6,6	93.39	-0.64	2.18	2.28	106.42	79.19	83.87	86.92	0.32	0.34	-
1GO	61.61	3.22	11.87	12.30	74.25	29.22	29.95	24.32	0.35	0.36	33.453
2GO	58.62	3.51	11.94	12.45	73.61	26.07	26.62	21.33	0.35	0.36	36.356
4GO	54.17	3.77	12.23	12.8	72.85	21.79	22.14	17.26	0.36	0.36	40.726

PA 6,6 kumaşın ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın 360-700 nm dalga boyu aralığında gerçekleştirilen reflektans ölçüm sonuçlarına ait grafik Şekil 3.9’da verildi. PA 6,6 kumaşın reflektans eğrisi incelendiğinde, yüksek oranda reflektans değerine sahip olduğu görülmektedir. PA 6,6 kumaşın görünür bölgede tüm dalga boylarında gelen ışığı yaklaşık olarak %80-84 oranında yansıttığı ve tüm dalgaboylarında belirgin bir pik oluşturmada doğrusal bir şekilde grafiğin elde edilmesi kumaşın beyaz renge sahip olduğu göstermektedir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplı PA 6,6 kumaşların reflektans değerlerinin düştüğü görülmektedir. Görünür bölgede artan dalgaboylarında belirgin bir pik oluşturmada, grafiğin artma eğiliminde olduğu söylenebilir. Ayrıca, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla reflektans değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır. GO/PA 6,6 kumaşların gelen ışığı büyük oranda absorpladığı, bu yüzden de kumaş renginin koyu tonlarda olduğu anlaşılmaktadır. GO/PA 6,6 kumaşların reflektans eğrisinin 550-700 nm arasında artış gösterdiği ve 560-590 nm arasında sarı bölgede, 590-

620 nm arasında turuncu bölgede ve 620-700 nm arasında kırmızı bölgede yansıtmanın arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.9. Poliamid 6,6 (a) ve 1GO (b), 2GO (c) ve 4GO (d) kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşa ait reflektans grafiği

3.2.4. Sürtmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi

Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın sürtmeye karşı renk haslığı testi, kumaşın yüzeyine fiziksel olarak tutunan GO tabakaların dayanımının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirildi ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.3'te verildi. Sürtmeye karşı renk haslığı sonuçlarına göre, genel olarak GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kuru sürtmeye ve yağ sürtmeye karşı renk dayanımında farklılık olduğu anlaşılmaktadır. GO konsantrasyonundan bağımsız olarak, GO kaplanan PA 6,6 kumaşın renk dayanımının kuru sürtmeye koşullarında daha iyi olduğu söylenebilir. GO konsantrasyonuna bağlı olarak değerlendirildiğinde ise hem kuru sürtmeye hem de yağ sürtmeye koşullarında renk dayanımının GO konsantrasyonunun artmasıyla kötüleştiği ve refakat bezindeki lekelemenin arttığı anlaşılmaktadır. Özellikle yağ sürtmeye koşullarında 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın renk haslığının kötü olarak değerlendirildiği söylenebilir. Bu sonuçlara dayanarak, PA 6,6 kumaşa laboratuvar tipi Jigger boyama makinesiyle yapılan GO

kaplama uygulamasıyla GO tabakaların kumaş yüzeyine fiziksel olarak tutunduğu ifade edilebilir.

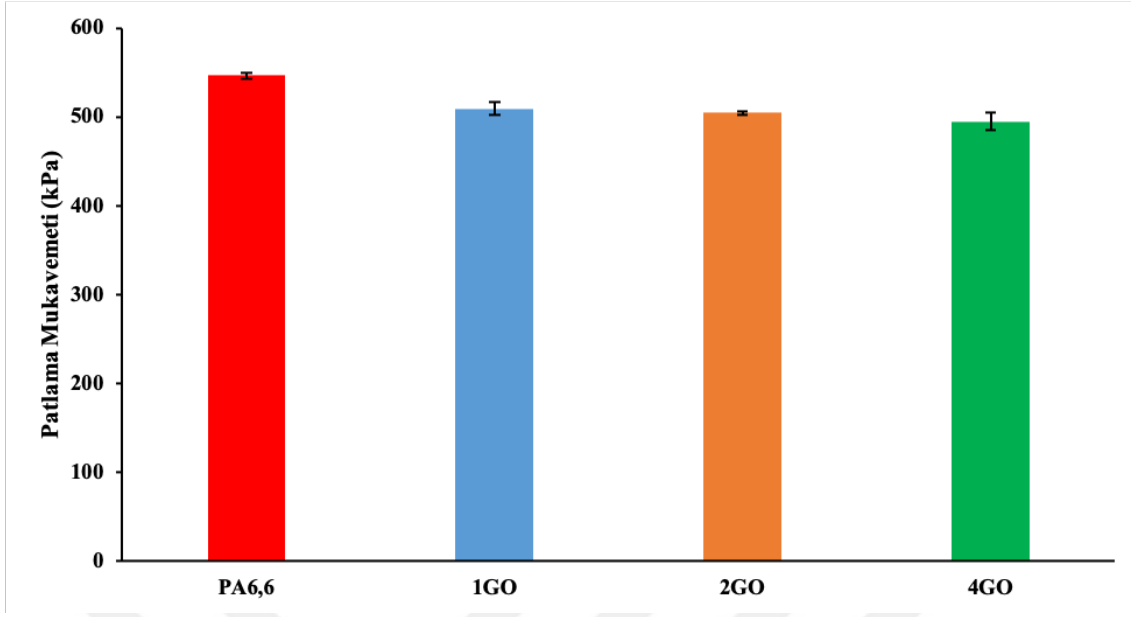
Tablo 3.3. Grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Kumaş test yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
1GO	Çubuk yönü	4	2 – 3
	Satır yönü	4	2 - 3
2GO	Çubuk yönü	3 - 4	2
	Satır yönü	3 - 4	2
4GO	Çubuk yönü	3 – 4	2
	Satır yönü	3	1 - 2

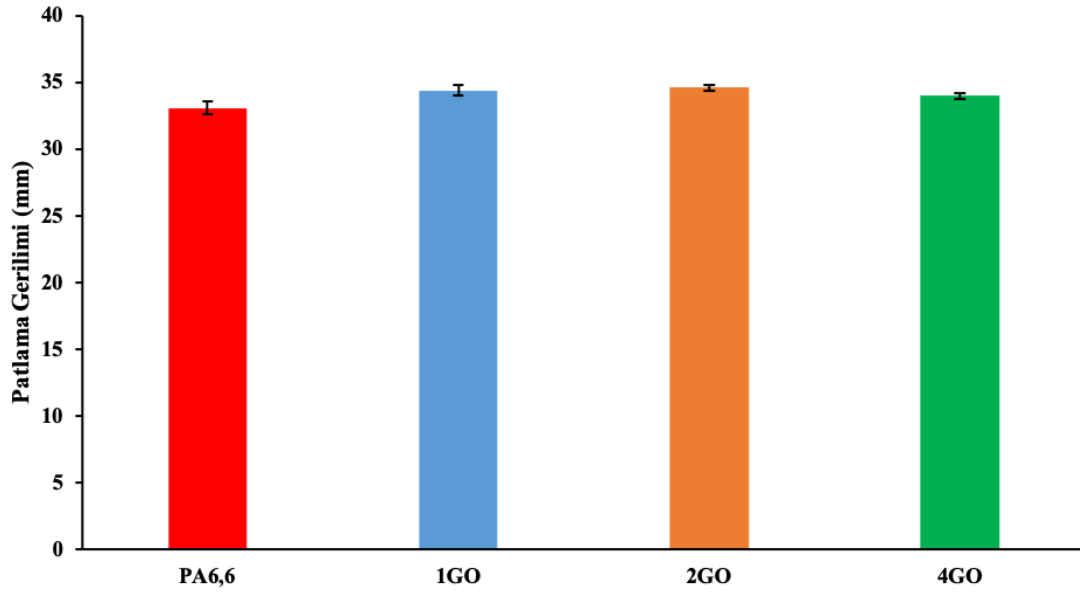
3.2.5. Patlama mukavemeti sonuçları

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları Şekil 3.10’da verildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti 546.5 kPa olarak elde edildi. GO kaplama işlemiyle PA 6,6 kumaşın mukavemetinde düşüş olduğu görülmektedir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın mukavemet değerleri, sırasıyla, 509.3, 504.2 ve 494.9 kPa olarak elde edildi. Şekil 3.11’de PA 6,6 ve GO kaplanan PA 6,6 kumaşlara ait patlama gerilimi sonuçları verilmiştir. Patlama gerilimi patlama basıncında kumaşın genişlemesi olarak tanımlanır ve patlama anında diyafram düzeltmesinden sonraki diyafram yüksekliği olarak verilir. Örme kumaşların uzama kabiliyeti, çok eksenli kuvvetler altında yüksekliğin mm olarak verildiği önemli bir parametredir [274, 275]. Patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, en düşük gerilim değeri 33.1 mm olarak PA 6,6 çözgülü örme kumaşa elde edildiği görülmektedir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın patlama gerilimi, sırasıyla, 34.4, 34.6 ve 34 mm olarak elde edildi. Patlama mukavemeti sonuçları ve patlama gerilimi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, PA 6,6 çözgülü örme kumaşa mukavemetin yüksek ve patlama geriliminin ya da patlama anındaki yüksekliğin düşük olduğu görülmektedir. 1 g/L GO kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaşa mukavemetin düştüğü ve patlama anındaki yüksekliğin arttığı görülmektedir. Kumaş yüzeyine kaplanan GO tabakalar, SEM görüntülerinden görüldüğü gibi filamentler arasındaki boşlukları kapatarak, filamentlerin ve ipliklerin hareketini azaltır. Bu durum

kumaşın, patlayana kadar çok eksenli kuvvetlere karşı daha az tepki vermesine neden olur. Bundan dolayı da, GO kaplanan kumaşın patlama mukavemetinde düşüşe neden olmaktadır. Filamentler arasındaki boşlukların GO tabakalarla kapanması kumaşın patlama anına kadar daha fazla genişlemesine neden olur; bu da patlama yüksekliğinin yani patlama geriliminin artmasıyla sonuçlanmaktadır. PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ve GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşa ait kalınlık ölçümü sonuçları Tablo 3.4’te verildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kalınlığının kaplama işlemindeki GO konsantrasyonunun artmasıyla arttığı görülmektedir. Buradan, kumaş kalınlığının artmasıyla kumaş yüzeyinde daha fazla GO tabaka biriktiği anlaşılmaktadır. Bu sebeple, kumaş tutumunun sertleştiği ve mukavemetin olumsuz etkilendiği söylenebilir. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 1), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:39.349 > F_{tablo}:4.066$). Buradan, GO kaplama işleminin PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetini etkilediği söylenebilir. GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 2), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:3.308 < F_{tablo}:5.143$). Buradan ise, farklı konsantrasyonlarda GO kaplama işleminin GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetini etkilemediği söylenebilir. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 3), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:9.993 > F_{tablo}:4.066$). GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 4), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:4.177 < F_{tablo}:5.143$). Buna göre, GO kaplama uygulaması PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama gerilimini etkilememektedir; ancak, farklı konsantrasyonlarda GO kaplama işlemi GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama gerilimini etkilememektedir.



Şekil 3.10. Poliamid 6,6 kumaş ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları



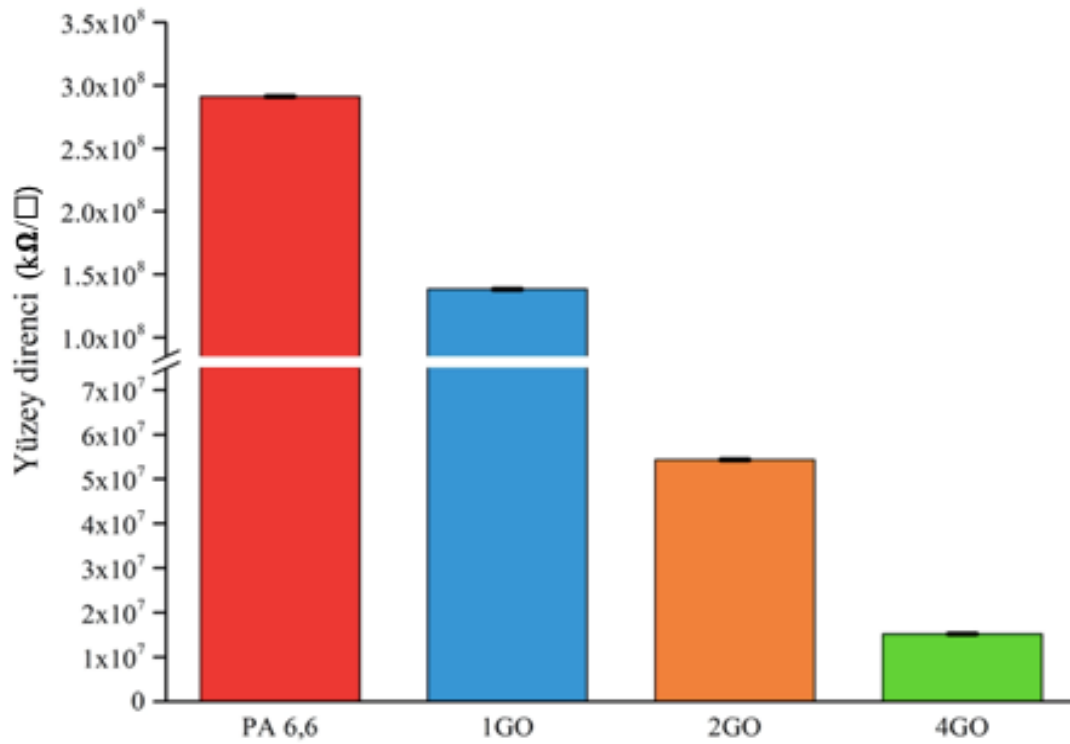
Şekil 3.11. Poliamid 6,6 kumaş ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti gerilimi sonuçları

Tablo 3.4. Poliamid 6,6 kumaş ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait kalınlık ölçüm sonuçları

Numune	Kalınlık (mm)
PA 6,6	0.420
1GO	0.427
2GO	0.430
4GO	0.440

3.2.6. Yüzey direnci ölçüm sonuçları

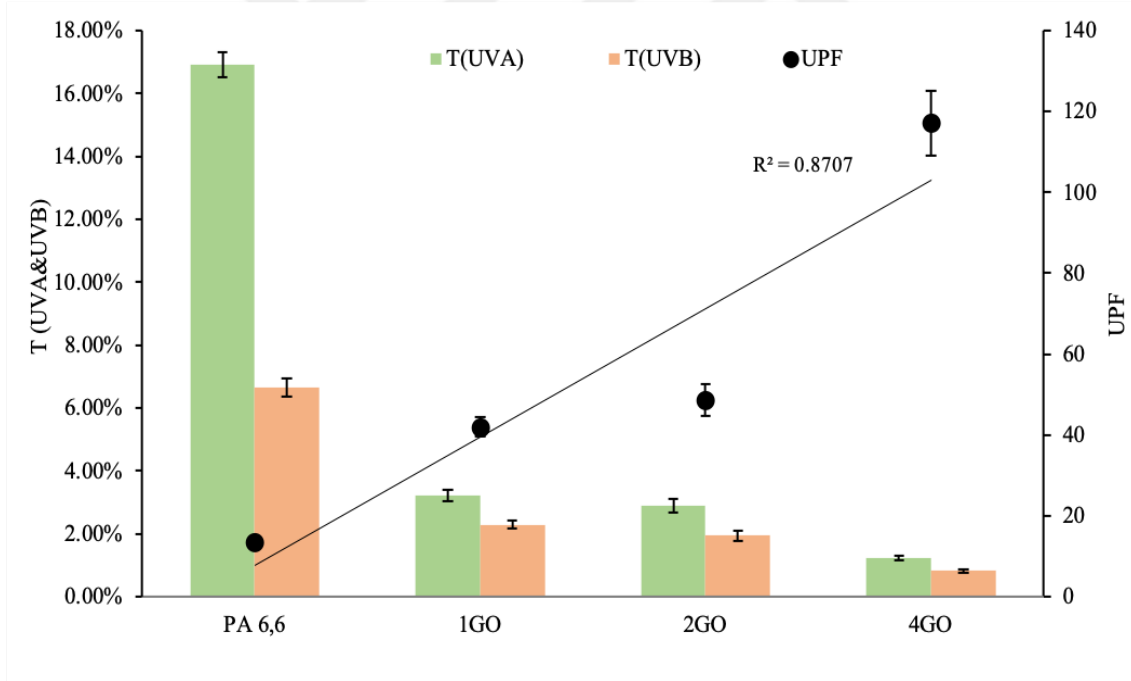
Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın elektriksel yüzey direnci ölçüm sonuçları Şekil 3.12’de verilmiştir. Tekstil yüzeyleri doğal olarak yalıtkan malzemelerdir ve elektriği iletmezler. PA 6,6 kumaşın yüzey direnci $2.91 \times 10^8 \text{ k}\Omega/\square$ olarak hesaplandı. GO yapısında oksijen içerikli fonksiyonel grupların varlığından dolayı elektriksel olarak iletken özellik göstermemektedir [92, 141]. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın elektriksel yüzey direnci, sırasıyla, 1.38×10^8 , 5.44×10^7 ve $1.52 \times 10^7 \text{ k}\Omega/\square$ olarak hesaplandı.



Şekil 3.12. PA 6,6 ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları

3.2.7. UV geçirgenlik analizi

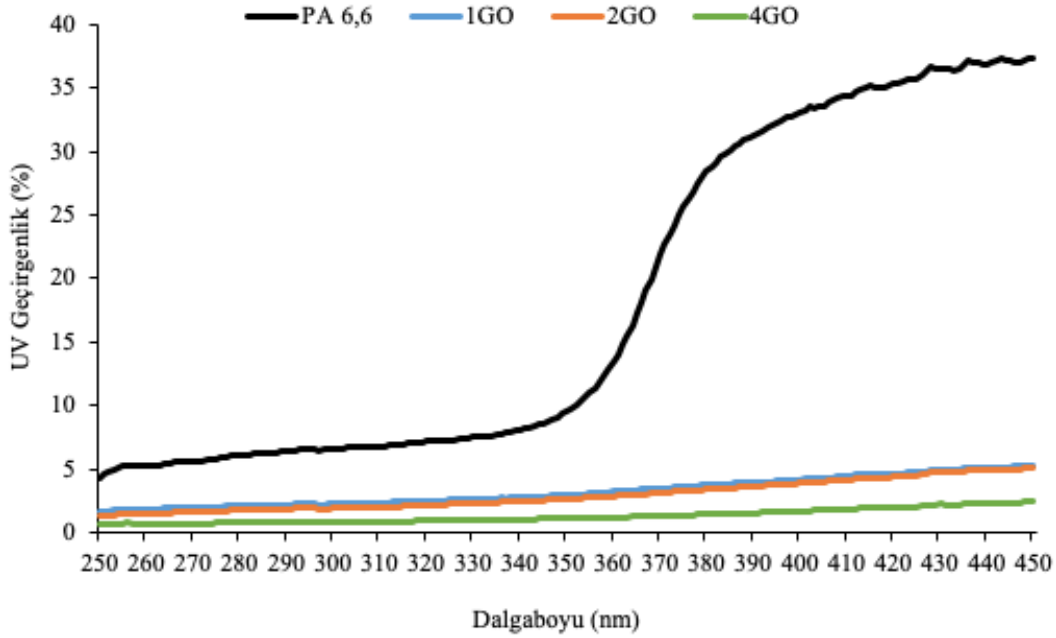
PA 6,6 çözgülu örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verildi. PA 6,6 çözgülu örme kumaşın UV ışınları geçirgenliğinin oldukça yüksek olduğu ve UPF değerinin düşük olduğu görülmektedir. Özellikle UVA ışınlarını daha yüksek oranda geçirdiği anlaşılmaktadır. PA 6,6 çözgülu örme kumaşın UPF değeri 13.42 olarak hesaplandı ve buradan $UPF < 50$ olduğundan koruyucu özellik göstermediği söylenebilir. Kumaşın 1g/L GO ile kaplanmasıyla UV geçirgenlik ve koruyuculuk özelliğinde belirgin bir farklılık olduğu görülmektedir. En yüksek UPF değeri 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 çözgülu örme kumaşta 117.14 olarak elde edildi ve buna karşılık UV geçirgenlik değerinde belirgin bir düşüş olduğu görülmektedir. UPF sonuçlarının regresyon katsayısı $R^2=0.8707$ olarak hesaplanmıştır. Buradan, UPF değerinin GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı söylenebilir.



Şekil 3.13. PA 6,6 ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları

Şekil 3.14'te verilen UV geçirgenlik-Dalgaboyu grafiği incelendiğinde PA 6,6 kumaşın UVB bölgede (290-320 nm) daha düşük geçirgenliğe sahip olduğu ve UVA bölgede (320-400 nm) geçirgenliğinin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO

kaplanan PA 6,6 kumaşların ise genel olarak daha düşük UV geçirgenliğe sahip olduğu ancak UVA bölgede geçirgenliğin bir miktar artış eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır.



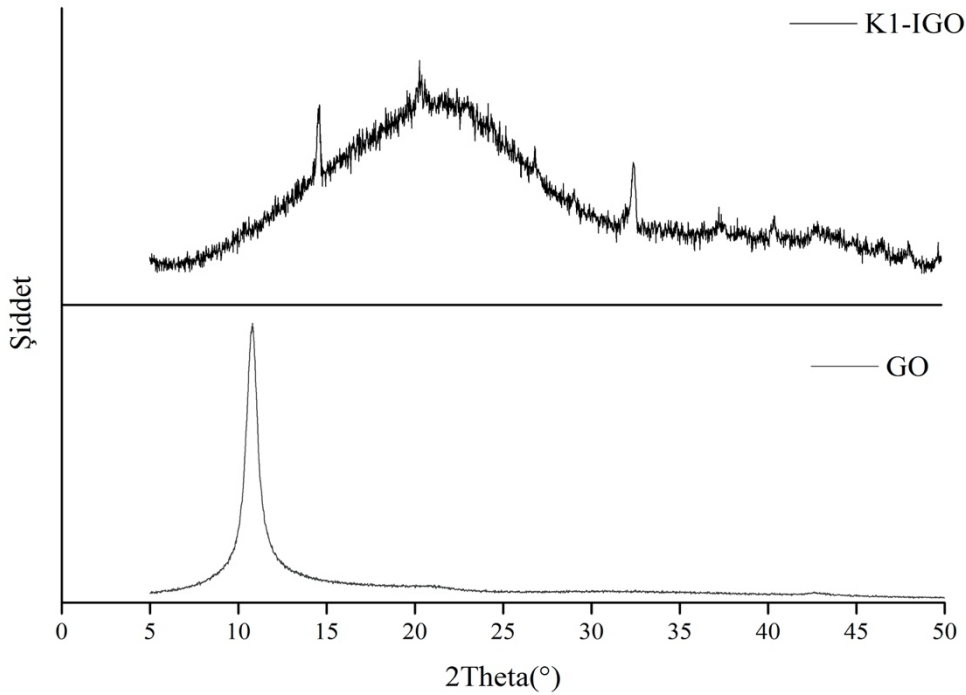
Şekil 3.14. PA 6,6 ve GO kaplı PA 6,6 kumaşa ait UV geçirgenlik sonuçları

3.3. GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın çevre dostu ekstraktlar ile indirgenmesinin değerlendirilmesi

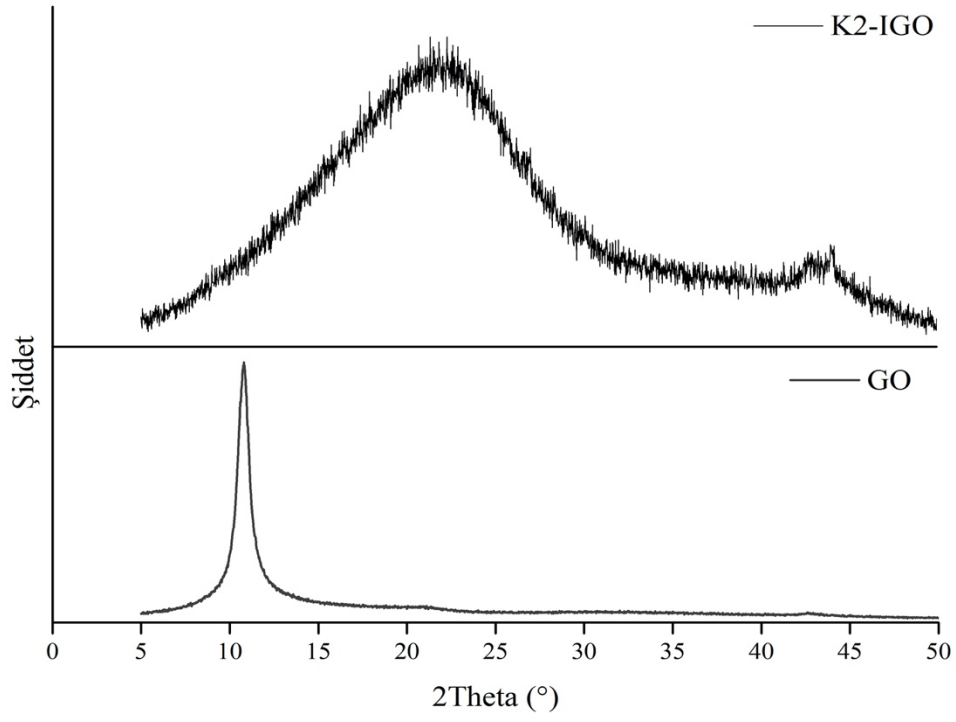
3.3.1. XRD analizi

Geliştirilmiş Hummers yöntemiyle sentezlenen GO ile kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaşa indirgeme uygulamaları öncesinde, GO nanotabakaların çevre dostu indirgeme maddesi kullanılarak indirgenmesi gerçekleştirildi. Toz halde GO'nun keçiboynuzu ekstraktı, kuşburnu ekstraktı ve karanfil ekstraktı ile kütlece %30 indirgeme çözeltisi konsantrasyonu ve 24 saat indirgenme süresi koşullarında yapılan işlem sonucunda elde edilen İGO nanotabakaların karakterizasyonu XRD ile gerçekleştirildi ve elde edilen spektrum sırasıyla, Şekil 3.15, 3.16 ve 3.17'de verildi. Sentezlenen GO'da $2\theta=10.8^\circ$ 'de pik oluştuğu ve tabakalar arası mesafenin $d=0.82$ nm olduğu belirtilmişti. Şekil 3.15'te keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenme sonrası elde edilen toz İGO'da $2\theta_{K1}=20.34^\circ$ 'de belirgin pik oluştuğu ve genel olarak pik bölgesinin genişlediği görülmektedir. Tabakalar

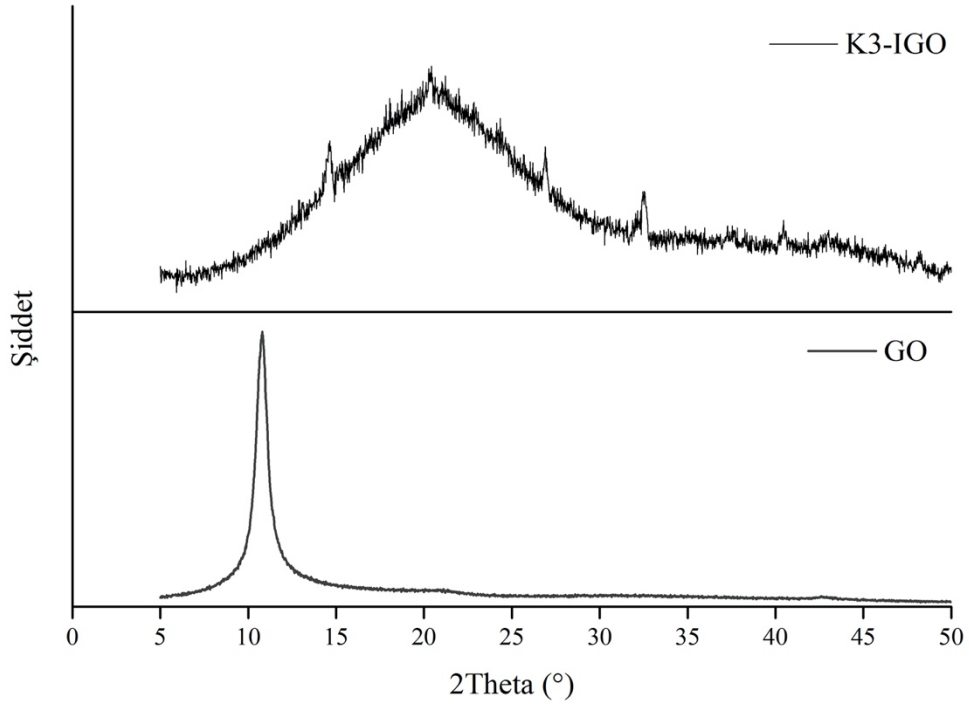
arası mesafe $d_{K1}=0.44$ nm olarak hesaplandı. Şekil 3.16’da kuşburnu ekstraktı ile indirgenme sonrası elde edilen toz İGO’da pik oluşumun $2\theta_{K2}=22.32^\circ$ ’de elde edildiği ve genel olarak pik bölgesinin genişlediği görülmektedir. Tabakalar arası mesafe $d_{K2}=0.40$ nm olarak hesaplandı. Şekil 3.17’de karanfil ekstraktı ile indirgenme sonrası elde edilen toz İGO’da pik oluşumun $2\theta_{K3}=20.42^\circ$ ’de elde edildiği ve genel olarak pik bölgesinin genişlediği görülmektedir. Tabakalar arası mesafe $d_{K3}=0.43$ nm olarak hesaplandı. Buna göre, keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgeme işlemleriyle GO’da tabakalar arası mesafenin azaldığı, oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştığı ve grafen benzeri tabakalı yapının oluştuğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, GO’ya ait 10.8° ’de oluşan karakteristik pikin tamamen yok olması da indirgeme işleminin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 3.15. Keçiyoynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait XRD spektrası



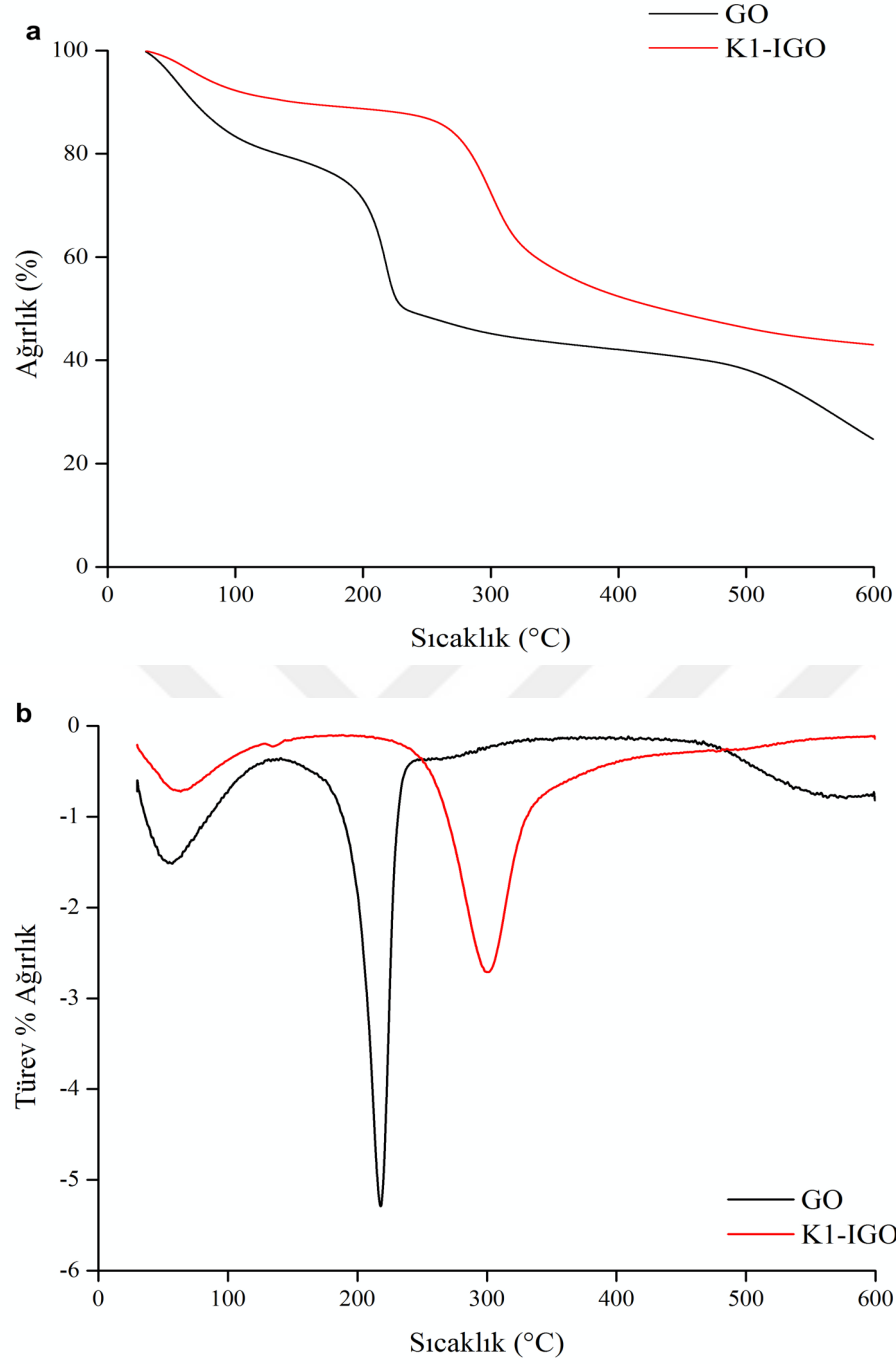
Şekil 3.16. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait XRD spektrası



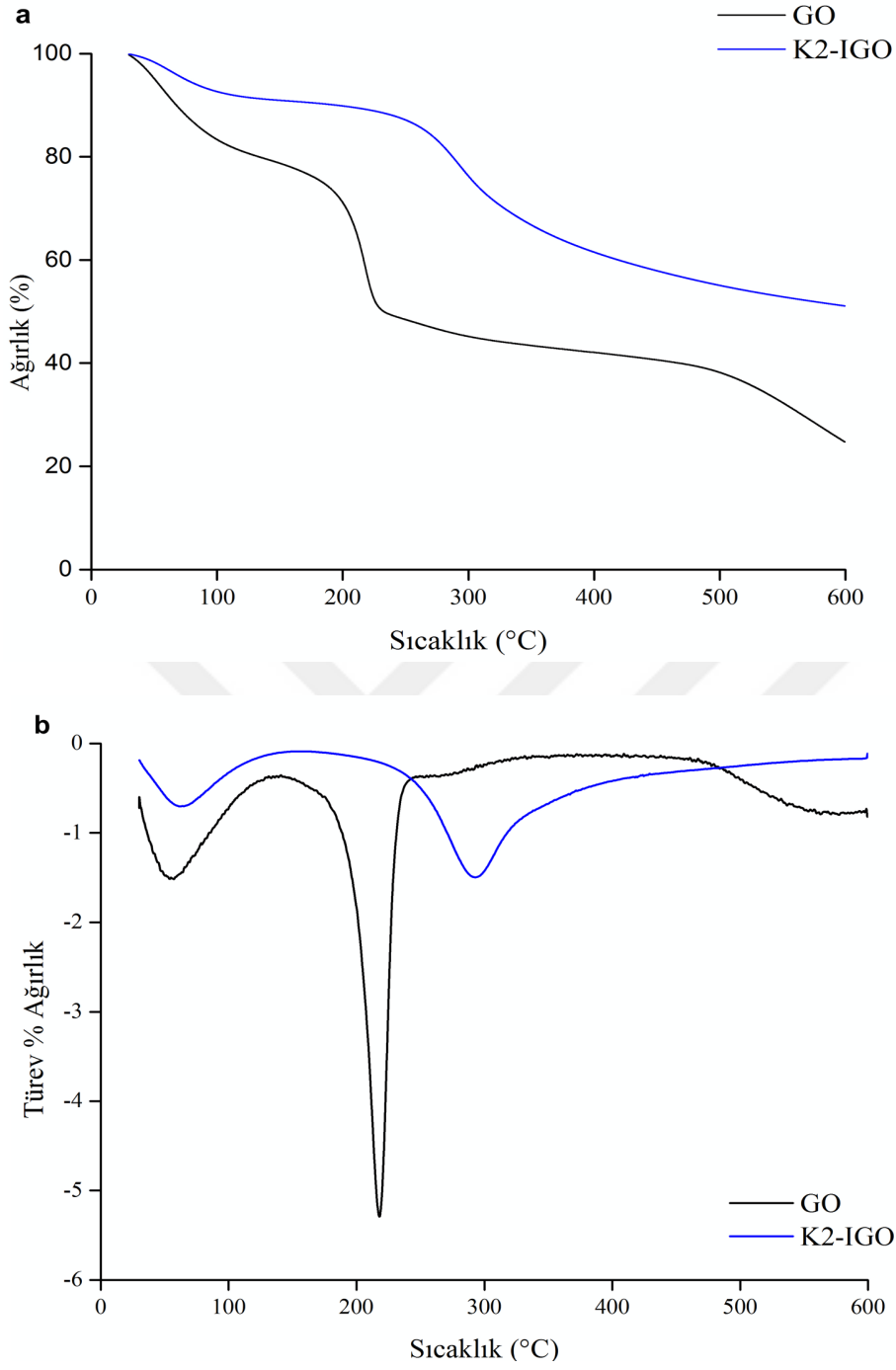
Şekil 3.17. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait XRD spektrası

3.3.2. TGA analizi

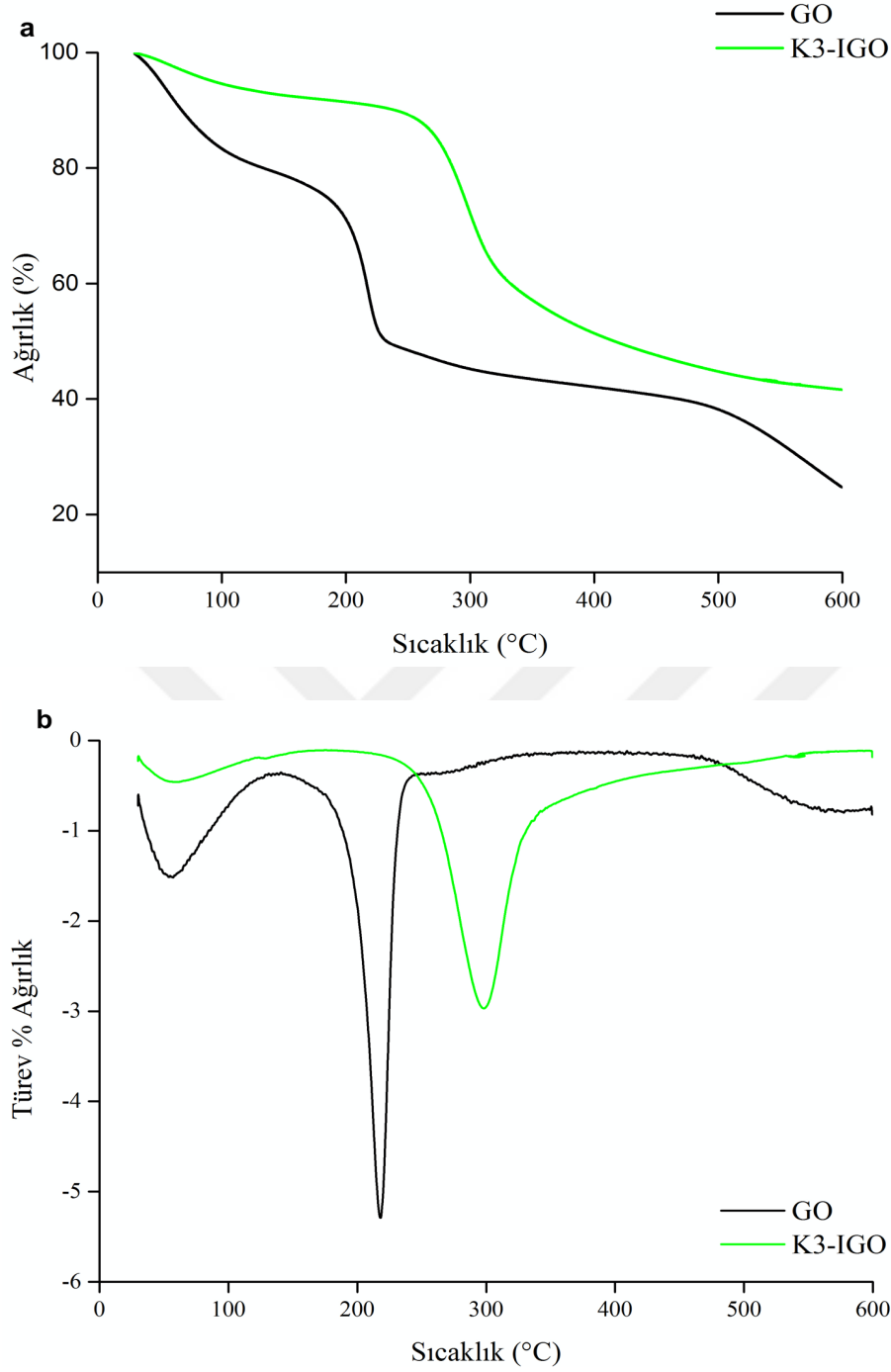
Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO nanotabakaların termal dayanımına ait TGA analiz sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20’de verildi. Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20 (a)’da İGO tozun TGA eğrisi ve 3.17, 3.18 ve 3.19(b)’de birinci türev eğrisi görülmektedir. Verilen grafikler genel olarak incelendiğinde GO ve İGO toz numunelerin benzer termal bozunma davranışı gösterdiği anlaşılmaktadır. Türev eğrileri incelendiğinde ise İGO’nun termal bozunmasının 2 bölgede gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20 (b)’de keçiboynuzu kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO tozun ilk bölgede oluşan kütle kaybının, sırasıyla, yaklaşık olarak 69°C, 67°C ve 60°C’de, İGO yapısında bulunan su moleküllerinin uzaklaşmasından kaynaklandığı söylenebilir. İkinci bölgede ise en belirgin ve hızlı kütle kaybı ise meydana gelmektedir. 230-350°C arasında maksimum kütle kaybı ve en hızlı kütle kaybının gerçekleştiği sıcaklık, K1-GO , K2-GO ve K3-GO için sırasıyla, %30, %20 ve %35 olarak ve 301°C, 293°C ve 298°C olarak bulundu. 600°C’de toplam kütle kaybı K1-GO , K2-GO ve K3-GO için, sırasıyla, %56.93, %48.85 ve %58.36 olarak hesaplandı. GO ile karşılaştırıldığında, termal bozunma genel olarak İGO tozlarda daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmiştir ve 600°C’de GO’da %75.23 oranda meydana gelen kütle kaybı İGO tozlarda daha düşük oranlarda elde edildi. Buradan keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgeme işleminin gerçekleştiği ve yapıdaki oksijen içerikli fonksiyonel grupların büyük oranda uzaklaştığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.18. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait (a) TGA ve (b) türev eğrisi



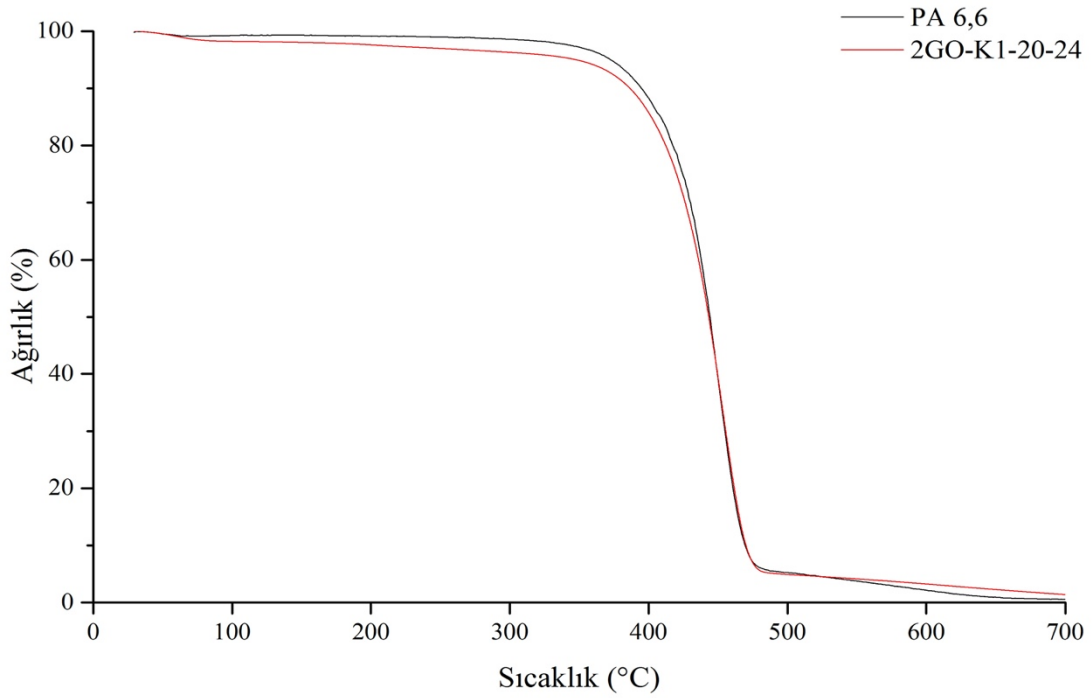
Şekil 3.19. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait (a) TGA ve (b) türev eğrisi



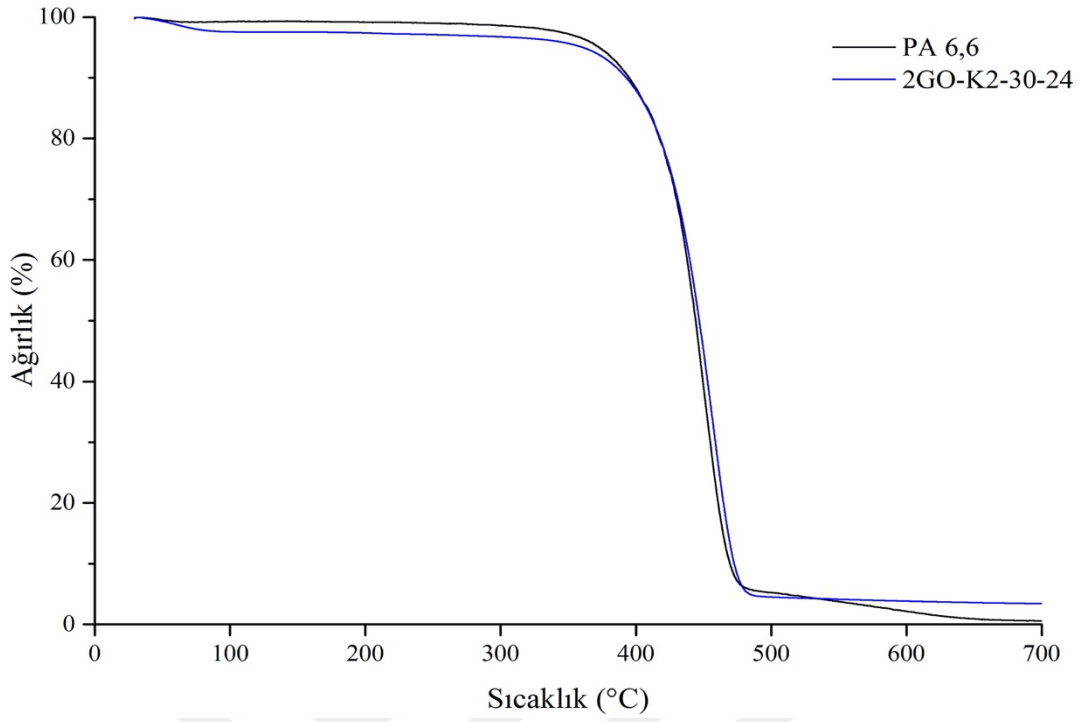
Şekil 3.20. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO toz numuneye ait (a) TGA ve (b) türev eğrisi

Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşların termal dayanımına ait TGA analiz sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23'te verildi. Verilen grafikler genel olarak incelendiğinde PA 6,6 ve İGO/PA 6,6 numunelerin benzer termal bozunma davranışı gösterdiği anlaşılmaktadır. İGO/PA 6,6

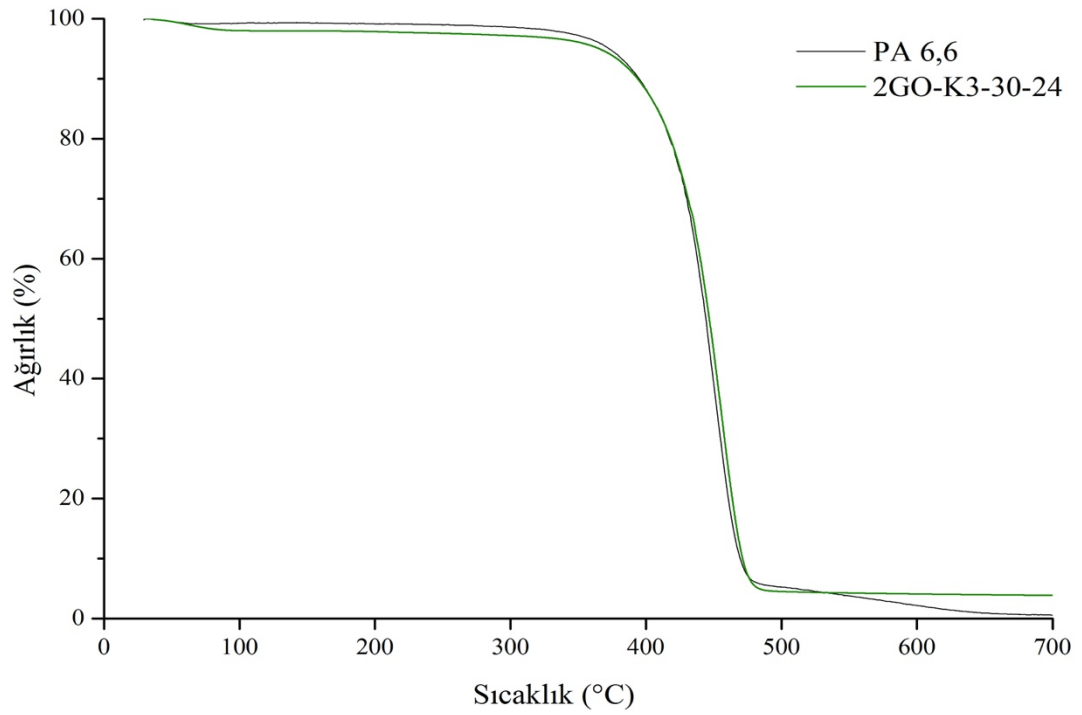
numunlerin termal bozunmasının 2 bölgede gerçekleştiği söylenebilir. İGO/PA 6,6 numunelerde termal bozunmanın başladığı ilk bölge, İGO nanotabakaların yapısındaki su moleküllerinin uzaklaşmasından kaynaklı bir miktar kütle kaybının gerçekleştiği, 50-100°C arasındaki sıcaklıklar olarak söylenebilir. İkinci bölgede ise en belirgin ve hızlı kütle kaybı ise meydana gelmektedir. 380-460°C arasında maksimum kütle kaybı ve en hızlı kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. 700°C’de elde edilen kül miktarı PA 6,6, 2GO-K1-20-24 , 2GO-K2-30-24 ve 2GO-K3-30-24 numuneleri için, sırasıyla, %0.57, %1.41, %3.43 ve %3.86 olarak hesaplandı. PA 6,6 çözgülu örme kumaş ile karşılaştırıldığında, termal bozunma sonunda kalan kül miktarı İGO/PA 6,6 çözgülu örme kumaşlarda daha yüksek oranda elde edildi. Buradan keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile elde edilen İGO/PA 6,6 çözgülu örme kumaşların indirgeme işlemiyle termal dayanımının artış gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.21. PA 6,6 çözgülu örme kumaş ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO kaplı numuneye ait TGA eğrisi



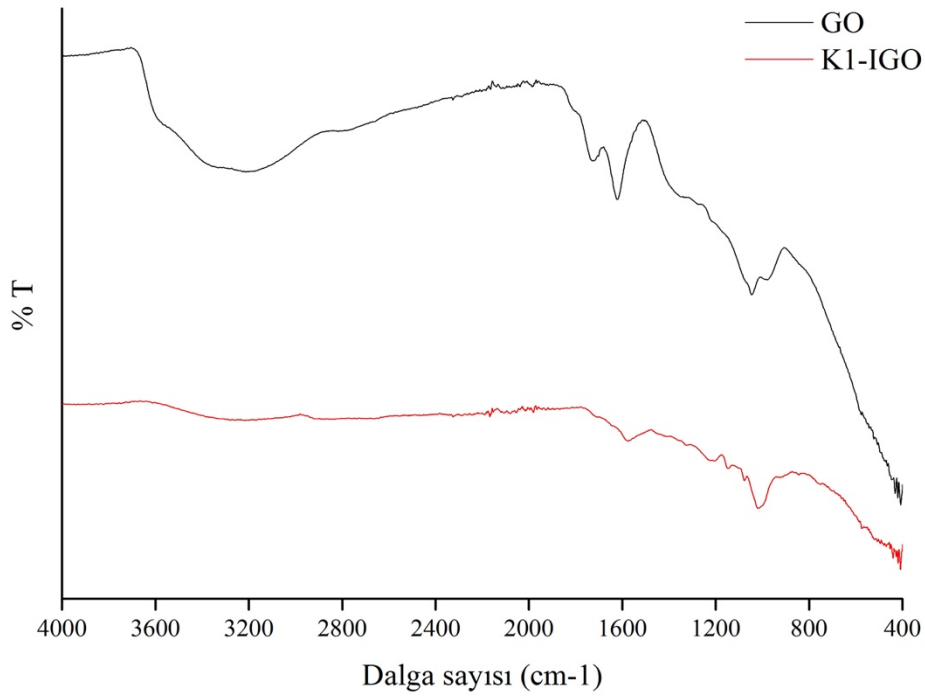
Şekil 3.22. PA 6,6 çözgüdü örme kumaş ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO kaplı numuneye ait TGA eğrisi



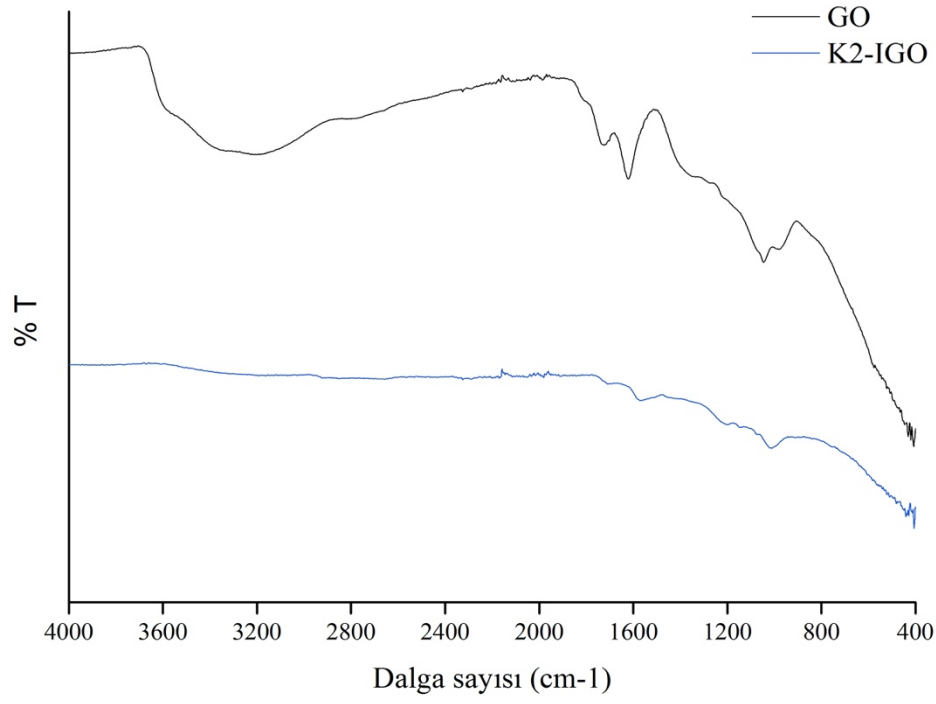
Şekil 3.23. PA 6,6 çözgüdü örme kumaş ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO kaplı numuneye ait TGA eğrisi

3.3.3. FTIR analizi

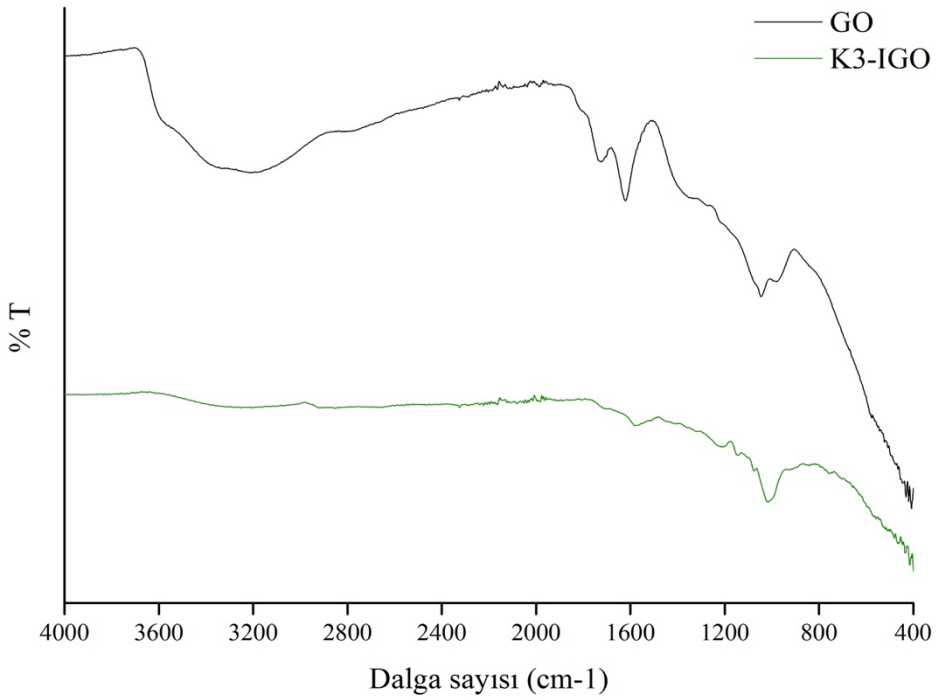
Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO toz numunelerin ATR-FTIR spektrumu, sırasıyla, Şekil 3.24, 3.25 ve 3.26’te verildi. Sentezlenen GO ile karşılaştırmalı olarak verilen IGO toz numunelerin FTIR spektrumları incelendiğinde, Bölüm 3.1.2.’de ayrıntılı olarak verilen GO yapısındaki oksijen içerikli fonksiyonel gruplara ait piklerin yok olduğu görülmektedir. Buradan, GO nanotabakaların keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları kullanılarak indirgenme işleminin gerçekleştiği ve IGO nanotabakaların elde edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.24. GO ve K1-IGO toz numunelerine ait FTIR spektrumu

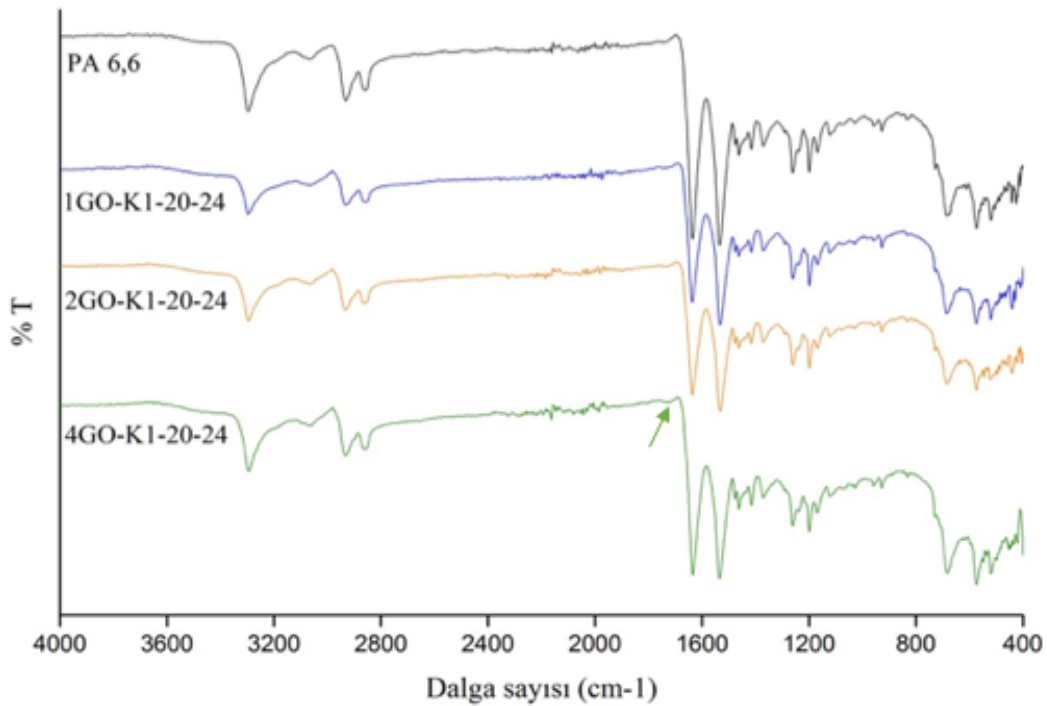


Şekil 3.25. GO ve K2-IGO toz numunelerine ait FTIR spektrumu

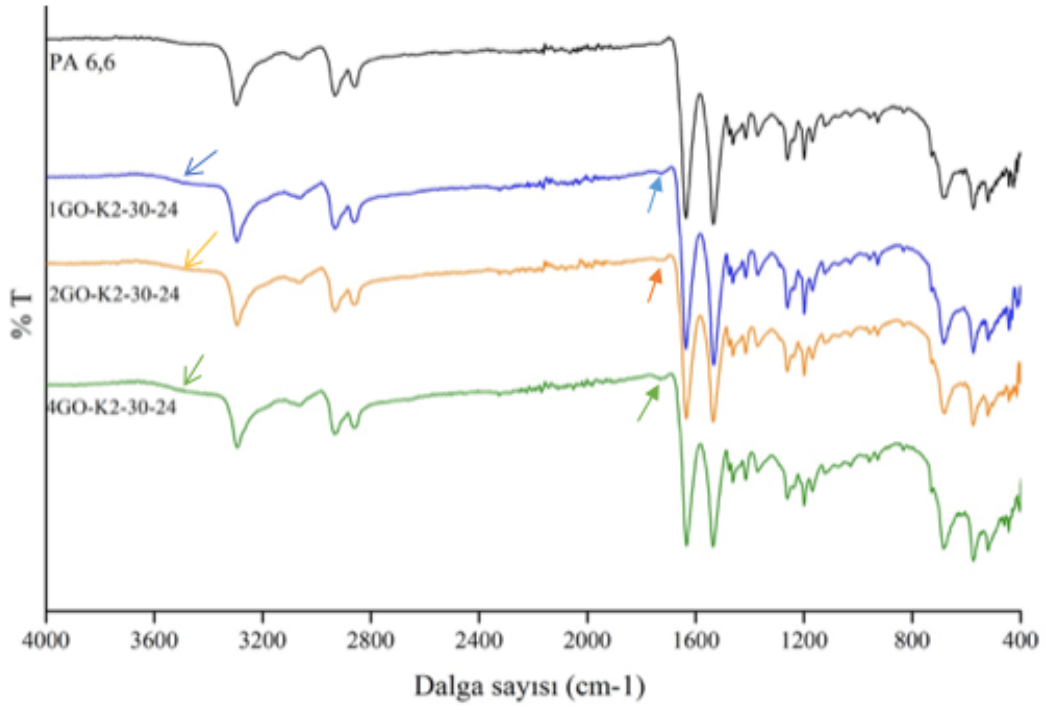


Şekil 3.26. GO ve K3-IGO toz numunelerine ait FTIR spektrumu

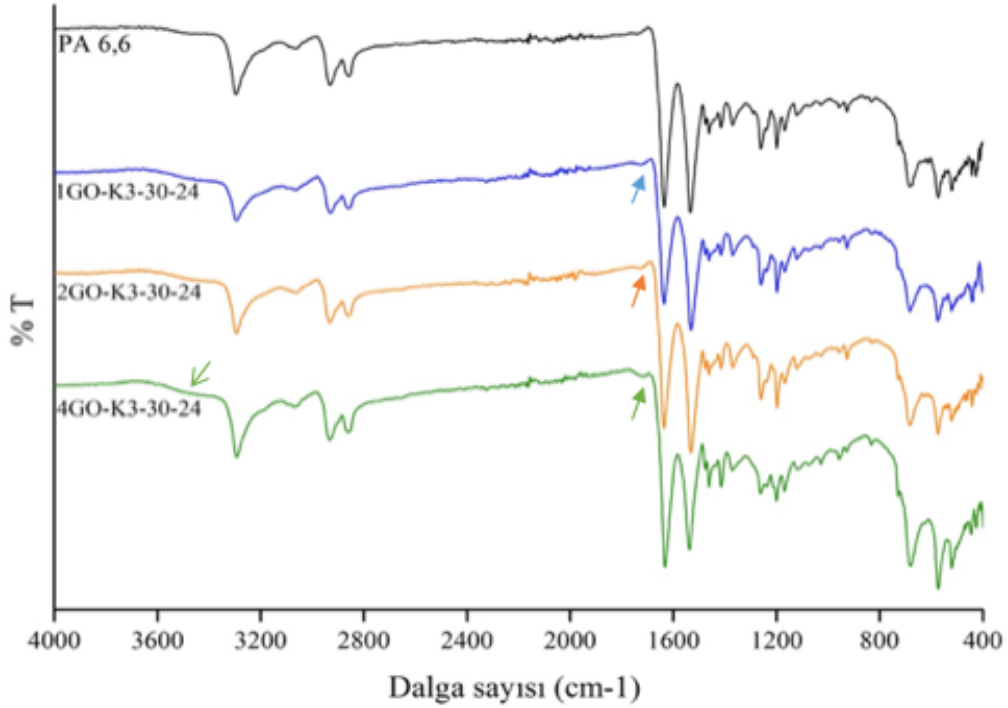
Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş numunelerin ATR-FTIR spektrumu, sırasıyla, Şekil 3.27, 3.28 ve 3.29’da verildi. Genel olarak incelendiğinde, indirgenmiş numunelerin spektrumlarında, PA 6,6’nın karakteristik piklerinin belirgin olarak görüldüğü söylenebilir. Şekil 3.27’de keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş K1-20-24 numunesine ait spektrum incelendiğinde, belirgin bir pik değişimi olmadığı görülmektedir. Şekil 3.28 ve 3.29’da kuşburnu ekstraktı ve karanfil ekstraktı ile indirgenmiş K2-30-24 ve K3-30-24 numunelerine ait spektrumlarda, 3400-3600 cm^{-1} aralığında su moleküllerinden kaynaklı pik genişlemesi ve 1723 cm^{-1} ’de GO’ya ait karbonil ve karboksilik grupların C=O esneme titreşimlerine ait pik oluştuğu tespit edildi. Ayrıca, GO kaplama konsantrasyonunun 1 g/L’den 4 g/L’ye artmasıyla, bu piklerdeki genişlemenin daha da belirginleştiği görülmektedir.



Şekil 3.27. PA 6,6 kumaş (a), 1 g/L (b), 2 g/L (c) ve 4 g/L (d) GO ile kaplanmış K1-20-24 numunesine ait FTIR spektrumu



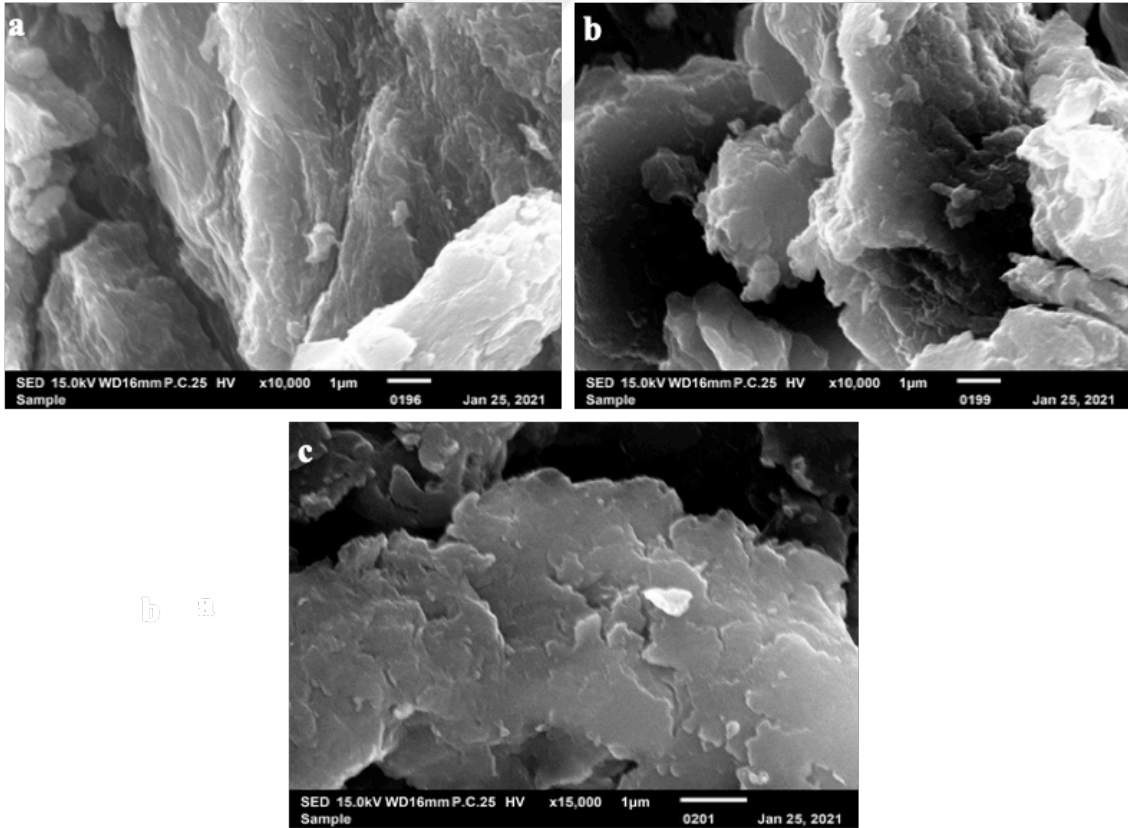
Şekil 3.28. PA 6,6 kumaş (a), 1 g/L (b), 2 g/L (c) ve 4 g/L (d) GO ile kaplanmış K2-30-24 numunesine ait FTIR spektrumu



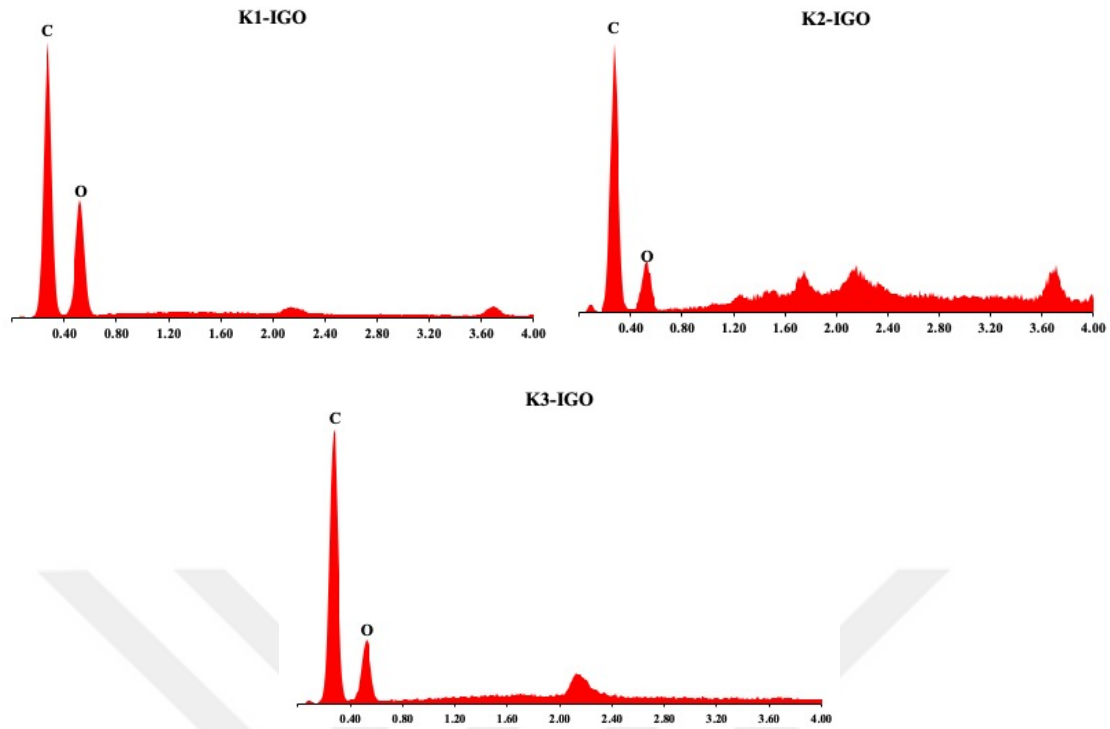
Şekil 3.29. PA 6,6 kumaş (a), 1 g/L (b), 2 g/L (c) ve 4 g/L (d) GO ile kaplanmış K3-30-24 numunesine ait FTIR spektrumu

3.3.4. SEM analizi

Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO nanotabakalara ait SEM görüntüleri Şekil 3.30'da verildi. İndirgenmiş grafen oksit nanotabakalarda, GO nanotabakalarda görülen kabarık, buruşuk ve dalgalı formun olmadığı söylenebilir. İGO nanotabakaların daha yoğun ve pürüzsüz bir formda olduğu görülmektedir. GO'nun karakteristik formu olan kabarık ve hacimli görüntünün olmaması, indirgenme reaksiyonlarıyla oksijen içerikli fonksiyonel gruplarının uzaklaştığını ve tabakalar arası mesafenin azalarak grafen tabakaların birbirine daha yakın düzenlendiğini göstermektedir. Şekil 3.31'de ve Tablo 3.5'te keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş GO nanotabakaların EDX spektrumları ve elemental analiz sonuçları verildi. Sentezlenen GO'nun C/O oranı 1.15 olarak elde edildi. İndirgenme işlemiyle elde edilen K1-IGO, K2-IGO ve K3-IGO nanotabakaların C/O oranı, sırasıyla, 1.65, 2.90 ve 2.39 olarak bulundu. Buradan, indirgenme işlemiyle GO nanotabakalardan oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştırıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.30. Keçiboynuzu (a), Kuşburnu (b) ve Karanfil (c) toz ekstraktı ile indirgenmiş GO nanotabakalara ait SEM görüntüleri



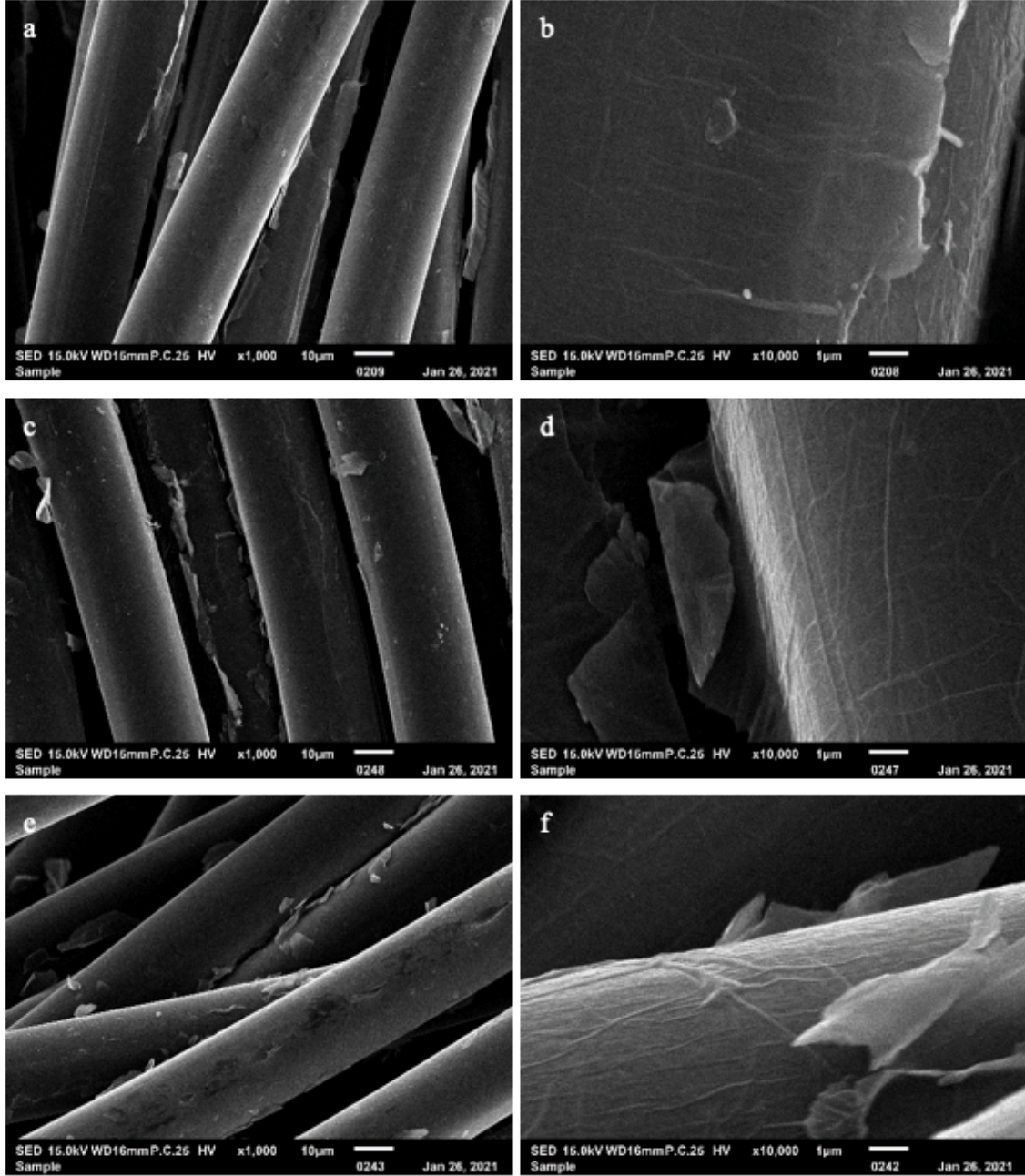
Şekil 3.31. Keçiboynuzu (K1), Kuşburnu (K2) ve Karanfil (K3) toz ekstraktı ile indirgenmiş GO nanotabakalara ait EDX spektrumları

Tablo 3.5. GO ve keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş toz numunelerin elementel analiz sonuçları

Numune	C (Atomik %)	O (Atomik %)	C/O (Atomik %)
GO	53.42	46.58	1.15
K1-IGO	62.27	37.73	1.65
K2-IGO	74.37	25.63	2.90
K3-IGO	70.46	29.54	2.39

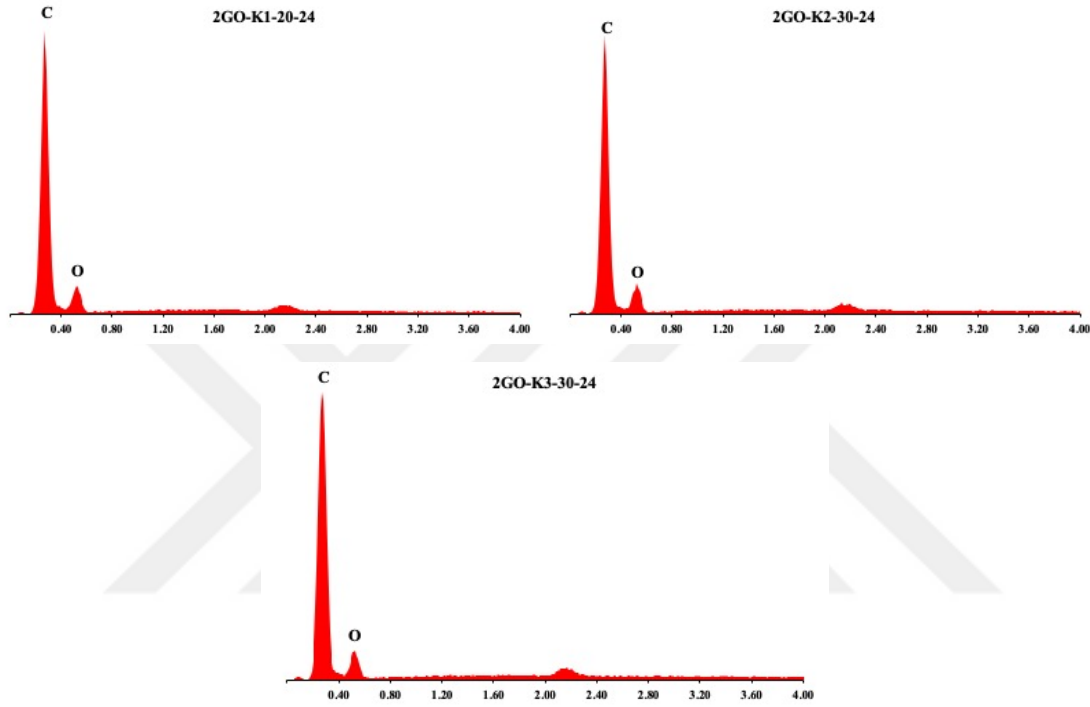
GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmesi işleminin SEM görüntüleri ile yüzey incelemesi Şekil 3.32’de 1000x ve 10000x büyütme oranlarında verildi. SEM görüntüleri incelendiğinde, filamentler üzerine sarılmış şekilde ve filamentler arasında İGO nanotabakaların varlığı belirgin bir şekilde görülmektedir. 10000x büyütme oranında filament üzerine sarılmış İGO nanotabakanın

hafif kıvrımlı ve buruşuk formda olduğu anlaşılmaktadır. Ancak GO kaplı PA 6,6 kumaştaki kabarık görüntünün olmaması indirgenme işlemleriyle oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştığını ve tabakaların daha sıkı düzenlendiğini göstermektedir.



Şekil 3.32. 1000x ve 10000x büyütmelede İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların SEM görüntüleri; 2GO-K1-20-24 (a, b), 2GO-K2-30-24 (c, d) ve 2GO-K3-30-24 (e, f).

Şekil 3.33'te ve Tablo 3.6'da 2 g/L GO kaplı Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaşın keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları indirgenmesiyle elde edilen numunelerin EDX spektrumları ve elementel analiz sonuçları verildi. İndirgenme işlemiyle, İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşta karbon oranının arttığı ve oksijen oranının azaldığı görülmektedir. 2 g/L GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın C/O oranı 3.36 olarak bulunurken İGO/PA 6,6 numunelerin C/O oranında artış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.33. 2GO-K1-20-24 (a), 2GO-K2-30-24 (b) ve 2GO-K3-30-24 (c) numunelere ait EDX spektrumları

Tablo 3.6. 2GO ve keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerin elementel analiz sonuçları

Numune	C (Atomik %)	O (Atomik %)	C/O (Atomik %)
2GO	61.72	18.37	3.359
2GO-K1-20-24	63.91	16.49	3.875
2GO-K2-30-24	63.37	17.06	3.714
2GO-K3-30-24	63.36	16.9	3.749

3.3.5. Renk ölçüm sonuçları

1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO konsantrasyonlarında kaplanmış PA 6,6 kumaşların keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktı ile indirgenmesi sonrasında yapılan renk ölçüm analizi sonuçları, sırasıyla, Tablo 3.7, 3.8 ve 3.9’da verildi. Genel olarak incelendiğinde, doğal ekstraktlar ile indirgeme işleminin gerçekleştirilmesiyle PA 6,6 kumaşa göre, L^* değerinde belirgin bir düşüş olduğu ve rengin koyulaştığı, siyaha yaklaştığı anlaşılmaktadır. a^* ve b^* değerleri değerlendirildiğinde, GO kaplanan PA 6,6 kumaşa göre, a^* ve b^* değerlerinin azaldığı, özellikle b^* değerinde belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. C^* değerinin de azaldığı ve h açısında bir miktar artış olduğu söylenebilir. Buradan, indirgeme işleminin gerçekleşmesiyle oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştığı ve kumaş renginin sarı-kahverengiden koyu tonlara dönüştüğü anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde, GO konsantrasyonunun 1 g/L’de 4 g/L’ye artmasıyla, İGO kumaşların L^* değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile gerçekleştirilen indirgeme işlemlerinde en koyu renkler, 4 g/L GO kaplama konsantrasyonunda elde edildi.

Kaplama işlemi yapılmamış PA 6,6 çözgülü örme kumaş ile keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO kaplı kumaşlar arasındaki renk farkı (ΔE) analizi, sırasıyla, Tablo 3.7, 3.8 ve 3.9’da verildi. Buradan, indirgenme işlemiyle ΔE değerlerinin arttığı ve GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla ΔE değerinde artış olduğu belirgindir. Keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO kaplı PA 6,6 kumaşların ΔE değerlerinin benzer olarak elde edildiği görülmektedir. Renk farkının en yüksek olduğu numunelerin, 4 g/L GO konsantrasyonunda kaplama yapılan İGO/PA 6,6 kumaşlar olduğu anlaşılmaktadır. Her bir GO kaplama konsantrasyonunda çalışılan indirgeme koşullarının, elde edilen numunelerin ΔE değerlerinde belirgin bir farklılık yaratmadığı görülmektedir.

Tablo 3.7. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
PA 6,6	93.39	-0.64	2.18	2.28	106.42	79.19	83.87	86.92	0.32	0.34	-
1GO	61.61	3.22	11.87	12.30	74.25	29.22	29.95	24.32	0.35	0.36	33.453
2GO	58.62	3.51	11.94	12.45	73.61	26.07	26.62	21.33	0.35	0.36	36.356
4GO	54.17	3.77	12.23	12.8	72.85	21.79	22.14	17.26	0.36	0.36	40.726
1GO-K1-20-12	32.62	0.64	2.98	3.04	77.86	7.05	7.37	7.09	0.33	0.34	60.788
1GO-K1-20-24	31.72	0.82	3.09	3.20	75.11	6.68	6.96	6.66	0.33	0.34	61.694
1GO-K1-30-12	31.53	0.73	3.73	3.80	78.90	6.59	6.88	6.42	0.33	0.35	61.897
1GO-K1-30-24	31.54	0.93	4.02	4.13	77.03	6.61	6.88	6.35	0.33	0.35	61.905
2GO-K1-20-12	31.37	0.67	3.37	3.43	78.79	6.52	6.81	6.44	0.33	0.34	62.049
2GO-K1-20-24	31.33	0.76	3.48	3.56	77.69	6.51	6.79	6.40	0.33	0.34	62.090
2GO-K1-30-12	32.30	0.83	4.80	4.87	80.15	6.92	7.22	6.48	0.34	0.35	61.172
2GO-K1-30-24	31.91	0.97	4.91	5.00	78.86	6.77	7.04	6.29	0.34	0.35	61.567
4GO-K1-20-12	29.50	0.61	2.51	2.59	76.32	5.77	6.03	5.87	0.33	0.34	63.908
4GO-K1-20-24	29.46	0.62	2.52	2.59	76.19	5.76	6.02	5.86	0.33	0.34	63.950
4GO-K1-30-12	29.47	0.68	2.86	2.93	76.62	5.77	6.02	5.78	0.33	0.34	63.945
4GO-K1-30-24	29.46	0.67	2.50	2.58	75.07	5.77	6.02	5.86	0.33	0.34	63.943

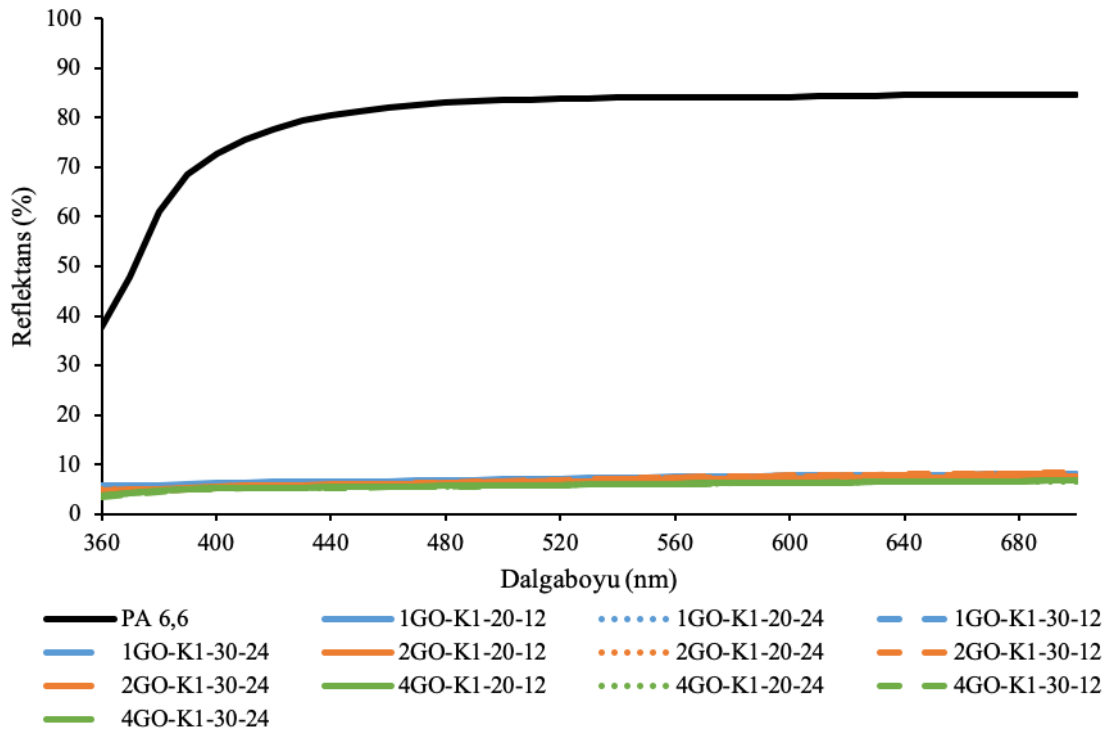
Tablo 3.8. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
PA 6,6	93.39	-0.64	2.18	2.28	106.42	79.19	83.87	86.92	0.32	0.34	-
1GO	61.61	3.22	11.87	12.30	74.25	29.22	29.95	24.32	0.35	0.36	33.453
2GO	58.62	3.51	11.94	12.45	73.61	26.07	26.62	21.33	0.35	0.36	36.356
4GO	54.17	3.77	12.23	12.8	72.85	21.79	22.14	17.26	0.36	0.36	40.726
1GO-K2-20-12	32.56	0.36	4.47	4.49	85.44	6.99	7.34	6.68	0.33	0.35	60.886
1GO-K2-20-24	31.68	0.40	4.77	4.79	85.19	6.62	6.94	6.23	0.33	0.35	61.778
1GO-K2-30-12	32.62	0.17	4.26	4.26	87.74	7.00	7.36	6.76	0.33	0.35	60.813
1GO-K2-30-24	31.57	0.34	4.76	4.77	85.93	6.57	6.90	6.19	0.33	0.35	61.888
2GO-K2-20-12	32.51	0.16	3.61	3.62	87.46	6.95	7.31	6.88	0.33	0.35	60.903
2GO-K2-20-24	30.51	0.40	3.14	3.17	82.75	6.15	6.45	6.14	0.33	0.34	62.896
2GO-K2-30-12	30.70	0.23	3.02	3.03	85.74	6.21	6.52	6.24	0.33	0.34	62.708
2GO-K2-30-24	30.44	0.29	3.71	3.72	85.60	6.11	6.41	5.97	0.33	0.35	62.984
4GO-K2-20-12	29.42	0.45	2.73	2.77	80.74	5.73	6.00	5.79	0.33	0.34	63.981
4GO-K2-20-24	29.44	0.53	3.10	3.14	80.28	5.74	6.01	5.71	0.33	0.34	63.975
4GO-K2-30-12	29.91	0.32	3.54	3.55	84.83	5.90	6.20	5.80	0.33	0.35	63.511
4GO-K2-30-24	29.43	0.41	2.95	2.98	82.17	5.73	6.00	5.74	0.33	0.34	63.982

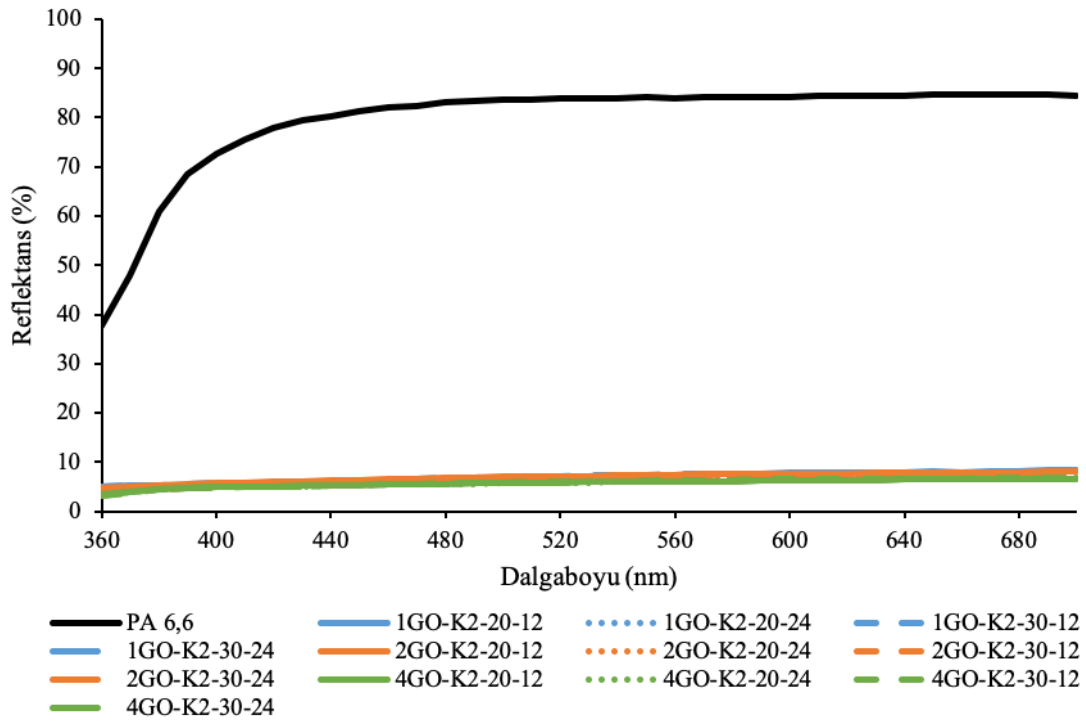
Tablo 3.9. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
PA 6,6	93.39	-0.64	2.18	2.28	106.42	79.19	83.87	86.92	0.32	0.34	-
1GO	61.61	3.22	11.87	12.30	74.25	29.22	29.95	24.32	0.35	0.36	33.453
2GO	58.62	3.51	11.94	12.45	73.61	26.07	26.62	21.33	0.35	0.36	36.356
4GO	54.17	3.77	12.23	12.8	72.85	21.79	22.14	17.26	0.36	0.36	40.726
1GO-K3-20-12	32.53	0.57	3.06	3.11	79.47	7.00	7.32	7.03	0.33	0.34	60.882
1GO-K3-20-24	32.41	0.95	4.19	4.29	77.24	6.99	7.27	6.69	0.33	0.35	61.034
1GO-K3-30-12	32.43	0.79	4.13	4.21	79.14	6.98	7.28	6.71	0.33	0.35	61.013
1GO-K3-30-24	31.52	0.83	3.66	3.75	77.24	6.60	6.87	6.43	0.33	0.35	61.914
2GO-K3-20-12	30.28	0.54	2.48	2.54	77.66	6.07	6.35	6.20	0.33	0.34	63.125
2GO-K3-20-24	30.64	0.53	3.50	3.54	81.34	6.21	6.50	6.10	0.33	0.35	62.781
2GO-K3-30-12	30.81	0.59	3.86	3.90	81.37	6.28	6.57	6.09	0.33	0.35	62.621
2GO-K3-30-24	30.28	0.72	3.74	3.80	79.15	6.08	6.35	5.90	0.33	0.35	63.152
4GO-K3-20-12	29.45	0.65	2.68	2.76	76.32	5.76	6.01	5.81	0.33	0.34	63.960
4GO-K3-20-24	29.39	0.66	2.89	2.96	77.07	5.74	5.99	5.74	0.33	0.34	64.020
4GO-K3-30-12	29.50	0.64	2.87	2.94	77.50	5.78	6.03	5.79	0.33	0.34	63.915
4GO-K3-30-24	29.44	0.64	2.94	3.01	77.65	5.75	6.01	5.75	0.33	0.34	63.976

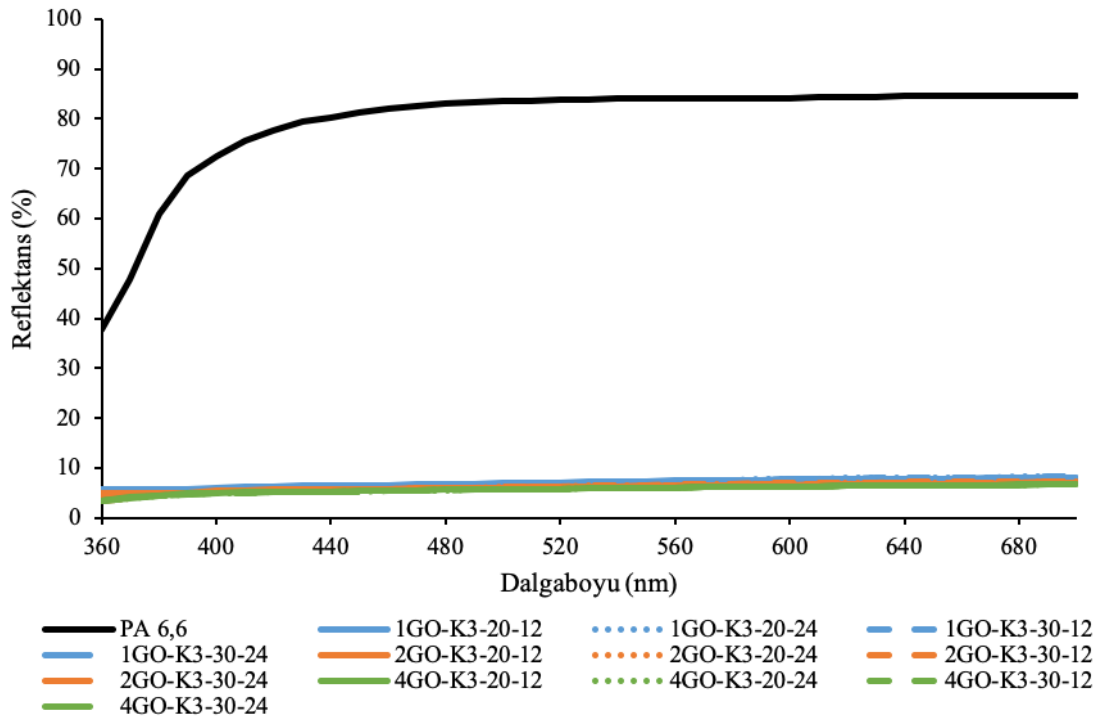
PA 6,6 çözgüü örme kumaşın ve keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO kaplı kumaşların 360-700 nm dalga boyu aralığında gerçekleştirilen reflektans ölçüm sonuçlarına ait grafikler, sırasıyla, Şekil 3.34, 3.35 ve 3.36’da verildi. PA 6,6 kumaşın reflektans eğrisi incelendiğinde, yüksek oranda reflektans değerine sahip olduğu görülmektedir. PA 6,6 kumaşın görünür bölgede tüm dalga boylarında gelen ışığı yaklaşık olarak %80-84 oranında yansıttığı ve bu yüzden beyaz renge sahip olduğu anlaşılmaktadır. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş GO kaplı PA 6,6 kumaşların reflektans değerleri oldukça düşüktür. Görünür bölgede tüm dalga boylarında belirgin bir pik oluşmaması ve eğrinin düz bir doğru şeklinde olması, kumaşların gelen ışığı absorpladığını göstermektedir. Buradan, İGO/PA 6,6 kumaşların gelen ışığı büyük oranda absorpladığı, bu yüzden de kumaş renginin koyu tonlarda, siyaha yakın bir renkte olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, indirgeme işlemlerinde çalışılan parametrelerin reflektans değerlerinde belirgin bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir.



Şekil 3.34. Poliamid 6,6 ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 kumaşa ait reflektans grafiği



Şekil 3.35. Poliamid 6,6 ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 kumaşa ait reflektans grafiği



Şekil 3.36. Poliamid 6,6 ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı Poliamid 6,6 kumaşa ait reflektans grafiği

3.3.6. Sürtmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi

Farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanan PA 6,6 kumaşın keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile farklı indirgeme maddesi konsantrasyonlarında ve indirgeme süresinde gerçekleştirilen indirgeme işlemleri sonrasında sürtmeye karşı renk haslığı testi gerçekleştirildi ve elde edilen sonuçlar, sırasıyla, Tablo 3.10, 3.11 ve 3.12’de verildi. Laboratuar tipi Jigger boyama makinesinde gerçekleştirilen kaplama işlemiyle PA 6,6 çözgülü örme kumaşın yüzeyine fiziksel olarak tutunan GO tabakaların indirgeme işlemleri sonrasında dayanımının belirlenmesi amacıyla sürtmeye karşı renk haslığı testi gerçekleştirildi. Sürtmeye karşı renk haslığı değerlendirmesine göre, genel olarak İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kuru sürtme ve yağ sürtmeye karşı renk dayanımında farklılık olduğu anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonundan bağımsız olarak, İGO/PA 6,6 kumaşın renk dayanımının kuru sürtme koşullarında daha iyi olduğu söylenebilir. GO konsantrasyonuna bağlı olarak değerlendirildiğinde ise yağ sürtme koşullarında renk dayanımının GO konsantrasyonunun artmasıyla kötüleştiği ve refakat bezindeki lekelemenin arttığı anlaşılmaktadır. Tablo 3.10 incelendiğinde, keçiboynuzu ekstraktı ile indirgeme işleminin kuru sürtme koşullarında renk haslığının iyi olarak değerlendirildiği söylenebilir. Yağ sürtme değerlendirmesinde ise sonuçların genel olarak kötü olduğu ve özellikle 4 g/L GO kaplanan keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş kumaşta en kötü sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ek olarak, kumaş yönünün yağ sürtmede farklı sonuçlar verdiği, özellikle satır yönünde daha kötü sonuçların elde edildiği ancak, keçiboynuzu ekstraktı ile indirgeme işleminde çalışılan indirgeme parametrelerinin sürtmeye karşı renk haslığında belirgin bir farklı sonuç yaratmadığı söylenebilir.

Tablo 3.10. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Kumaş Test Yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
1GO-K1-20-12	Çubuk yönü	4	2
	Satır yönü	4	1-2
1GO-K1-20-24	Çubuk yönü	4	2
	Satır yönü	4	1-2
1GO-K1-30-12	Çubuk yönü	4	2
	Satır yönü	4	1-2
1GO-K1-30-24	Çubuk yönü	4	2
	Satır yönü	4	1-2
2GO-K1-20-12	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	4	2
2GO-K1-20-24	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	4	2
2GO-K1-30-12	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	4	2
2GO-K1-30-24	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	4	2
4GO-K1-20-12	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1
4GO-K1-20-24	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1
4GO-K1-30-12	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1
4GO-K1-30-24	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1

Tablo 3.11 incelendiğinde, kuşburnu ekstraktı ile indirgeme işleminin kuru sürtme sonuçları iyi olarak değerlendirilebilir. Yaş sürtme koşullarında ise, elde edilen sonuçlar kötü olarak değerlendirilmektedir ve 4 g/L GO kaplanan kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş kumaşa en kötü sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, 1 g/L GO kaplama yapılan İGO/PA 6,6 kumaşa, kumaş yönünün sürtme haslığına etkisi olmadığı, 2 ve 4 g/L GO kaplanan İGO/PA 6,6 kumaşa satır yönünde sürtme haslığının daha kötü olduğu görülmektedir. Tablo 3.12 incelendiğinde, karanfil ekstraktı ile indirgeme işleminin kuru sürtme sonuçları iyi olarak değerlendirilebilir. Kuru sürtmede, 2 ve 4 g/L GO kaplanan İGO/PA 6,6 kumaşa sürtme haslığı derecesinde düşüş olduğu ve satır yönünde daha kötü sonuçların elde edildiği görülmektedir. Yaş sürtme sonuçlarında ise daha kötü dereceler elde edildi. GO kaplama konsantrasyonu etkili olmakla birlikte kumaş yönü de yaş sürtme haslığında farklı sonuçlara neden olmaktadır. Bu sonuçlara dayanarak, PA 6,6 kumaşa laboratuvar tipi Jigger boyama makinesiyle yapılan GO kaplama uygulaması ve ardından keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile yapılan indirgeme işlemleriyle elde edilen İGO tabakaların kumaş yüzeyine fiziksel olarak tutunduğu ifade edilebilir.

Tablo 3.11. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

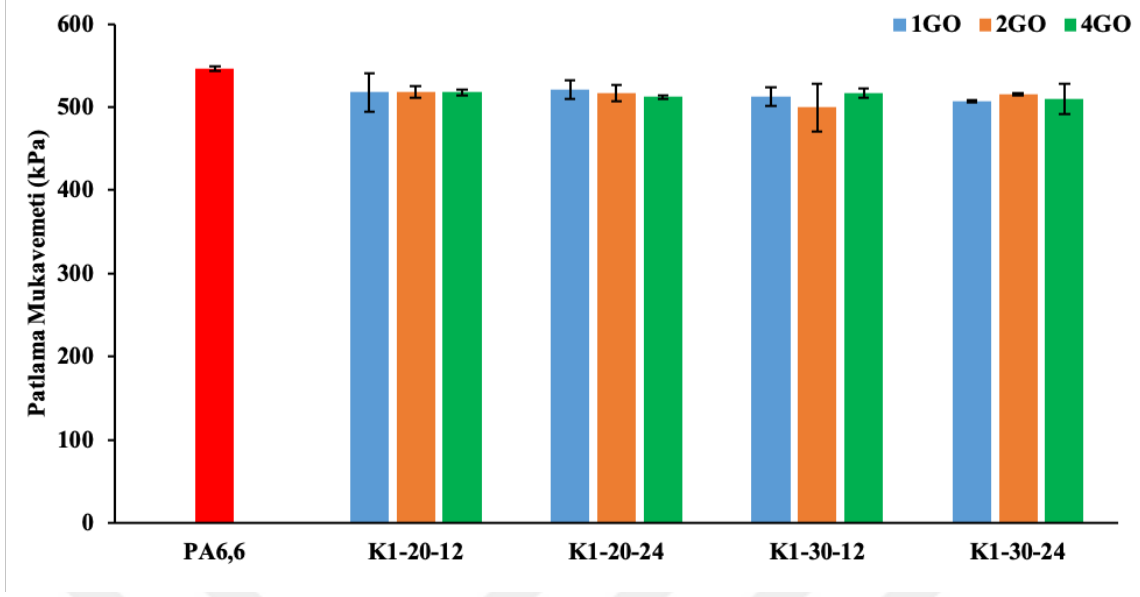
<i>Numune</i>	<i>Kumaş Test Yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
1GO-K2-20-12	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	3-4	2
1GO-K2-20-24	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	4	2-3
1GO-K2-30-12	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	4	2-3
1GO-K2-30-24	Çubuk yönü	4	3-4
	Satır yönü	4	3-4
2GO-K2-20-12	Çubuk yönü	3	2-3
	Satır yönü	3	2
2GO-K2-20-24	Çubuk yönü	3	2-3
	Satır yönü	3	2
2GO-K2-30-12	Çubuk yönü	3	2-3
	Satır yönü	3	2
2GO-K2-30-24	Çubuk yönü	3	2-3
	Satır yönü	3	2
4GO-K2-20-12	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1
4GO-K2-20-24	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1
4GO-K2-30-12	Çubuk yönü	3-4	2
	Satır yönü	3	1
4GO-K2-30-24	Çubuk yönü	3	2
	Satır yönü	3	1

Tablo 3.12. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Kumaş Test Yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
<i>1GO-K3-20-12</i>	Çubuk yönü	4	2
	Satır yönü	4	2
<i>1GO-K3-20-24</i>	Çubuk yönü	4	3
	Satır yönü	4	2-3
<i>1GO-K3-30-12</i>	Çubuk yönü	4	3
	Satır yönü	4	2-3
<i>1GO-K3-30-24</i>	Çubuk yönü	3 - 4	2-3
	Satır yönü	3	2
<i>2GO-K3-20-12</i>	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	3 - 4	2
<i>2GO-K3-20-24</i>	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	3 - 4	2
<i>2GO-K3-30-12</i>	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	3 - 4	2
<i>2GO-K3-30-24</i>	Çubuk yönü	4	2-3
	Satır yönü	3 - 4	1- 2
<i>4GO-K3-20-12</i>	Çubuk yönü	3 - 4	2
	Satır yönü	3	1
<i>4GO-K3-20-24</i>	Çubuk yönü	4	2
	Satır yönü	3	1
<i>4GO-K3-30-12</i>	Çubuk yönü	3 - 4	2
	Satır yönü	3	1
<i>4GO-K3-30-24</i>	Çubuk yönü	3 - 4	2
	Satır yönü	3	1

3.3.7. Patlama mukavemeti sonuçları

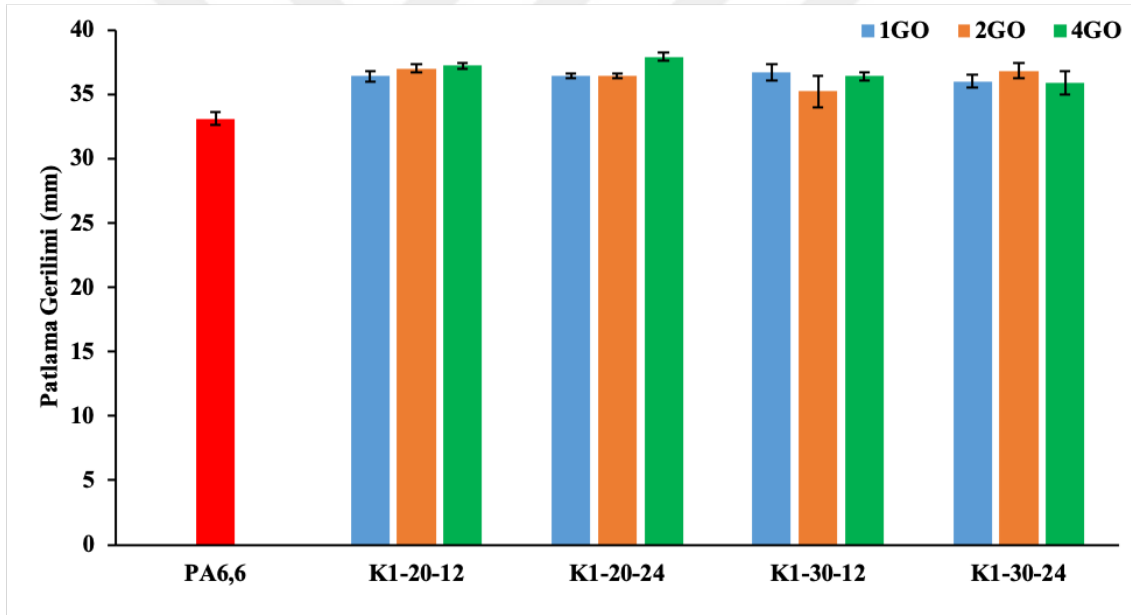
PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplı keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları Şekil 3.37’de ve patlama gerilimi sonuçları Şekil 3.38’de verildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti 546.5 kPa olarak elde edildiği görülmektedir. Farklı indirgeme konsantrasyonu ve sürelerinde gerçekleştirilen indirgeme işleminde İGO/PA 6,6 kumaşın patlama mukavemetinde belirgin farklılıklar olmadığı görülmektedir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın farklı indirgeme koşullarında patlama mukavemet değerlerinde farklılıklar olduğu ve bu farklılıkların büyük bir değişim göstermediği söylenebilir. İGO/PA 6,6 kumaşların patlama mukavemeti, PA 6,6 kumaşinkinden daha düşük olarak elde edildi. En yüksek patlama mukavemeti değeri 1 g/L GO kaplı K1-20-24 numunesinde 521.1 kPa olarak elde edildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 5), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:2.164 > F_{tablo}:2.148$). K1-İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 6), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:0.633 < F_{tablo}:2.216$). Buna göre, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenme işlemleriyle patlama mukavemetinin etkilendiği ancak indirgenme koşullarının indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetinde önemli bir etkisi olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.37. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları

Şekil 3.38’de PA 6,6 ve İGO/PA 6,6 kumaşlara ait patlama gerilimi sonuçları verilmiştir. Patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, en düşük gerilim değeri 33.1 mm olarak PA 6,6 çözgülü örme kumaşa elde edildiği görülmektedir. Genel olarak, keçiboynuzu ekstraktı ile farklı koşullarda indirgenmiş kumaşların patlama gerilimi değerlerinin PA 6,6 kumaşa göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Patlama geriliminde en düşük değer 35.2 mm ve en yüksek değer 37.9 mm olarak belirlendi. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 7), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:13.009 > F_{tablo}:2.148$). K1-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 8), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:4.854 > F_{tablo}:2.216$). İndirgenme işlemlerinin PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama gerilimini etkilediği ve indirgenme koşullarının indirgenmiş numunelerin patlama gerilimini etkilediği anlaşılmaktadır. Farklı konsantrasyonlarda GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın her bir indirgenme koşulunda patlama gerilimine etkisini tespit etmek amacıyla tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. K1-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 9), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:5.379 > F_{tablo}:5.143$). K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi

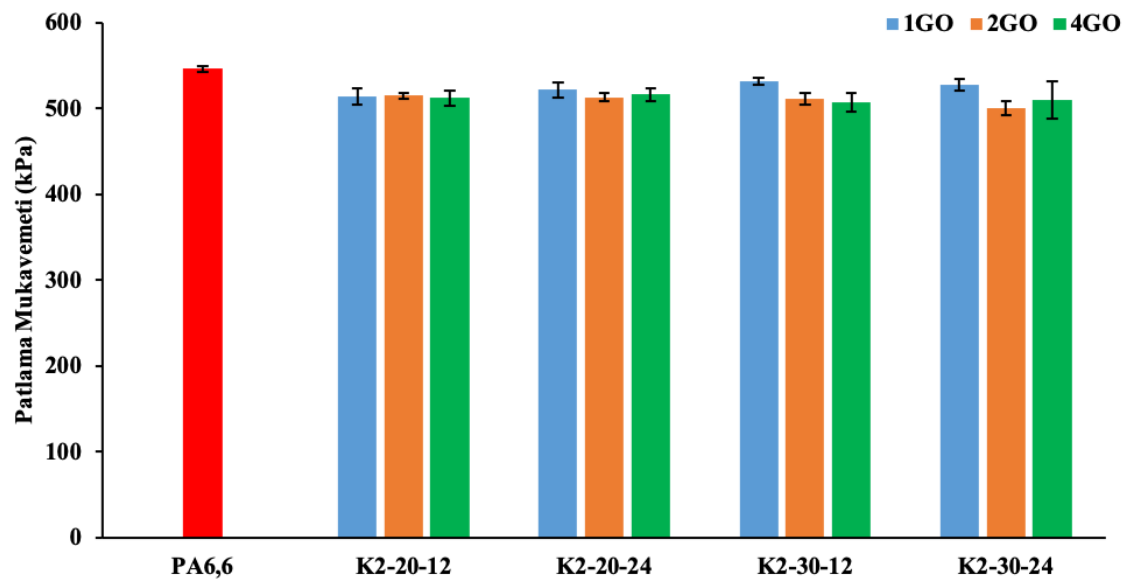
değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 10), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:34.689 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 11), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:3.509 < F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 12), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:1.453 < F_{\text{tablo}}:5.143$). Buna göre, keçi boynuzu toz ekstraktı ile kütlece %20 konsantrasyonda 12 ve 24 saat süreyle yapılan indirgenme işlemlerinin farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanmış kumaşların patlama gerilimini etkilediği söylenebilir. Kütlece %30 konsantrasyonda 12 ve 24 saat süreyle yapılan indirgenme işleminin farklı konsantrasyonlarda GO ile kaplanmış kumaşların patlama geriliminde etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.38. Keçi boynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama gerilimi sonuçları

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplı kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları Şekil 3.39'da ve patlama gerilimi sonuçları Şekil 3.40'da verildi. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın farklı indirgeme koşullarında patlama mukavemet değerlerinde farklılıklar olduğu söylenebilir. İGO/PA 6,6 kumaşların patlama mukavemeti, PA 6,6 kumaşından daha düşük olarak elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, genel olarak

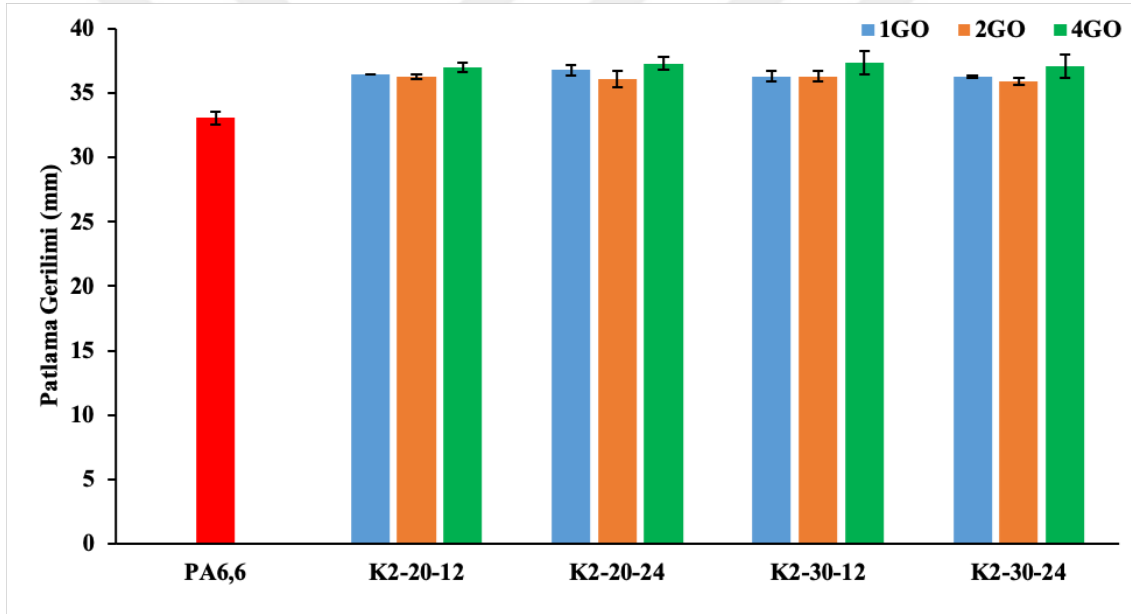
incelendiğinde 1 g/L GO kaplı indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri 2 ve 4 g/L GO kaplı numunelere kıyasla daha yüksek olarak elde edildi. En yüksek patlama mukavemeti değeri 1 g/L GO kaplı K2-30-12 numunesinde 531.3 kPa olarak elde edildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 13), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:4.986 > F_{\text{tablo}}:2.148$). K2-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 14), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:2.380 > F_{\text{tablo}}:2.216$). Bu sonuçlara göre, kuşburnu toz ekstraktı ile indirgeme işleminin PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve farklı indirgenme koşullarının indirgenmiş numunelerin mukavemetini etkilediği anlaşılmaktadır. Buradan, farklı konsantrasyonlarda GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın her bir indirgenme koşulunda patlama mukavemeti sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak indirgenme koşullarının patlama mukavemetine etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. K2-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 15), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:0.088 < F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 16), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:1.046 < F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 17), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:8.567 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 18), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:2.985 < F_{\text{tablo}}:5.143$). Buna göre, K2-30-12 koşullarında yapılan indirgenme işleminde farklı GO kaplama konsantrasyonlarının patlama mukavemetine etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 3.39. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları

Şekil 3.40’da PA 6,6 ve İGO/PA 6,6 kumaşlara ait patlama gerilimi sonuçları verilmiştir. Patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, en düşük gerilim değeri 33.1 mm olarak PA 6,6 çözümlü örme kumaşta elde edildiği görülmektedir. Genel olarak, kuşburnu ekstraktı ile farklı koşullarda indirgenmiş kumaşların patlama gerilimi değerlerinin PA 6,6 kumaşa göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Patlama geriliminde en yüksek değerlerin 4 g/L GO kaplı kuşburnu ile indirgenmiş numunelerde olduğu anlaşılmaktadır. PA 6,6 çözümlü örme kumaş ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 19), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:12.999 > F_{tablo}:2.148$). K2-IGO/PA 6,6 çözümlü örme kumaşların patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 20), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:2.795 > F_{tablo}:2.216$). Bu sonuçlara göre, kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenme işleminin PA 6,6 çözümlü örme kumaşın patlama gerilimini etkilediği ve ayrıca, indirgenmiş numunelerin patlama geriliminin indirgenme koşullarından etkilendiği anlaşılmaktadır. Buradan, her bir indirgenme koşulundaki patlama gerilimi sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak farklı GO kaplama konsantrasyonlarındaki numunelerde indirgenme koşullarının patlama gerilimine etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. K2-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü

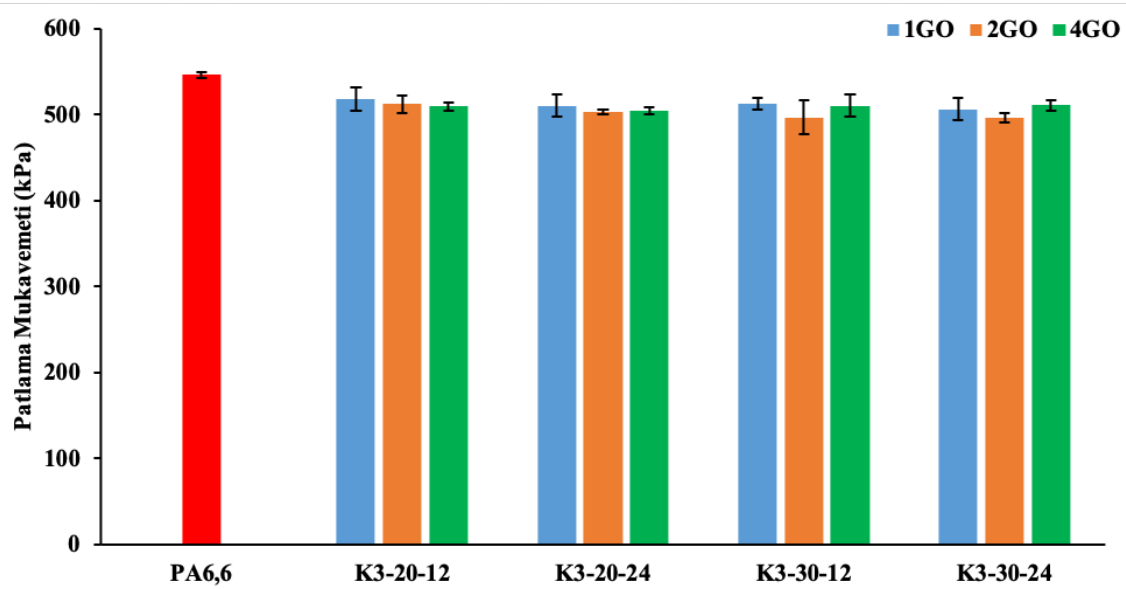
varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 21), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:7.173 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 22), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:4.361 < F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 23), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:3.029 < F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 24), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:3.065 < F_{\text{tablo}}:5.143$). Bu sonuçlara göre, K2-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerde GO kaplama konsantrasyonunun patlama gerilimini etkilediği söylenebilir.



Şekil 3. 40. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama gerilimi sonuçları

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplı karanfil ekstraktı ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları Şekil 3.41'de ve patlama gerilimi sonuçları Şekil 3.42'de verildi. İGO/PA 6,6 kumaşların patlama mukavemeti, PA 6,6 kumaşinkinden daha düşük olarak elde edildiği görülmektedir. Genel olarak incelendiğinde 1 g/L GO kaplı karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri 2 ve 4 g/L GO kaplı numunelere kıyasla daha yüksek olarak elde edildiği görülmektedir. En yüksek patlama mukavemeti değeri 1

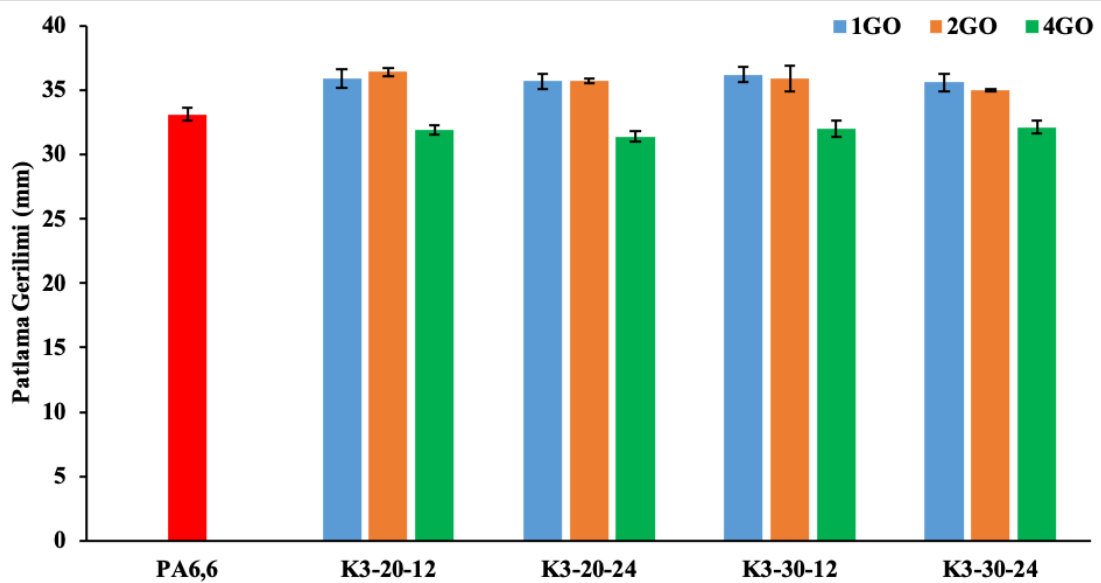
g/L GO kaplı K3-20-12 numunesinde 518.4 kPa olarak elde edildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 25), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:4.441 > F_{tablo}:2.148$). K3-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 26), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:1.134 < F_{tablo}:2.216$). Buna göre, karanfil toz ekstraktı ile indirgenme işleminin PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetini etkilediği ancak, indirgenme koşullarının karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetini etkilemediği söylenebilir.



Şekil 3.41. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama mukavemeti sonuçları

Şekil 3.42’de PA 6,6 ve İGO/PA 6,6 kumaşlara ait patlama gerilimi sonuçları verilmiştir. Patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, 1 ve 2 g/L GO kaplı karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin PA 6,6 kumaşından daha yüksek patlama gerilimine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, 4 g/L GO kaplı indirgenmiş numunelerin patlama gerilimi değerlerinin PA 6,6 kumaşından daha düşük olarak elde edildiği belirlendi. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 27), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur

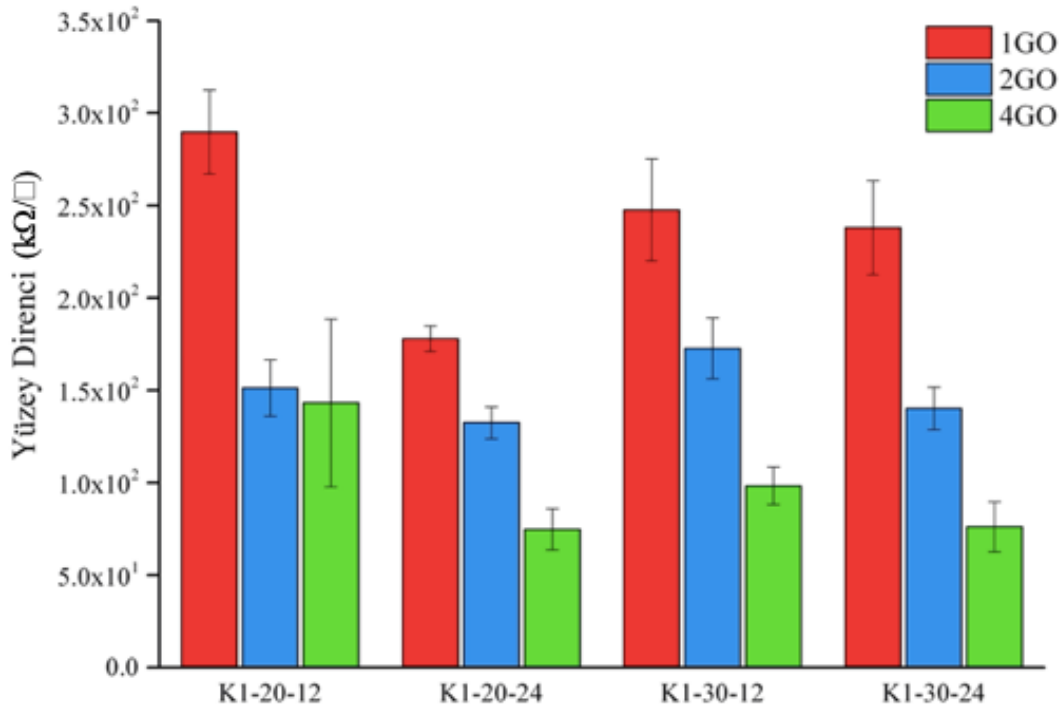
($F_{\text{hesap}}:35.182 > F_{\text{tablo}}:2.148$). K3-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 2-Tablo 28), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:36.489 > F_{\text{tablo}}:2.216$). Buna göre, karanfil toz ekstraktı ile indirgenme işlemiyle PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama gerilimi etkilendiği söylenebilir. Bunun yanı sıra, indirgenme koşullarının da karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama gerilimini etkilediği görülmüştür. Her bir indirgenme koşulundaki patlama gerilimi sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak GO kaplama konsantrasyonunun farklı indirgenme koşullarında patlama gerilimine etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. K3-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 29), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:88.401 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K3-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 30), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:97.524 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K3-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 31), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:26.314 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 2-Tablo 32), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:38.737 > F_{\text{tablo}}:5.143$). Bu sonuçlara göre, K3-20-12, K3-20-24, K3-30-12 ve K3-30-24 koşullarında gerçekleştirilen indirgenme işlemlerinde GO kaplama konsantrasyonunun patlama gerilimine etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 3.42. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait patlama gerilimi sonuçları

3.3.8. Yüzey direnci ölçüm sonuçları

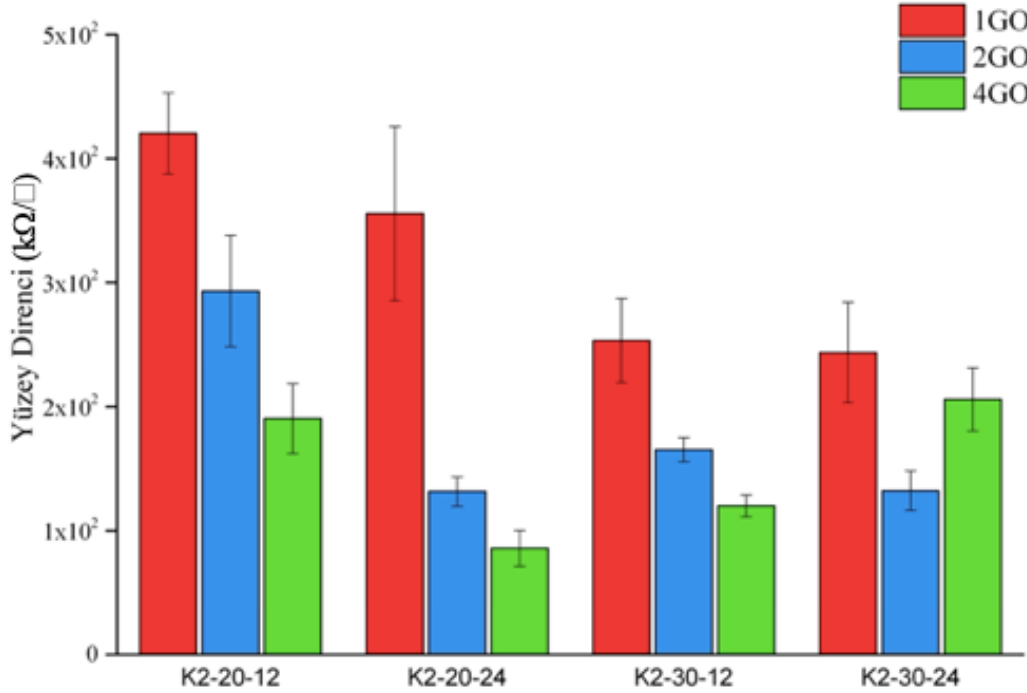
Daha önce de belirtildiği gibi tekstil malzemeleri yapıları gereği elektriksel olarak yalıtkan özelliktedir. GO da sahip olduğu oksijen içerikli fonksiyonel gruplardan dolayı elektriği iletmez, bu sebeple indirgeme işlemi uygulanarak elektriksel olarak iletken olan İGO'ya dönüşüm sağlanır. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanmış PA 6,6 kumaşın keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmesiyle elde edilen elektriksel yüzey direnci ölçüm sonuçları Şekil 3.43'te verildi. Keçiboynuzu ekstraktı ile yapılan indirgeme işlemiyle yüzey direnci, PA 6,6 kumaştan ve GO/PA 6,6 kumaşlardan daha düşük olarak elde edildi. GO kaplama konsantrasyonunun yüzey direnci üzerinde etkisi olduğu anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonunun 1 g/L'den 4 g/L'ye artmasıyla yüzey direnci değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Ayrıca, yüzey direnci, indirgeme işlemi parametrelerine bağlı olarak da değişim göstermektedir. Kütlece %20 ve %30 konsantrasyonda hazırlanan keçiboynuzu ekstraktı çözeltisinde yapılan indirgeme işleminde, yüzey direncinin, indirgeme süresinin 12 saatten 24 saate çıkarılmasıyla azaldığı görülmektedir. Keçiboynuzu ekstraktı ile yapılan indirgeme işleminde en düşük yüzey direnci, kütlece %20 konsantrasyonda ve 24 saat süre ile gerçekleştirilen indirgeme işleminde elde edildi. K1-20-24 koşullarında elde edilen en düşük yüzey direnci değeri ise 4 g/L GO kaplı numunede $7.48 \times 10^1 \text{ k}\Omega/\square$ olarak hesaplandı.



Şekil 3.43. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları

Şekil 3.44'te kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelere ait yüzey direnci ölçüm sonuçları verildi. Kuşburnu ekstraktı ile yapılan indirgeme işlemiyle yüzey direnci, PA 6,6 kumaştan ve GO/PA 6,6 kumaşlardan daha düşük olarak elde edildiği görülmektedir. GO kaplama konsantrasyonunun yüzey direnci üzerinde etkisi olduğu ve GO kaplama konsantrasyonunun 1 g/L'den 4 g/L'ye artmasıyla yüzey direnci değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Ayrıca, yüzey direnci, indirgeme işlemi parametrelerine bağlı olarak da değişim göstermektedir. Kütlece %20 ve %30 konsantrasyonda hazırlanan kuşburnu ekstraktı çözeltisinde yapılan indirgeme işleminde, yüzey direncinin, indirgeme süresinin 12 saatten 24 saate çıkarılmasıyla azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, kuşburnu ekstraktı miktarının da etkili olduğu söylenebilir. Kütlece %30 konsantrasyonda hazırlanan kuşburnu ekstraktı çözeltisi ile yapılan indirgeme işleminde, yüzey direnci sonuçlarının kütlece %20 konsantrasyonda yapılan indirgeme işleminde elde edilen sonuçlardan daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numuneler içerisinde 4GO-K2-20-24 numunesinde en düşük yüzey direnci 8.58×10^1 kΩ/□ olarak elde edilmiş olmasına rağmen, K2-30-24 koşullarındaki indirgeme işleminde 1GO-K2-30-24 ve 2GO-K2-30-24 numunelerinde en düşük yüzey direnci değerleri elde

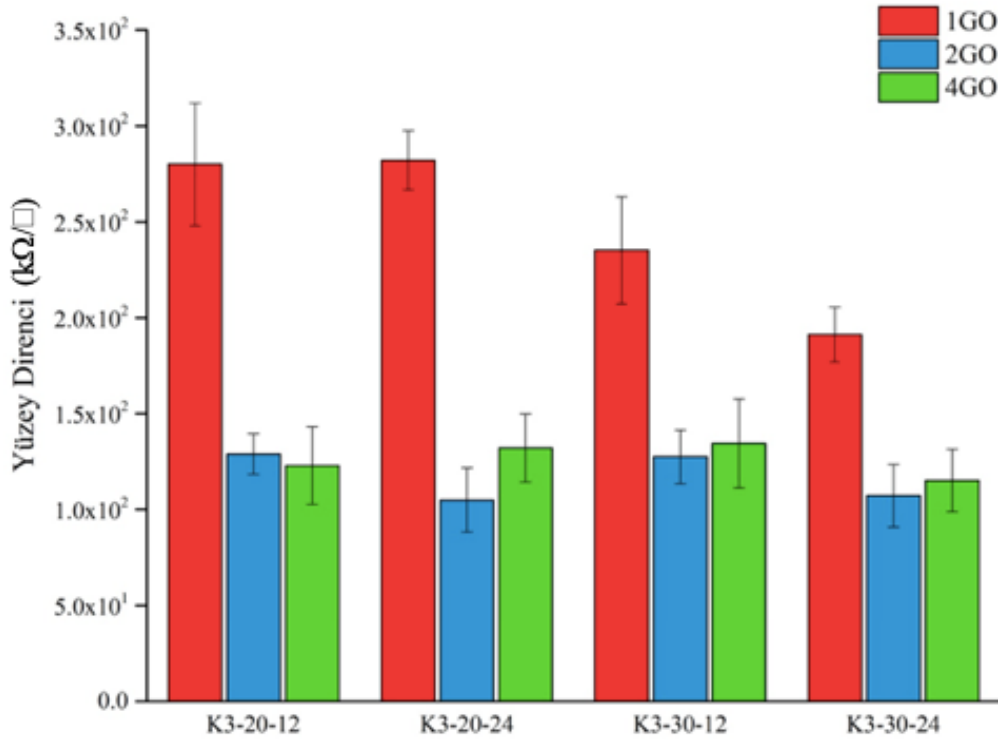
edildiğinden yıkama uygulamalarında bu serideki numuneler seçilmiştir. K2-30-24 koşullarında elde edilen en düşük yüzey direnci değeri ise 2 g/L GO kaplı numunede $1.32 \times 10^2 \text{ k}\Omega/\square$ olarak hesaplandı.



Şekil 3.44. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları

Şekil 3.45'te karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelere ait yüzey direnci ölçüm sonuçları verildi. Karanfil ekstraktı ile yapılan indirgeme işlemiyle yüzey direnci değerlerinin, PA 6,6 kumaştan ve GO/PA 6,6 kumaşlardan daha düşük olarak elde edildiği görülmektedir. GO kaplama konsantrasyonun yüzey direnci üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Kütlece %20 ve %30 konsantrasyonda hazırlanan karanfil ekstraktı çözeltilerinde yapılan indirgeme işleminde, yüzey direnci, konsantrasyona bağlı olarak değişim göstermektedir. Kütlece %30 konsantrasyonda hazırlanan karanfil ekstraktı çözeltisi ile yapılan indirgeme işleminde, yüzey direnci sonuçlarının indirgeme süresinin 12 saatten 24 saate çıkarılmasıyla azaldığı anlaşılmaktadır. Karanfil ekstraktı ile yapılan indirgeme işleminde en düşük yüzey direncinin, kütlece %30 konsantrasyonda ve 24 saat süre ile gerçekleştirilen indirgeme işleminde elde edildiği söylenebilir. K3-30-24

koşullarında elde edilen en düşük yüzey direnci değeri ise 2 g/L GO kaplı numunede $1.07 \times 10^2 \text{ k}\Omega/\square$ olarak hesaplandı.

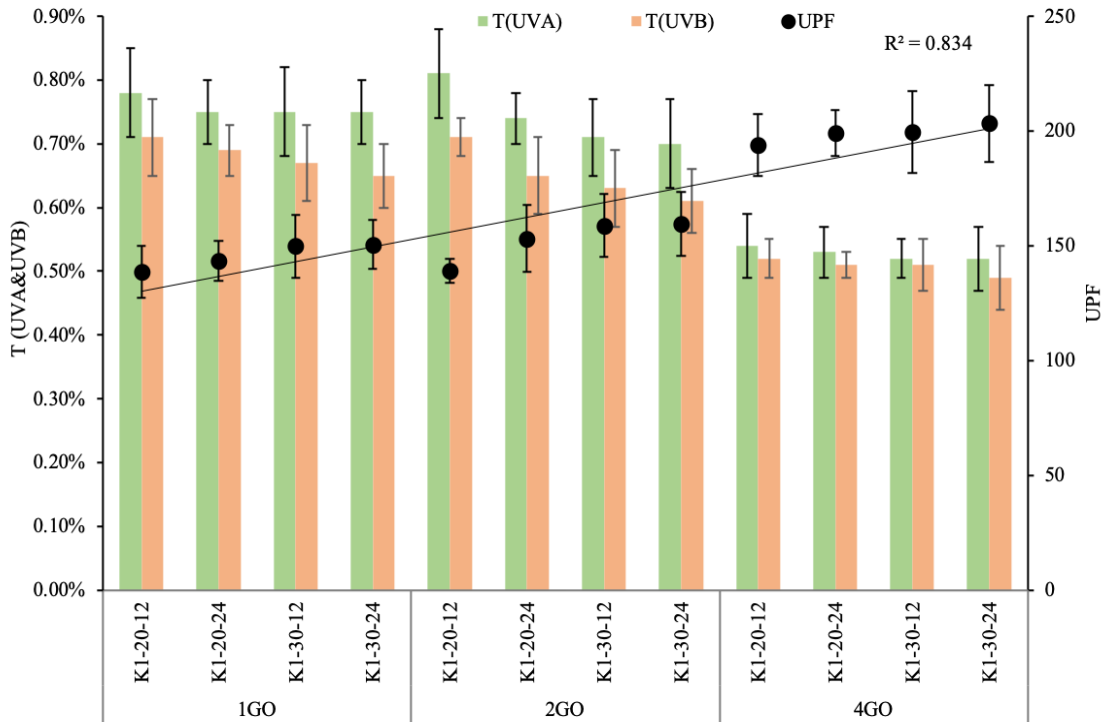


Şekil 3.45. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait yüzey direnci sonuçları

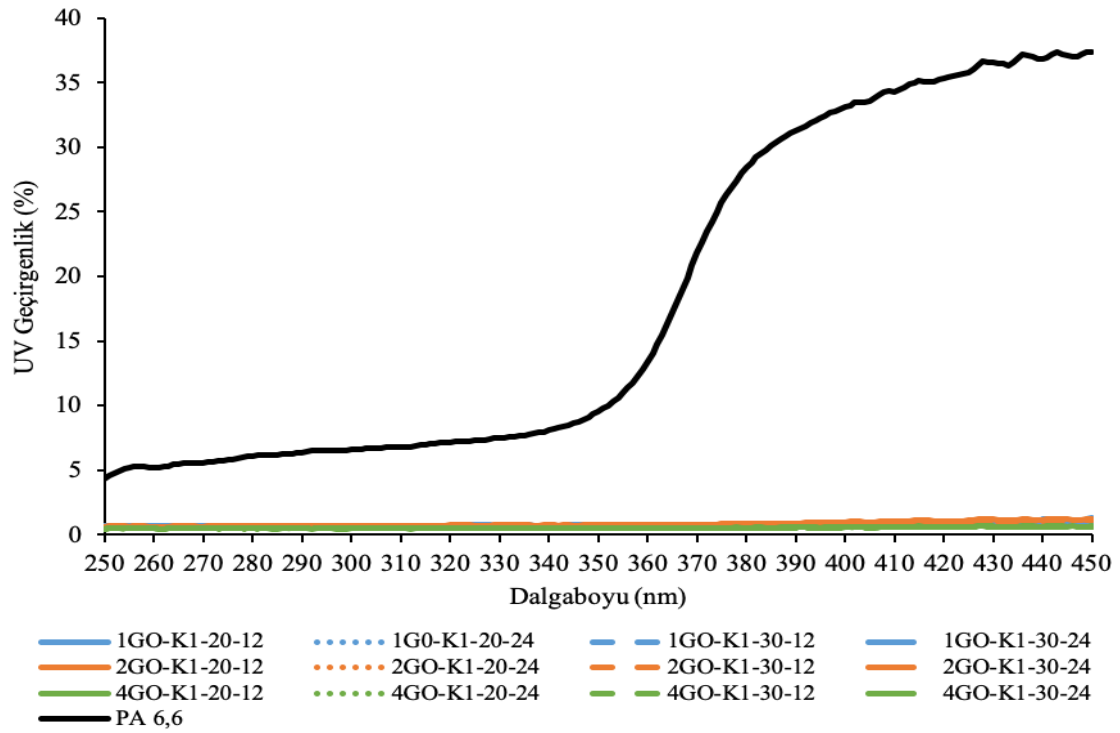
3.3.9. UV geçirgenlik analizi

1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaşın keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmesi sonrasında elde edilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.46 ve Şekil 3.47’de verildi. Şekil 3.46’da UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde, keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla UV geçirgenliğinin azaldığı ve UPF değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, her bir GO kaplama konsantrasyonundaki indirgenmiş numuneler incelendiğinde, UV geçirgenlik ve UV koruyuculuğun indirgenme koşullarına bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Keçiboynuzu ekstraktı ile hazırlanan indirgenme çözeltisinin konsantrasyonunun kütlece %20’den %30’a artırılmasıyla, UV geçirgenliğin azaldığı ve UV koruyuculuğun arttığı görülmektedir. İndirgenme işlem süresinin UV geçirgenlik ve UV koruyuculuk

değerlerindeki etkisinin daha düşük olduğu söylenebilir. Genel olarak bakıldığında, UVA geçirgenliğin UVB geçirgenliğe göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenme işlemiyle elde edilen numunelerin UPF değerleri 50'den büyük olduğu için, bu numunelerin mükemmel UV koruyuculuğa sahip olduğu ifade edilebilir. Elde edilen en düşük UPF değeri 138.62 olarak 1GO-K1-20-12 numunesinde ve en yüksek UPF değeri 203.25 olarak 4GO-K1-30-24 numunesinde tespit edildi. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.834$ olarak hesaplandı. Buna göre, UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenme koşullarına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. Şekil 3.47'de verilen UV geçirgenlik-Dalgaboyu grafiği incelendiğinde PA 6,6 kumaşın UVB bölgede (290-320 nm) daha düşük geçirgenliğe sahip olduğu ve UVA bölgede (320-400 nm) geçirgenliğin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin ise genel olarak daha düşük UV geçirgenliğe sahip olduğu belirgindir. UV geçirgenliğin, UVA ve UVB bölgede farklılık göstermediği ve düz bir doğru şeklinde elde edildiği görülmektedir.



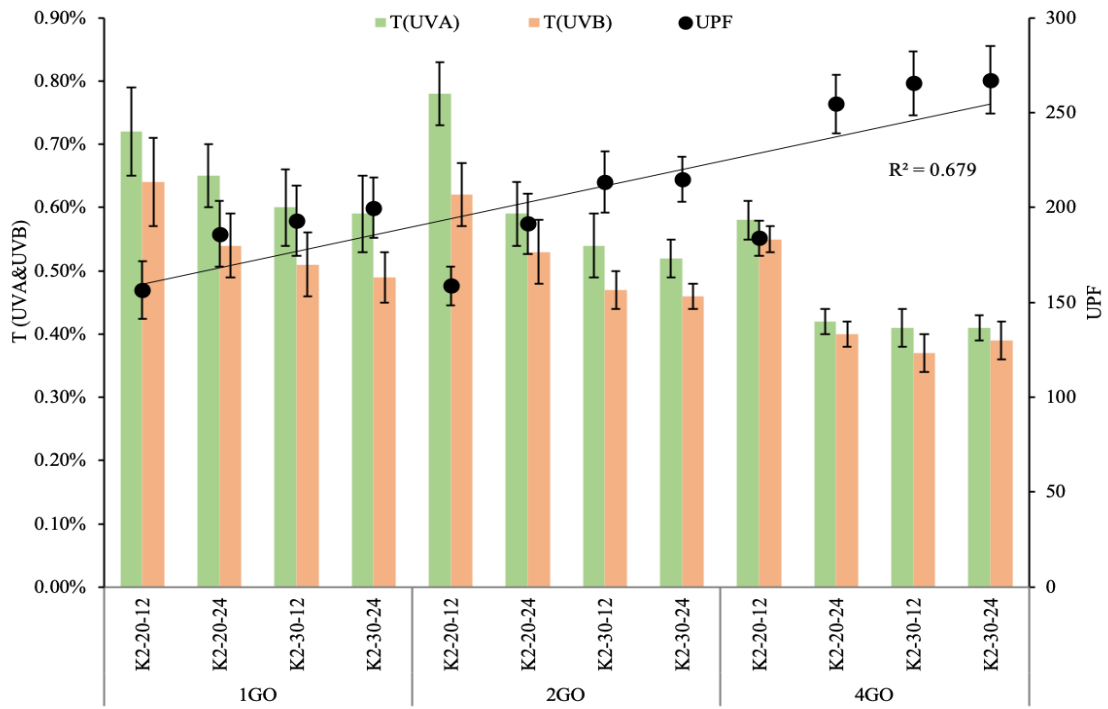
Şekil 3.46. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları



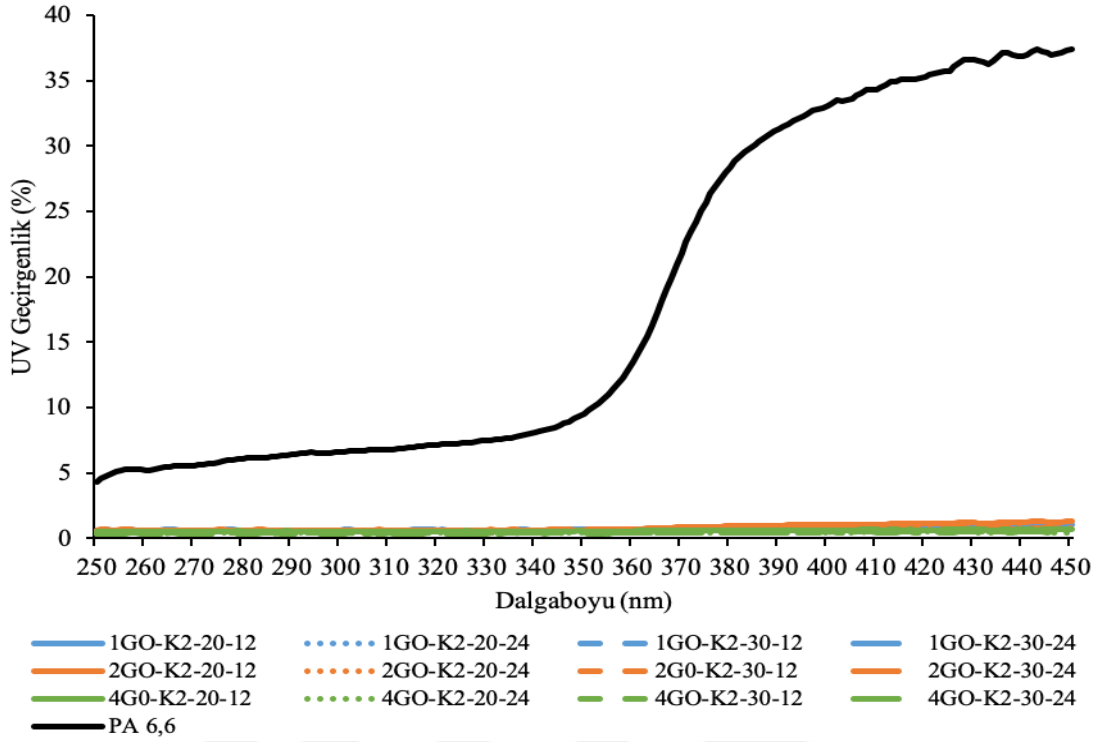
Şekil 3.47. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole geçirgenlik sonuçları

1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kuşburnu ekstraktı ile indirgenmesi sonrasında elde edilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.48 ve Şekil 3.49’da verildi. Şekil 3.48’de UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde, kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla UV geçirgenliğinin azaldığı ve UPF değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, her bir GO kaplama konsantrasyonundaki indirgenmiş numuneler incelendiğinde, UV geçirgenlik ve UV koruyuculuğun indirgenme koşullarına bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.679$ olarak hesaplandı. Buna göre, UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenme koşullarına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. Kütlece %20 konsantrasyonda hazırlanan kuşburnu ekstraktı çözeltisi ile yapılan indirgenme işleminde, indirgenme işlem süresinin 12 saatten 24 saate çıkarılmasıyla UV geçirgenlikteki azalma ve UV koruyuculuktaki artış belirgin olarak görülmektedir. Ancak, kütlece %30 konsantrasyondaki çözelti ile yapılan indirgenme işleminde, indirgenme işlem süresinin etkisi çok fazla değildir. Bunun yanı sıra, kuşburnu ekstraktı ile hazırlanan indirgenme çözeltisinin konsantrasyonunun kütlece %20’den

%30'a artırılmasıyla, UV geçirgenliğin azaldığı ve UV koruyuculuğun arttığı da görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, UVA geçirgenliğin UVB geçirgenliğe göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kuşburnu ekstraktı ile indirgenme işlemiyle elde edilen numunelerin UPF değerleri 50'den büyük olduğu için, bu numunelerin mükemmel UV koruyuculuğa sahip olduğu ifade edilebilir. Elde edilen en düşük UPF değeri 156.47 olarak 1GO-K2-20-12 numunesinde ve en yüksek UPF değeri 267.30 olarak 4GO-K2-30-24 numunesinde tespit edildi. Şekil 3.49'da verilen UV geçirgenlik-Dalgaboyu grafiği incelendiğinde PA 6,6 kumaşın indirgenmiş numunelere göre yüksek UV geçirgenliğe sahip olduğu belirgin olarak görülmektedir. Kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin ise oldukça düşük UV geçirgenliğe sahip olduğu belirgindir. UV geçirgenliğin, UVA ve UVB bölgede farklılık göstermediği ve düz bir doğru şeklinde elde edildiği görülmektedir.



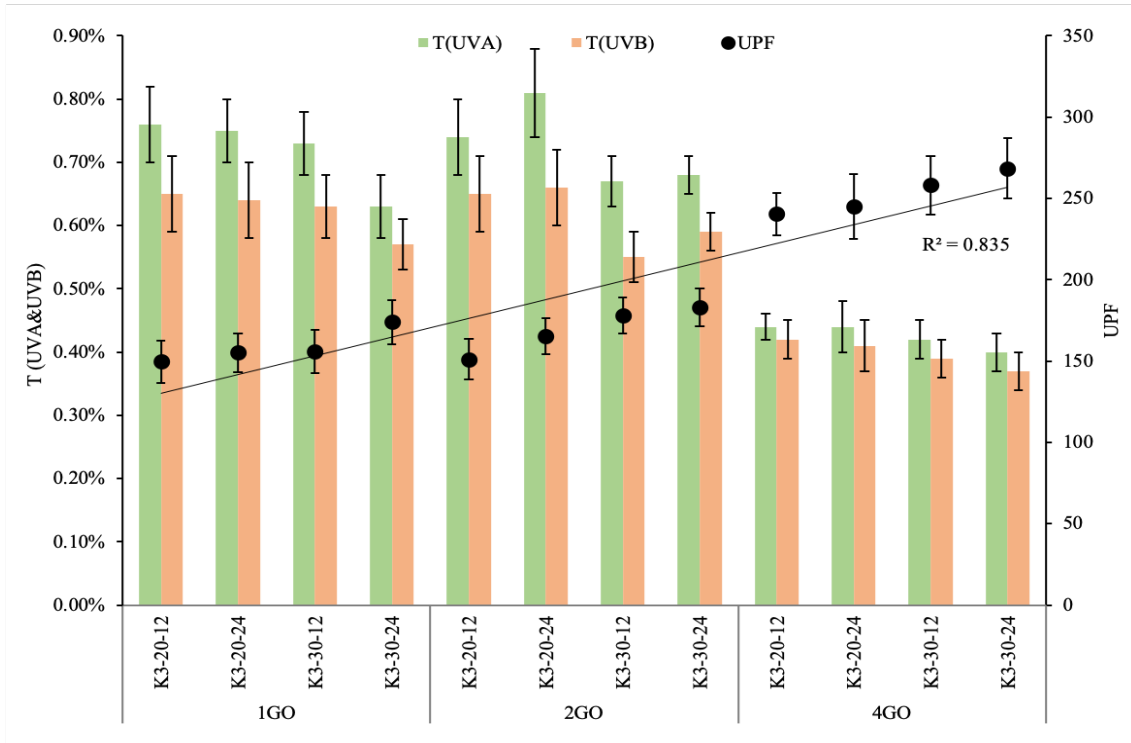
Şekil 3.48. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları



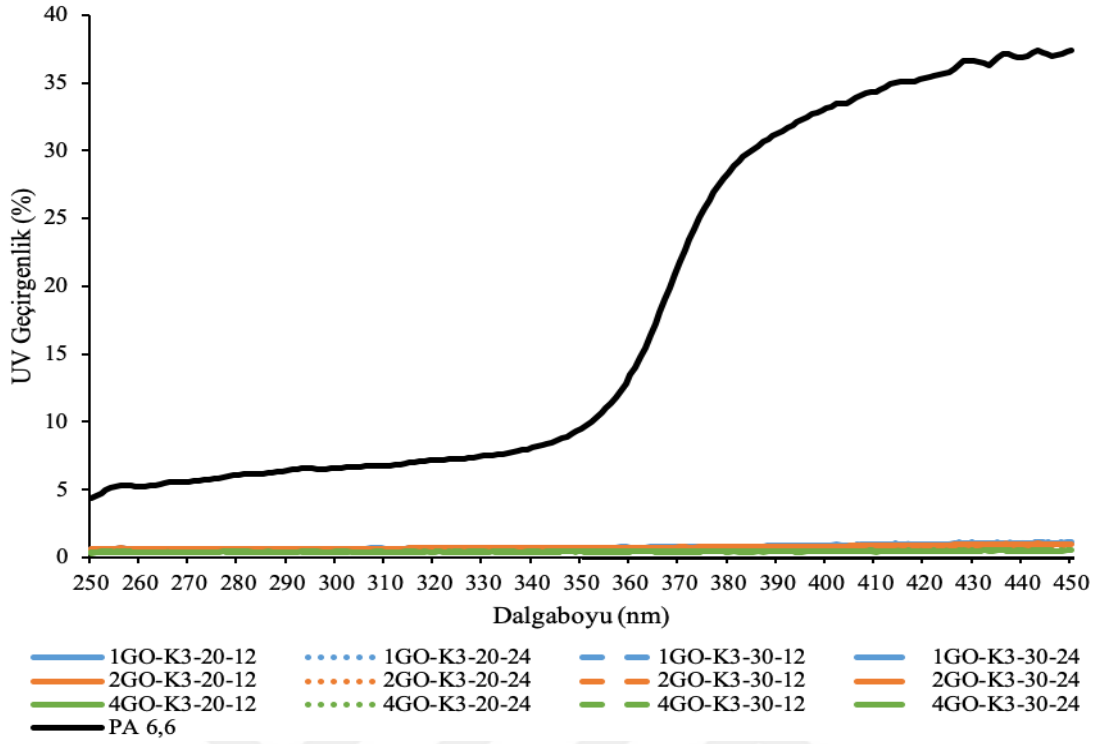
Şekil 3.49. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole geçirgenlik sonuçları

1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplanan PA 6,6 çözgümlü örme kumaşın karanfil ekstraktı ile indirgenmesi sonrasında elde edilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.50 ve Şekil 3.51’de verildi. Şekil 3.50’de verilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde, karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla UV geçirgenliğinin azaldığı ve UPF değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, her bir GO kaplama konsantrasyonundaki indirgenmiş numuneler incelendiğinde, UV geçirgenlik ve UV koruyuculuğun indirgenme koşullarına bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.835$ olarak hesaplandı. Buna göre, UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenme koşullarına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. Kütlece %20 ve %30 konsantrasyonda hazırlanan karanfil ekstraktı çözeltileri ile yapılan indirgenme işleminde, indirgenme işlem süresinin 12 saatten 24 saate çıkarılmasıyla UV geçirgenlikte azalma ve UV koruyuculukta artış olduğu görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, 1 g/L GO kaplı indirgenmiş numuneler hariç, UVA ve UVB bölgelerdeki geçirgenlik değerlerinin aynı elde edildiği görülmektedir. Karanfil ekstraktı ile indirgenme işlemiyle elde edilen numunelerin UPF

değerleri 50’den büyük olduğu için, bu numunelerin mükemmel UV koruyuculuğa sahip olduğu ifade edilebilir. Elde edilen en düşük UPF değeri 149.63 olarak 1GO-K3-20-12 numunesinde ve en yüksek UPF değeri 268.49 olarak 4GO-K3-30-24 numunesinde tespit edildi. Şekil 3.51’de verilen UV geçirgenlik-Dalgaboyu grafiği incelendiğinde PA 6,6 kumaşın indirgenmiş numunelere göre yüksek UV geçirgenliğe sahip olduğu belirgin olarak görülmektedir. Karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin ise oldukça düşük UV geçirgenliğe sahip olduğu belirgindir. UV geçirgenliğin, UVA ve UVB bölgede farklılık göstermediği ve düz bir doğru şeklinde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.50. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları



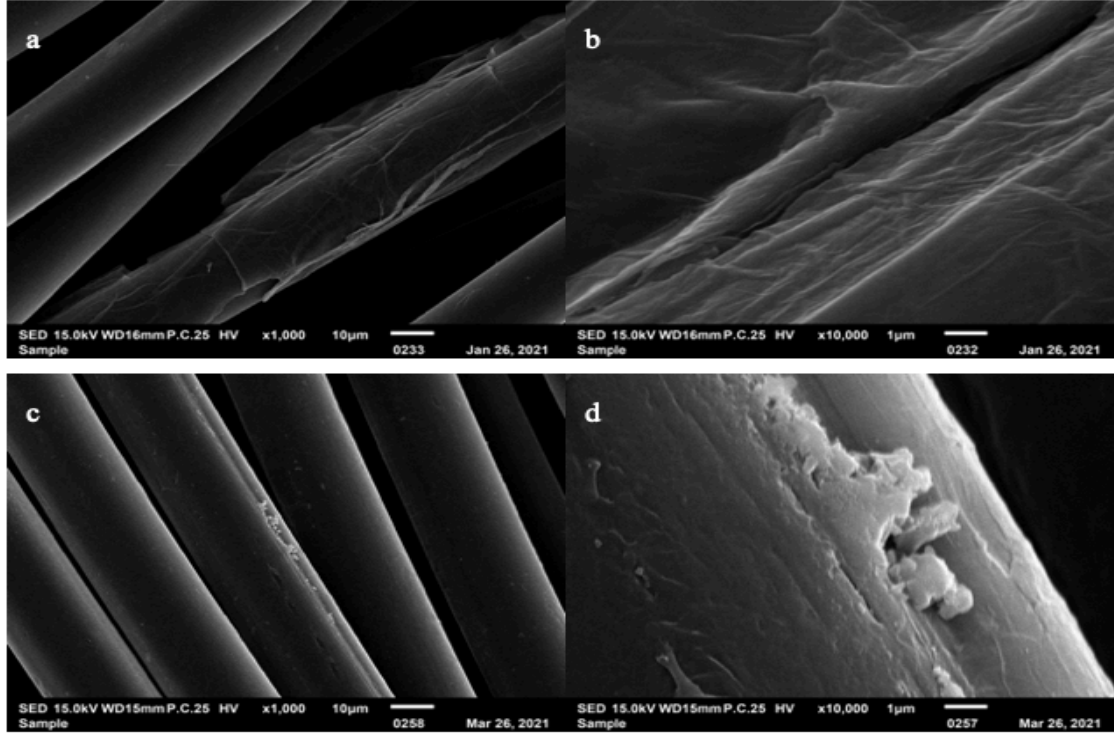
Şekil 3.51. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşa ait ultraviyole geçirgenlik sonuçları

3.4. Çevre dostu ekstraktlar ile indirgenmiş GO kaplı Poliamid 6,6 kumaşın yıkama dayanımının değerlendirilmesi

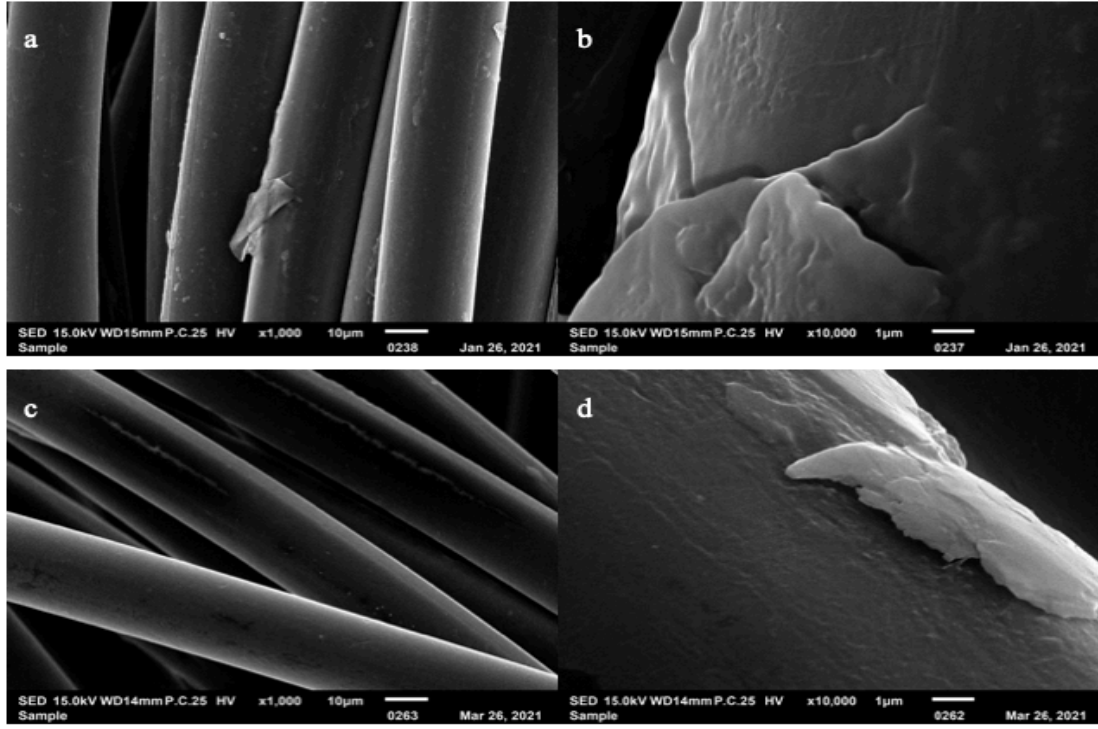
3.4.1. SEM analizi

Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları indirgenmiş GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın yıkama sonrasına ait yüzey incelemesi SEM görüntüleri ile gerçekleştirildi. 2GO-K1-20-24, 2GO-K2-30-24 ve 2GO-K3-30-24 numunelerinin 1 ve 10 yıkama sonrasına ait SEM görüntüleri, sırasıyla, Şekil 3.52, 3.53 ve 3.54'te 1000x ve 10000x büyütme oranlarında verildi. Yıkama işlemleri sonrasında kumaş yüzeyinde İGO nanotabakaların varlığı SEM görüntüleri ile gösterilmiştir. 1 yıkama sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde, filamentler üzerine sarılmış şekilde ve filamentler arasında İGO nanotabakaların varlığı görülmektedir. 10000x büyütme oranında filament üzerine sarılmış İGO nanotabakanın karakteristik yapısı olan hafif kıvrımlı ve buruşuk formda olduğu anlaşılmaktadır. 10 yıkama sonrasında ise 1000x büyütme oranındaki görüntülerde filamentlerin üzerinde ve arasında İGO nanotabakaların varlığı belirgin

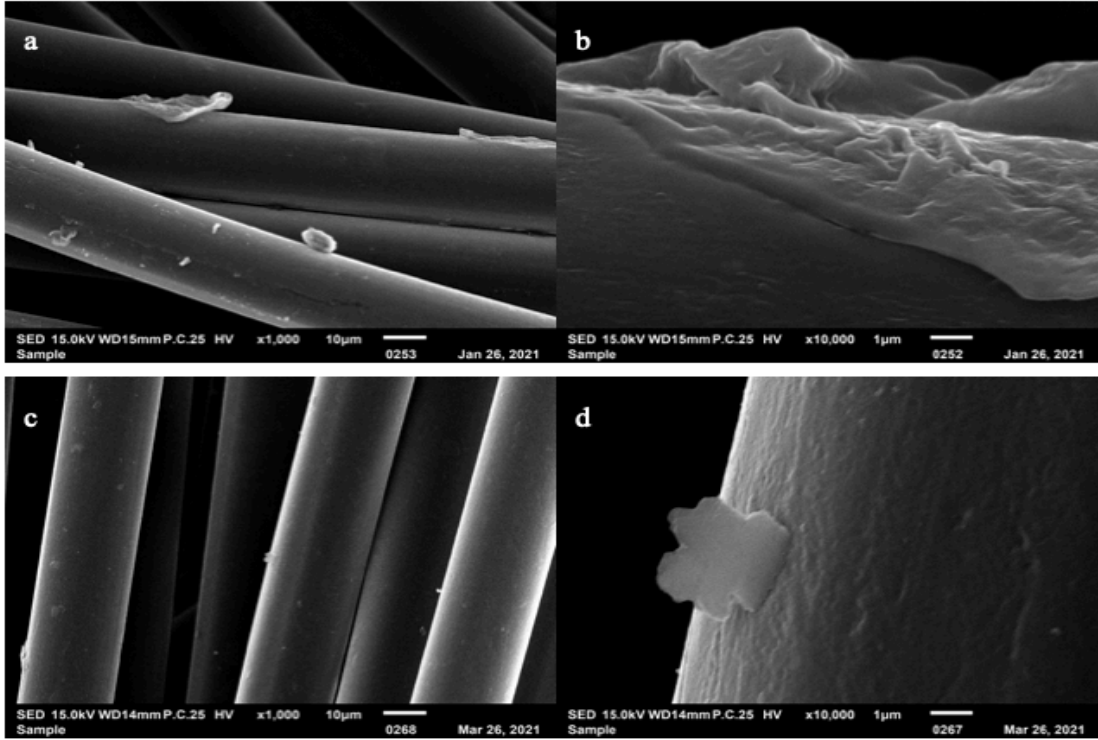
olarak görülmemektedir. 10000x büyütme oranında filament üzerine sarılmış IGO nanotabakalar ayırt edilmektedir. Buradan yıkama işlemleriyle PA 6,6 çözgülü örme kumaş üzerinde IGO nanotabakaların olduğu ancak yıkama sayısının artmasıyla kumaş yüzeyinden IGO nanotabakaların uzaklaştığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.52. 2GO-K1-20-24 numunesine ait 1000x ve 10000x büyütmelerde SEM görüntüleri, (a, b) 1 yıkama sonrası ; (c, d) 10 yıkama sonrası



Şekil 3.53. 2GO-K2-30-24 numunesine ait 1000x ve 10000x büyütmelemlerde SEM görüntüleri, (a, b) 1 yıkama sonrası ; (c, d) 10 yıkama sonrası.



Şekil 3.54. 2GO-K3-30-24 numunesine ait 1000x ve 10000x büyütmelemlerde SEM görüntüleri, (a, b) 1 yıkama sonrası ; (c, d) 10 yıkama sonrası.

3.4.2. Renk ölçüm sonuçları

Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 kumaşların 1 ve 10 yıkama sonrasındaki renk ölçüm analizi sonuçları, sırasıyla, Tablo 3.13-3.14, 3.15-3.16 ve 3.17-3.18’de verildi. Tablo 3.13’te verilen keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla L^* değerinde düşüş olduğu görülmektedir. a^* ve b^* değerleri değerlendirildiğinde, yıkama işlemiyle, a^* ve b^* değerlerinde artış olduğu, özellikle b^* değerinin pozitif yönde artışıyla sarı renkte artış olduğu görülmektedir. C^* değerinin ve h açısının da, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla azalma eğiliminde olduğu söylenebilir. Ayrıca, genel olarak, yıkama işlemiyle renk ölçüm değerlerinin yıkama öncesi değerlere göre bir miktar arttığı görülmektedir. Buradan, kumaş yüzeyinde tam olarak tutunamayan İGO partiküllerin yıkama işlemiyle uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Renk farkı sonuçları incelendiğinde, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla ΔE değerlerinin arttığı söylenebilir. Her bir GO kaplama konsantrasyonunda çalışılan indirgeme koşullarının, elde edilen numunelerin ΔE değerlerinde belirgin bir farklılık yaratmadığı görülmektedir.

Tablo 3.13. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
1GO-K1-20-12-Y1	33.75	0.68	5.44	5.49	82.89	7.55	7.89	6.96	0.34	0.35	59.744
1GO-K1-20-24-Y1	33.22	0.98	5.66	5.75	80.20	7.34	7.64	6.66	0.34	0.35	60.300
1GO-K1-30-12-Y1	33.42	0.97	5.61	5.69	80.14	7.43	7.73	6.77	0.34	0.35	60.093
1GO-K1-30-24-Y1	33.60	1.38	7.34	7.47	79.37	7.56	7.82	6.41	0.35	0.36	60.046
2GO-K1-20-12-Y1	31.33	0.80	3.73	3.82	77.89	6.51	6.79	6.33	0.33	0.35	62.105
2GO-K1-20-24-Y1	31.29	0.83	4.57	4.65	79.72	6.50	6.78	6.11	0.34	0.35	62.168
2GO-K1-30-12-Y1	31.67	1.23	6.28	6.40	78.91	6.70	6.94	5.87	0.34	0.36	61.889
2GO-K1-30-24-Y1	30.30	0.90	4.74	4.83	79.19	6.11	6.36	5.68	0.34	0.35	63.164
4GO-K1-20-12-Y1	30.53	0.73	4.24	4.30	80.22	6.19	6.45	5.88	0.33	0.35	62.914
4GO-K1-20-24-Y1	30.24	0.77	3.90	3.97	78.80	6.08	6.34	5.85	0.33	0.35	63.046
4GO-K1-30-12-Y1	30.31	0.54	3.48	3.52	81.25	6.08	6.36	5.98	0.33	0.35	63.105
4GO-K1-30-24-Y1	30.39	0.74	4.00	4.07	79.46	6.13	6.40	5.88	0.33	0.35	63.190

Yıkama öncesi yapılan yüzey direnci ölçüm sonuçlarında, K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin en düşük elektriksel dirence sahip numuneler olduğu belirlenmişti. İndirgenme işleminin etkisinin belirlenmesinde, numunenin elektriksel iletkenlik özelliği önemli bir kriter olduğundan ileri yıkama dayanımının belirlenmesinde K1-20-24 numuneleri test ve analiz edildi. Tablo 3.14'te verilen K1-20-24 koşullarında elde edilen indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, L* değerinin, 1 yıkama sonrası sonucuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak, a* ve b* değerlerinin de arttığı ve kumaşta kırmızı ve sarı renk bileşenlerinin arttığı söylenebilir. Renk farkı ise, 1 yıkama sonrası elde edilen sonuçlara göre daha düşük olarak hesaplandı. Buradan, yıkama işleminin artmasıyla kumaş yüzeyinden daha fazla İGO partiküllerin uzaklaştığı anlaşılmaktadır. GO kaplama

konsantrasyonunun, 10 yıkama sonrası renk değerlerinde çok fazla etkisinin olmadığı da söylenebilir.

Tablo 3.14. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
1GO-K1-20-24-Y10	34.43	1.49	8.45	8.58	80.02	7.95	8.21	6.49	0.35	0.36	59.338
2GO-K1-20-24-Y10	34.58	1.31	8.15	8.26	80.89	8.00	8.29	6.63	0.35	0.36	59.151
4GO-K1-20-24-Y10	34.35	0.97	6.83	6.90	81.90	7.86	8.18	6.86	0.34	0.36	59.252

Tablo 3.15’te verilen kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla L* değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Ayrıca, yıkama öncesi sonuçlara göre L* değerlerinde artış olduğunu belirtmek gerekir. Yıkama işlemiyle, a* ve b* değerlerinde artış olduğu, özellikle b* değerinin pozitif yönde artışıyla kumaşta sarı renk bileşeninde artış olduğu söylenebilir. C* değerinin ve h açısının da, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca, genel olarak, yıkama işlemiyle renk ölçüm değerlerinin yıkama öncesi değerlere göre artış gösterdiği söylenebilir. Renk farkı sonuçları incelendiğinde, yıkama öncesi sonuçlara göre ΔE değerlerinin azaldığı belirlendi. Elde edilen bu sonuçlardan, kumaş yüzeyinde tam olarak tutunamayan İGO partiküllerin yıkama işlemiyle uzaklaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.15. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
1GO-K2-20-12-Y1	34.04	0.14	4.59	4.59	88.31	7.62	8.03	7.31	0.33	0.35	59.410
1GO-K2-20-24-Y1	32.23	0.77	5.02	5.07	81.27	6.89	7.19	6.40	0.34	0.35	61.245
1GO-K2-30-12-Y1	34.45	0.08	5.71	5.71	89.25	7.81	8.23	7.20	0.34	0.35	59.052
1GO-K2-30-24-Y1	34.33	0.19	6.53	6.54	88.37	7.76	8.17	6.93	0.34	0.36	59.232
2GO-K2-20-12-Y1	31.31	0.36	4.15	4.17	85.04	6.47	6.78	6.22	0.33	0.35	62.125
2GO-K2-20-24-Y1	31.41	0.41	4.44	4.46	84.67	6.51	6.83	6.20	0.33	0.35	62.031
2GO-K2-30-12-Y1	31.56	0.30	3.51	3.52	85.04	6.56	6.89	6.49	0.33	0.35	61.958
2GO-K2-30-24-Y1	31.48	0.29	4.44	4.45	86.22	6.53	6.86	6.23	0.33	0.35	61.856
4GO-K2-20-12-Y1	30.74	0.45	3.27	3.30	82.15	6.24	6.54	6.20	0.33	0.34	62.672
4GO-K2-20-24-Y1	30.60	0.48	4.00	4.03	83.10	6.19	6.48	5.97	0.33	0.35	62.835
4GO-K2-30-12-Y1	30.27	0.41	3.69	3.71	83.58	6.05	6.34	5.91	0.33	0.35	63.154
4GO-K2-30-24-Y1	30.85	0.43	4.83	4.85	84.91	6.28	6.59	5.87	0.34	0.35	62.613

Yıkama öncesi yapılan yüzey direnci ölçüm sonuçlarında, K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin en düşük elektriksel dirence sahip numuneler olduğu belirlenmişti. İndirgenme işleminin etkisinin belirlenmesinde, numunenin elektriksel iletkenlik özelliği önemli bir kriter olduğundan ileri yıkama dayanımının belirlenmesinde K2-30-24 numuneleri test ve analiz edildi. Tablo 3.16’da verilen K2-30-24 koşullarında elde edilen indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, L* değerinin, 1 yıkama sonrası sonucuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak, a* ve b* değerlerinin de arttığı ve kumaşta kırmızı ve sarı renk bileşenlerinin arttığı söylenebilir. Ayrıca, b* değerindeki artışın a* değerinden daha fazla olduğu, dolayısıyla sarı renk bileşendeki artış kırmızıdan daha fazladır. Renk farkı ise, 1 yıkama sonrası elde edilen sonuçlara göre daha düşük olarak hesaplandı. Buradan, yıkama işleminin artmasıyla kumaş yüzeyinden daha fazla İGO partiküllerin uzaklaştığı

anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonunun, 10 yıkama sonrası renk değerlerinde çok fazla etkisinin olmadığı da söylenebilir.

Tablo 3.16. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
1GO-K2-30-24-Y10	34.80	0.36	7.55	7.56	87.26	8.00	8.40	6.88	0.34	0.36	58.848
2GO-K2-30-24-Y10	33.45	0.32	6.33	6.33	87.12	7.38	7.75	6.60	0.34	0.36	60.097
4GO-K2-30-24-Y10	33.43	0.26	5.31	5.32	87.18	7.36	7.74	6.85	0.34	0.35	60.050

Tablo 3.17’de verilen karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla L* değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Ayrıca, yıkama öncesi sonuçlara göre L*, a* ve b* değerlerinde artış olduğunu belirtmek gerekir. Yıkama işlemiyle, a* ve b* değerlerindeki artışla, kumaşta kırmızı ve sarı renk bileşenlerinde artış olduğu söylenebilir. C* değeri ve h açısı da, yıkama işlemiyle artmıştır. Renk farkı sonuçları incelendiğinde, yıkama öncesi sonuçlara göre ΔE değerlerinin azaldığı, ancak GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlardan, kumaş yüzeyinde tam olarak tutunamayan karanfil ekstraktı ile indirgenmiş GO partiküllerin yıkama işlemiyle uzaklaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.17. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
1GO-K3-20-12-Y1	33.40	1.30	6.39	6.52	78.53	7.46	7.73	6.56	0.34	0.36	60.169
1GO-K3-20-24-Y1	33.18	1.21	6.54	6.65	79.54	7.35	7.62	6.43	0.34	0.36	60.400
1GO-K3-30-12-Y1	32.70	1.07	5.66	5.76	79.28	7.13	7.40	6.44	0.34	0.35	60.814
1GO-K3-30-24-Y1	32.67	1.07	5.57	5.67	79.17	7.11	7.39	6.45	0.34	0.35	60.843
2GO-K3-20-12-Y1	31.59	0.69	4.12	4.17	80.51	6.61	6.91	6.35	0.33	0.35	61.849
2GO-K3-20-24-Y1	31.18	0.85	5.07	5.14	80.50	6.46	6.73	5.95	0.34	0.35	62.304
2GO-K3-30-12-Y1	31.50	0.60	3.77	3.82	80.94	6.57	6.87	6.40	0.33	0.35	61.927
2GO-K3-30-24-Y1	31.19	1.13	5.99	6.10	79.34	6.49	6.73	5.74	0.34	0.35	61.053
4GO-K3-20-12-Y1	30.66	0.77	4.33	4.40	79.91	6.24	6.51	5.91	0.33	0.35	62.792
4GO-K3-20-24-Y1	30.50	0.76	3.57	3.65	78.04	6.18	6.44	6.03	0.33	0.35	62.921
4GO-K3-30-12-Y1	30.69	0.82	4.72	4.79	80.20	6.26	6.52	5.84	0.34	0.35	62.768
4GO-K3-30-24-Y1	30.60	0.81	3.92	4.00	78.29	6.22	6.48	5.99	0.33	0.35	62.833

Yıkama öncesi yapılan yüzey direnci ölçüm sonuçlarında, K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin en düşük elektriksel dirence sahip numuneler olduğu belirlenmişti. Bundan dolayı, ileri yıkama dayanımının belirlenmesinde K3-30-24 numuneleri test ve analiz edildi. Tablo 3.18’de verilen K3-30-24 koşullarında elde edilen indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları incelendiğinde, L* değerinin, 1 yıkama sonrası sonucuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ek olarak, a* ve b* değerlerinin de arttığı ve kumaşa kırmızı ve sarı renk bileşenlerinin arttığı söylenebilir. Ayrıca, b* değerindeki artışın a* değerinden daha fazla olduğu, dolayısıyla sarı renk bileşenindeki artış kırmızıdan daha fazladır. Renk farkı ise, 1 yıkama sonrası elde edilen sonuçlara göre daha düşük olarak hesaplandı. Buradan, yıkama işleminin artmasıyla kumaş yüzeyinden daha fazla İGO partiküllerin uzaklaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.18. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrası renk ölçüm sonuçları

Numune	L*	a*	b*	C*	h	X	Y	Z	x	y	ΔE
1GO-K3-30-24-Y10	34.34	1.58	8.78	8.92	79.79	7.92	8.17	6.37	0.35	0.36	59.464
2GO-K3-30-24-Y10	33.42	1.29	7.51	7.62	80.22	7.47	7.73	6.29	0.35	0.36	60.239
4GO-K3-30-24-Y10	33.79	1.3	7.52	7.64	80.16	7.61	7.88	6.42	0.35	0.36	59.935

3.4.3. Sürtmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi

Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 kumaşların 1 yıkama sonrasında sürtmeye karşı renk haslığı değerlendirmeleri, sırasıyla, Tablo 3.19, 3.20 ve 3.21’de verildi. Yıkama işlemiyle PA 6,6 kumaş yüzeyinde fiziksel olarak tutunan İGO tabakaların dayanımının belirlenmesi amacıyla sürtmeye karşı renk haslığı testi gerçekleştirildi. Sürtmeye karşı renk haslığı değerlendirmesine göre, yıkama işlemi sonrasında İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kuru sürtme ve yaş sürtmeye karşı renk dayanımının yıkama öncesine göre daha iyi elde edildiği görülmektedir. Tablo 3.19, 3.20 ve 3.21’de verilen indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası sürtme haslıkları incelendiğinde, özellikle kuru sürtme değerlendirmesinde elde sonuçların çok iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca, kumaş yönüne göre sürtme haslığı sonucunun değişim göstermediği belirgin olarak görülmektedir. Yaş sürtme haslığı değerlendirmelerinde ise, orta derece sonuçların elde edildiği ve kumaş yönüne bağlı olarak sonuçların farklılaştığı söylenebilir. Kumaş çubuk yönünde yaş sürtme haslığı daha iyi olarak bulunurken, kumaş satır yönünde değerlendirmelerde daha kötü sonuçların elde edildiği görülmektedir. Ek olarak, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak yaş sürtme haslığı kötüleşmektedir. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgeme işlemlerinde çalışılan indirgeme parametrelerinin yıkama sonrası sürtmeye karşı renk haslığı sonuçlarında farklılık yaratmadığı söylenebilir.

Tablo 3.19. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Kumaş Test Yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
1GO-K1-20-12-Y1	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
1GO-K1-20-24-Y1	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
1GO-K1-30-12-Y1	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
1GO-K1-30-24-Y1	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
2GO-K1-20-12-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
2GO-K1-20-24-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
2GO-K1-30-12-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
2GO-K1-30-24-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K1-20-12-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K1-20-24-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K1-30-12-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K1-30-24-Y1	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2

Tablo 3.20. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Kumaş Test Yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
1GO-K2-20-12-YI	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
1GO-K2-20-24-YI	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
1GO-K2-30-12-YI	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
1GO-K2-30-24-YI	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
2GO-K2-20-12-YI	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
2GO-K2-20-24-YI	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
2GO-K2-30-12-YI	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
2GO-K2-30-24-YI	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K2-20-12-YI	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4	1-2
4GO-K2-20-24-YI	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K2-30-12-YI	Çubuk yönü	4-5	3
	Satır yönü	4-5	2
4GO-K2-30-24-YI	Çubuk yönü	4-5	3
	Satır yönü	4-5	2-3

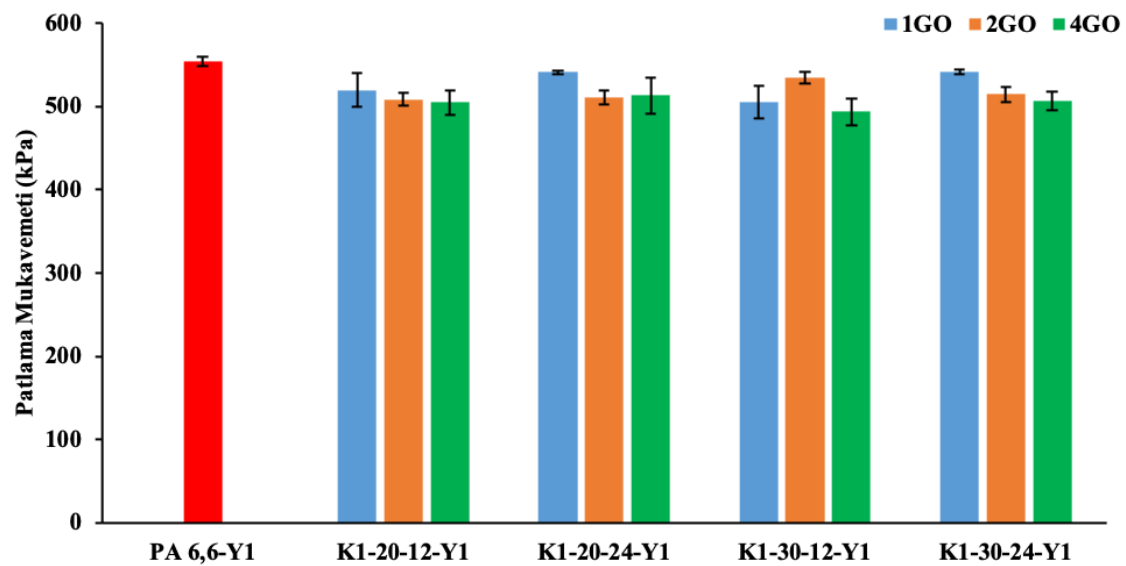
Tablo 3.21. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait sürtmeye karşı renk haslığı sonuçları

<i>Numune</i>	<i>Kumaş Test Yönü</i>	<i>Kuru Sürtme</i>	<i>Yaş Sürtme</i>
<i>1GO-K3-20-12-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>1GO-K3-20-24-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>1GO-K3-30-12-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>1GO-K3-30-24-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>2GO-K3-20-12-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
<i>2GO-K3-20-24-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>2GO-K3-30-12-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	2-3
	Satır yönü	4-5	2
<i>2GO-K3-30-24-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>4GO-K3-20-12-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3
	Satır yönü	4-5	3
<i>4GO-K3-20-24-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>4GO-K3-30-12-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3
<i>4GO-K3-30-24-YI</i>	Çubuk yönü	4-5	3-4
	Satır yönü	4-5	2-3

3.4.4. Patlama mukavemeti sonuçları

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplı keçi boynuzu ekstraktı ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrası ve K1-20-24 numunelerinin yıkama öncesi, 1 yıkama ve 10 yıkama sonrasına ait karşılaştırmalı patlama mukavemeti sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.55 ve 3.57’de ve patlama gerilimi sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.56 ve 3.58’de verildi. PA 6,6 çözgülü örme kumaşa ait patlama mukavemeti 546.5 kPa olarak elde edildiği görülmektedir. 1 kez yıkama sonrasında PA 6,6 çözgülü örme kumaşın mukavemetinin arttığı ve 554 kPa olarak elde edildiği görülmektedir. Farklı indirgeme konsantrasyonu ve sürelerinde gerçekleştirilen indirgeme işlemleriyle elde edilen İGO/PA 6,6 kumaşın 1 yıkama sonrasında patlama mukavemetinin yıkama öncesine göre arttığı görülmektedir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın farklı indirgeme koşullarında 1 kez yıkama sonrasında patlama mukavemet değerlerinde farklılıklar olduğu söylenebilir. 1 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 kumaşların patlama mukavemeti, yıkama öncesine göre artmasına rağmen hem yıkama öncesi hem de 1 yıkama sonrası PA 6,6 kumaşinkinden daha düşük olarak elde edildiği anlaşılmaktadır. İndirgeme koşullarına göre yıkama sonrası patlama mukavemeti değerlendirildiğinde 24 saatlik indirgeme proseslerinde daha yüksek sonuçların olduğu görülmektedir. En yüksek patlama mukavemeti değeri 1GO-K1-20-24-Y1 ve 1GO-K1-30-24-Y1 numunelerinde 541.2 ve 541.7 kPa olarak elde edilmiştir. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve keçi boynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 33), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:5.938 > F_{\text{tablo}}:2.148$). K1-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 34), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:4.034 > F_{\text{tablo}}:2.216$). Buradan, 1 yıkama sonrasında PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetinin uygulanan indirgenme işlemlerinden etkilendiği ve keçi boynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetinin indirgenme koşullarından ve GO kaplama konsantrasyonundan etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu sebeple, 1 yıkama sonrası her bir indirgenme koşulundaki patlama mukavemeti sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak GO kaplama konsantrasyonunun 1 yıkama sonrası patlama mukavemetine etkisi belirlenmiştir. K1-20-12-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans

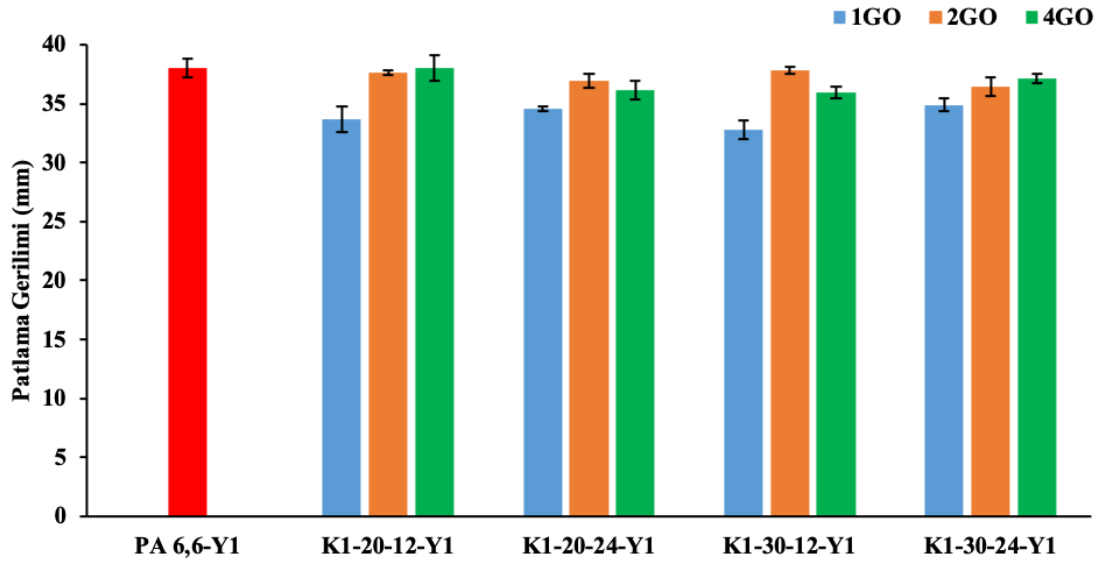
analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 35), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:0.051 < F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-20-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 36), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:17.097 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-30-12-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 37), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:5.647 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-30-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 38), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:4.295 < F_{\text{tablo}}:5.143$). Bu sonuçlara göre, K1-20-24 ve K1-30-12 koşullarında yapılan indirgenme işlemleriyle elde edilen numunelerin 1 yıkama sonrasında patlama mukavemetinin, GO kaplama konsantrasyonundan etkilendiği söylenebilir.



Şekil 3.55. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları

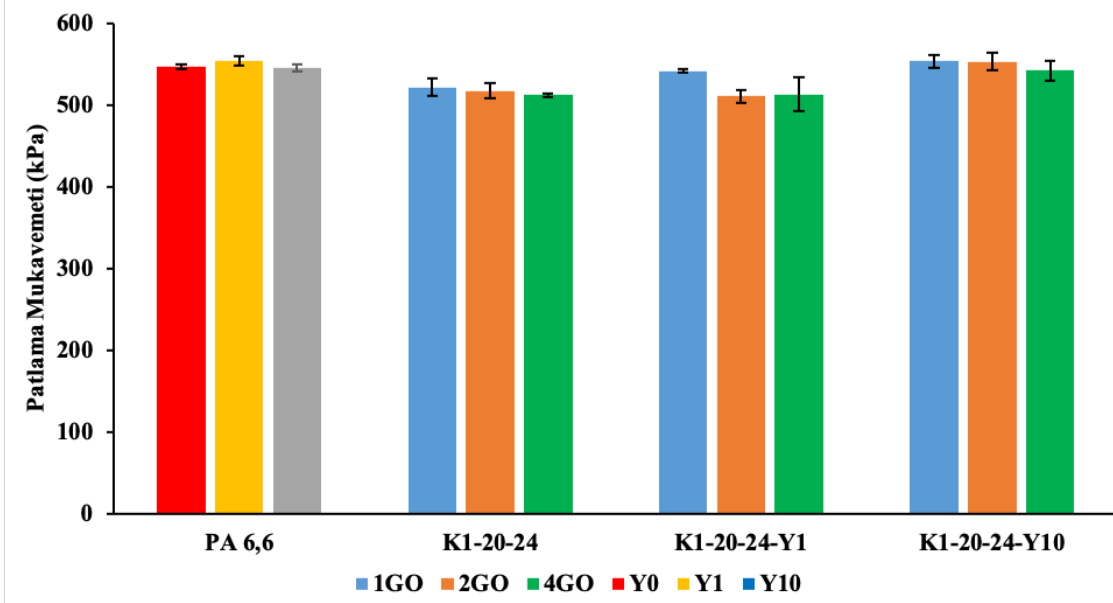
Şekil 3.56’da verilen patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, PA 6,6 kumaşın 1 yıkama sonrasında patlama geriliminin arttığı görülmekte ve buradan, kumaşın patlama anına kadar uzama kabiliyetinin arttığı dolayısıyla esnekliğinin arttığı anlaşılmaktadır. Keçiboynuzu ekstraktı ile farklı koşullarda indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarında ise yıkama öncesine göre belirgin değişimlerin olmadığı söylenebilir. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine

göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 39), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:18.651 > F_{\text{tablo}}:2.148$). Yıkama işlemi sonrasında PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama geriliminin, keçiboynuzu toz ekstraktı ile farklı koşullarda indirgenmiş numunelerin patlama geriliminden farklı olduğu anlaşılmaktadır. K1-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 40), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:19.085 > F_{\text{tablo}}:2.216$). İndirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi, indirgenme koşullarından ve GO kaplama konsantrasyonundan etkilenmektedir. Bu sebeple, 1 yıkama sonrası her bir indirgenme koşulundaki patlama gerilimi sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak GO kaplama konsantrasyonunun patlama gerilimine etkisi belirlenmiştir. K1-20-12-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 41), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:42.748 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-20-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 42), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:36.175 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-30-12- Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 43), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:24.546 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K1-30-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 44), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:3.735 < F_{\text{tablo}}:5.143$). Bu sonuçlara göre, K1-30-24 koşullarında gerçekleştirilen indirgenme işleminde elde edilen numunenin 1 yıkama sonrasında patlama geriliminin, GO kaplama konsantrasyonundan etkilenmediği söylenebilir.



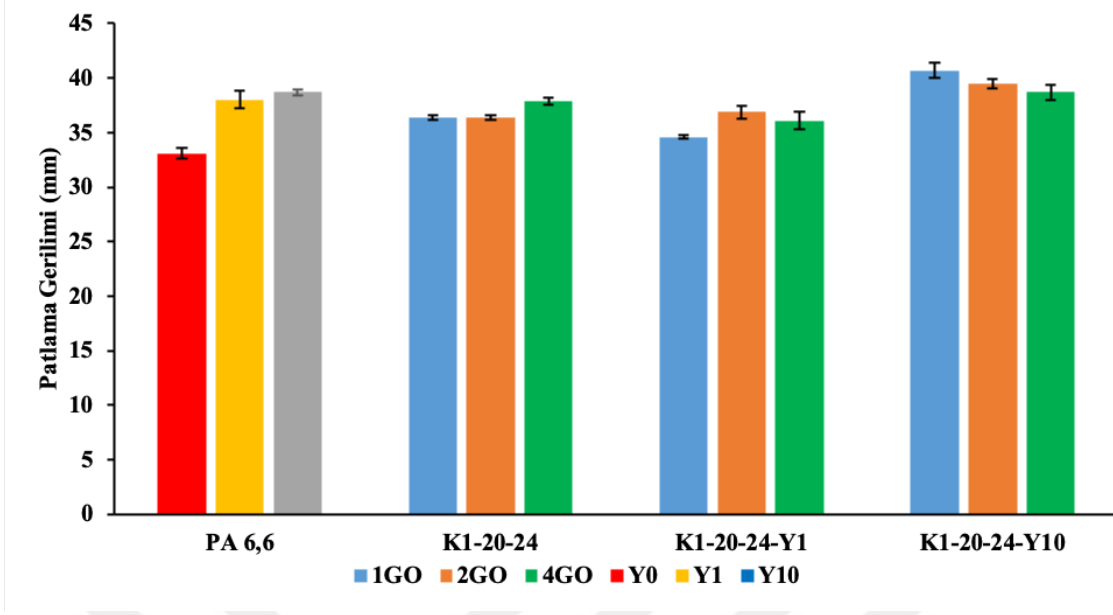
Şekil 3.56. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları

Şekil 3.57’de PA 6,6 ve K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçları verildi. Buradan, K1-20-24 numunesinin patlama mukavemetinin 10 yıkama sonrasında daha da arttığı görülmektedir. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerde 10 yıkama sonrası en yüksek patlama mukavemeti 553.5 kPa olarak 1GO-K1-20-24 numunesinde belirlenmiştir. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetinin yıkama dayanımı sonuçlarının tek yönlü varyans analizi değerlendirmesine göre (EK 1-Tablo 45), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:3.046 < F_{tablo}:5.143$). PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 46), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:1.087 < F_{tablo}:4.066$).



Şekil 3.57. PA 6,6 kumaş ve K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları

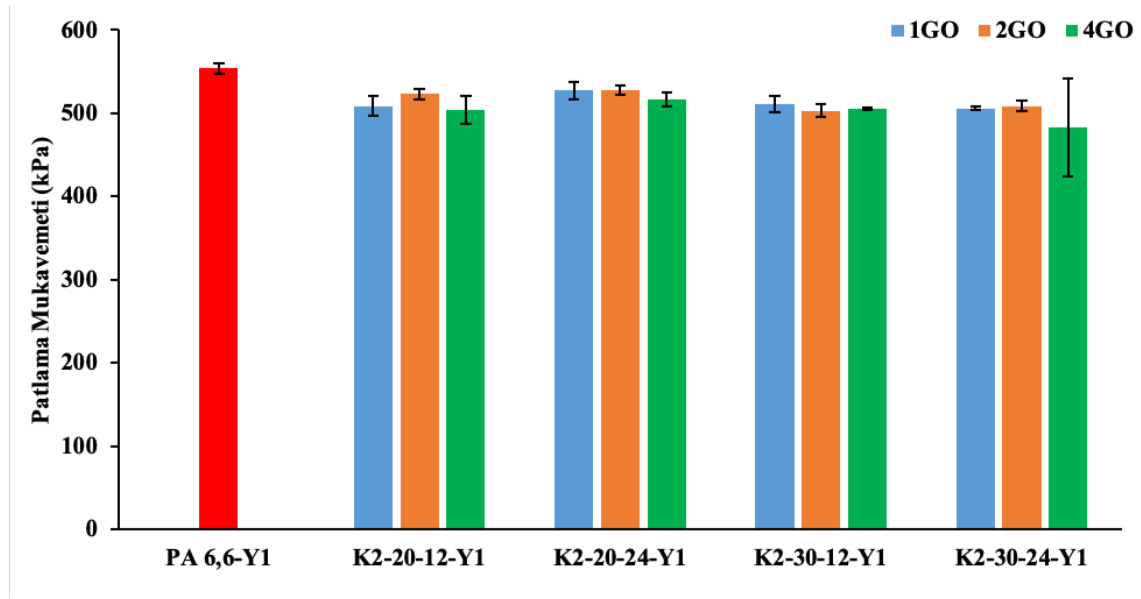
Şekil 3.58’de verilen K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, 10 yıkama sonrasında indirgenmiş numunelerin patlama geriliminin arttığı görülmektedir. 10 yıkama işlemiyle K1-20-24 koşullarında indirgenmiş kumaşın esnekliğinin arttığı söylenebilir. Ayrıca, buradan yıkama sayısının artmasıyla kumaş yüzeyine kaplanan İGO tabakaların uzaklaştığı ve böylelikle kumaşın uzayabilme kabiliyetinin arttığı anlaşılmaktadır. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama geriliminin yıkama dayanımı sonuçlarının tek yönlü varyans analizi değerlendirmesine göre (EK 1-Tablo 47), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:74.296 > F_{tablo}:5.143$). PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrasında patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 48), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:7.306 > F_{tablo}:4.066$). K1-20-24-Y10 numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 49), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:7.018 > F_{tablo}:5.143$). Buradan, K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunenin 10 yıkama sonrasında patlama gerilimine GO kaplama konsantrasyonunun etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 3.58. PA 6,6 kumaş ve K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplı kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrası ve K2-30-24 numunelerinin yıkama öncesi, 1 yıkama ve 10 yıkama sonrasına ait karşılaştırmalı patlama mukavemeti sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.59 ve 3.61’de ve patlama gerilimi sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.60 ve 3.62’de verildi. Farklı indirgeme konsantrasyonu ve sürelerinde gerçekleştirilen indirgeme işlemleriyle elde edilen İGO/PA 6,6 kumaşın 1 yıkama sonrasında patlama mukavemetinin yıkama öncesine göre arttığı söylenebilir. 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın farklı indirgeme koşullarında 1 kez yıkama sonrasında patlama mukavemet değerlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. 1 yıkama sonrasında PA 6,6 çözgülü örme kumaşın mukavemeti 554 kPa olarak elde edilmiştir. 1 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 numunelerin patlama mukavemeti, yıkama öncesine göre artmasına rağmen hem yıkama öncesi hem de 1 yıkama sonrası PA 6,6 kumaşinkinden daha düşük olarak elde edildiği anlaşılmaktadır. İndirgeme koşullarına göre yıkama sonrası patlama mukavemeti değerlendirildiğinde, kütlece %20 konsantrasyonda hazırlanan kuşburnu ekstraktı ile yapılan indirgeme işlemlerinde daha yüksek sonuçların elde edildiği ve en yüksek patlama mukavemetinin K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerde olduğu görülmektedir. En yüksek patlama mukavemeti değeri 1GO-K2-20-24-Y1 ve 2GO-K2-20-24-Y1 numunelerinde 527.5 ve

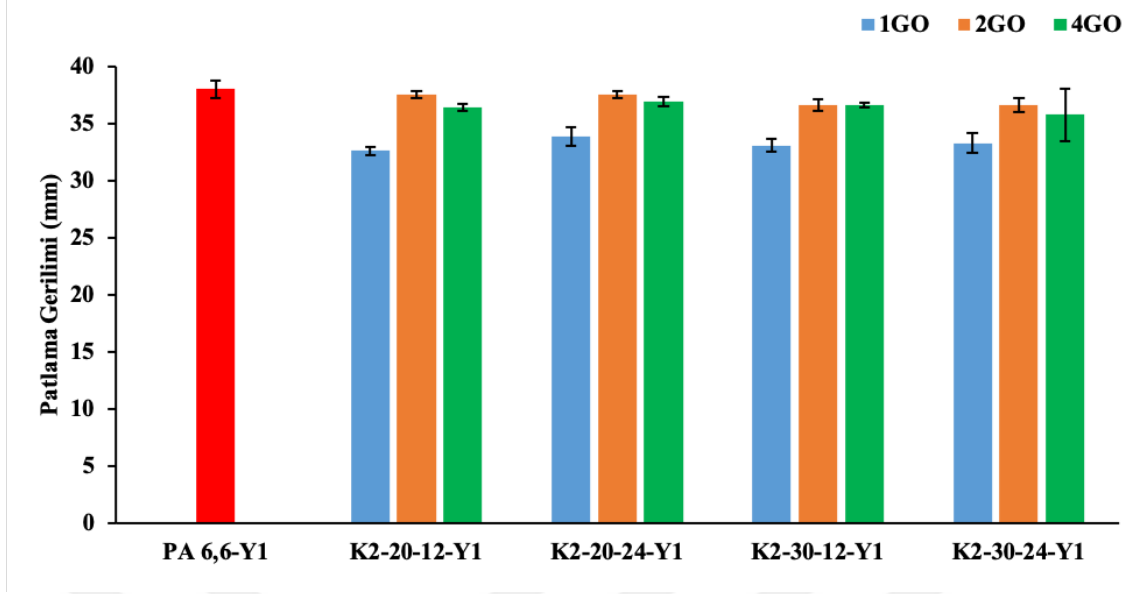
527.8 kPa olarak elde edilmiştir. PA 6,6 çözgümlü örme kumaş ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 50), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:2.597 > F_{\text{tablo}}:2.148$). K2-IGO/PA 6,6 çözgümlü örme kumaşların 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 51), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:1.300 < F_{\text{tablo}}:2.216$). Buna göre, 1 yıkama sonrasında kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetine, GO kaplama konsantrasyonu ve indirgeme koşullarının etkisi olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.59. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları

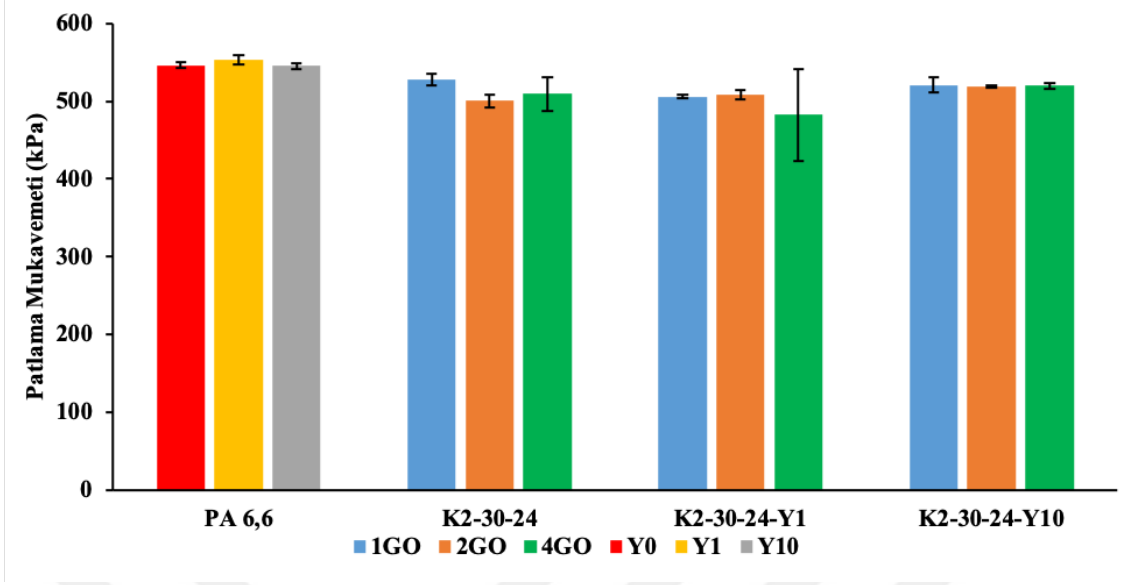
Şekil 3.60'ta verilen patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, PA 6,6 kumaşın 1 yıkama sonrasında patlama geriliminin arttığı görülmektedir. Kuşburnu ekstraktı ile farklı koşullarda indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarında ise yıkama öncesine göre belirgin değişimlerin olmadığı söylenebilir. İndirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi değerlerinin, 1GO kaplama konsantrasyonundaki numuneler hariç, 1 yıkama sonrası PA 6,6 kumaşinkine yakın olduğu anlaşılmaktadır. PA 6,6 çözgümlü örme kumaş ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 52), sonuçlar arasında anlamlı

bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:14.667 > F_{\text{tablo}}:2.148$). PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama geriliminin indirgenme işleminden etkilendiği anlaşılmaktadır. K2-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 53), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:13.932 > F_{\text{tablo}}:2.216$). Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama gerilimi, indirgenme koşullarından ve GO kaplama konsantrasyonundan etkilenmektedir. Bu sebeple, 1 yıkama sonrası her bir indirgenme koşulundaki patlama gerilimi sonuçlarına tek yönlü varyans analizi uygulanarak GO kaplama konsantrasyonunun patlama gerilimine etkisi belirlenmiştir. K2-20-12-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 54), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:160.080 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-20-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 55), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:40.788 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-30-12- Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 56), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:58.660 > F_{\text{tablo}}:5.143$). K2-30-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 57), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:4.051 < F_{\text{tablo}}:5.143$). Bu sonuçlara göre, K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunenin 1 yıkama sonrasında patlama geriliminin, GO kaplama konsantrasyonundan etkilenmediği anlaşılmaktadır.



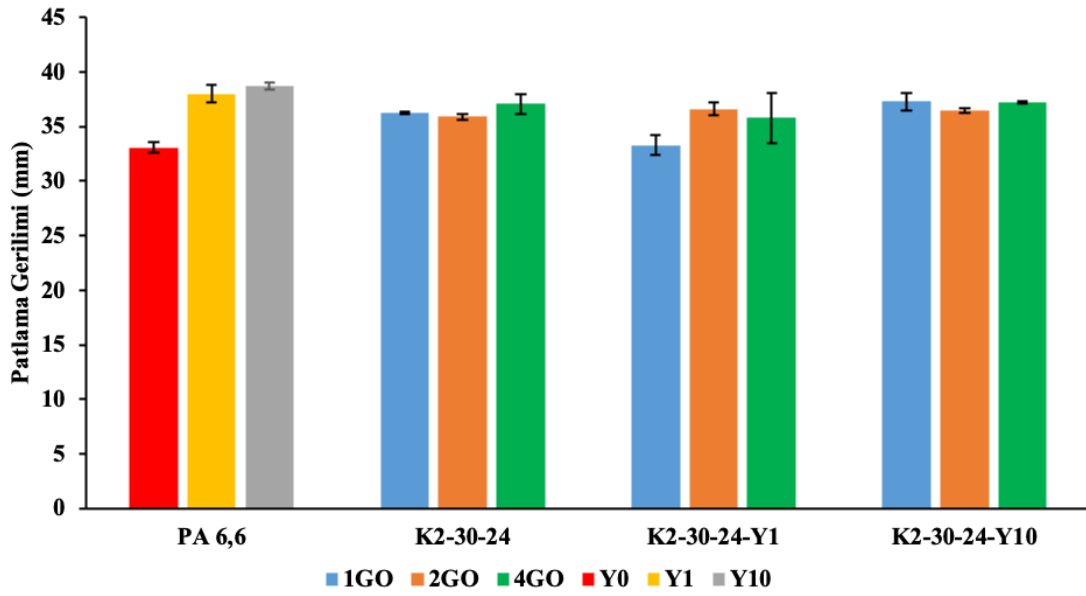
Şekil 3.60. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları

Şekil 3.61’de PA 6,6 ve K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçları verildi. Buradan, K2-30-24 numunesinin patlama mukavemetinin 10 yıkama sonrasında arttığı görülmektedir. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerde 10 yıkama sonrası en yüksek patlama mukavemeti 520.8 kPa olarak 1GO-K2-30-24 numunesinde belirlenmiştir. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 58), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:16.142 > F_{tablo}:4.066$). K2-30-24-Y10 numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 59), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:0.072 < F_{tablo}:5.143$). K2-30-24 koşullarında indirgenmiş farklı GO kaplama konsantrasyonlarındaki numunelerin 10 yıkama sonunda patlama mukavemeti sonuçları arasında önemli bir fark olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.61. PA 6,6 kumaş ve K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları

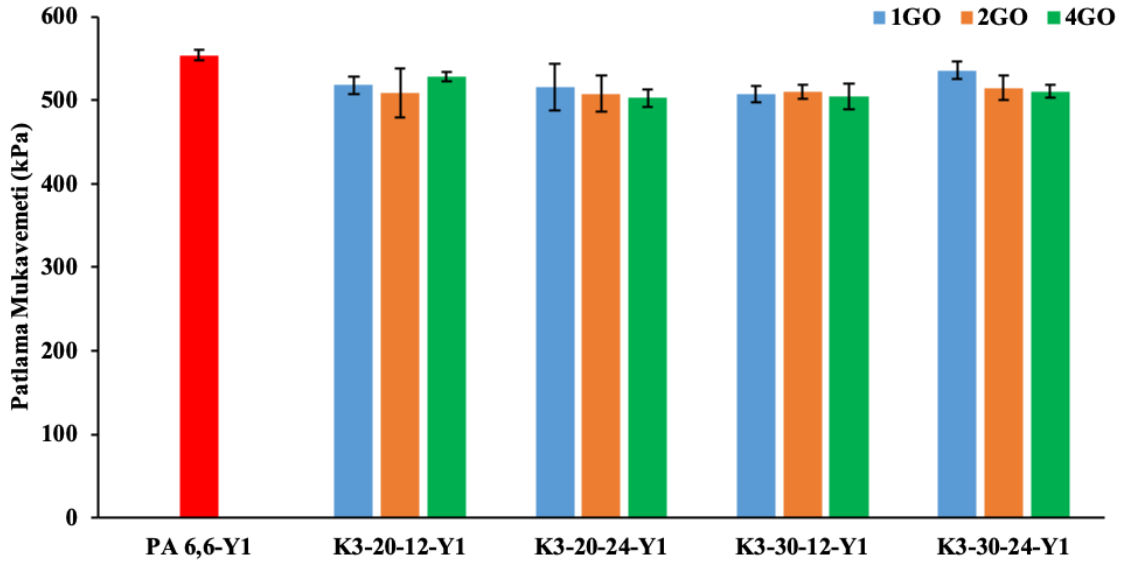
Şekil 3.62’de verilen K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, 10 yıkama sonrasında indirgenmiş numunelerin patlama geriliminin arttığı görülmektedir. 10 yıkama işlemiyle K2-30-24 koşullarında indirgenmiş kumaşın esnekliğinin arttığı ve yıkama öncesi değerlere yakın sonuçların elde edildiği söylenebilir. Ayrıca, buradan yıkama sayısının artmasıyla kumaş yüzeyine kaplanan İGO tabakaların uzaklaştığı ancak kumaşın patlama mukavemetinin ve uzayabilme kabiliyetinin arttığı ifade edilebilir. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 60), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:12.618 > F_{tablo}:4.066$). K2-30-24-Y10 numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 61), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:2.307 < F_{tablo}:5.143$). Buradan, K2-30-24 koşullarında indirgenmiş farklı GO kaplama konsantrasyonlarındaki numunelerin 10 yıkama sonunda patlama gerilimi sonuçları arasında önemli bir fark olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.62. PA 6,6 kumaş ve K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları

PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO ile kaplı karanfil ekstraktı ile indirgenmiş İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrası ve K3-30-24 numunelerinin yıkama öncesi, 1 yıkama ve 10 yıkama sonrasına ait karşılaştırmalı patlama mukavemeti sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.63 ve 3.65'te ve patlama gerilimi sonuçları, sırasıyla, Şekil 3.64 ve 3.66'da verildi. Farklı indirgeme konsantrasyonu ve sürelerinde gerçekleştirilen indirgeme işlemleriyle elde edilen İGO/PA 6,6 kumaşın patlama mukavemetinin yıkama öncesine göre arttığı söylenebilir. İşlem uygulanmamış PA 6,6 kumaşın 1 yıkama sonrasında patlama mukavemeti ise 554 kPa olarak elde edildi. Karanfil ekstraktı ile farklı indirgeme koşullarında elde edilen 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplanan PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasındaki patlama mukavemet değerlerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. 1 yıkama sonrası karanfil ekstraktı kullanılarak elde edilen İGO/PA 6,6 numunelerin patlama mukavemetinin, yıkama öncesine göre artmasına rağmen hem yıkama öncesi hem de 1 yıkama sonrası PA 6,6 kumaşinkinden daha düşük olarak elde edildiği anlaşılmaktadır. İndirgeme koşullarına göre yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarında değişimler fazla olmasa da en yüksek patlama mukavemeti 1GO-K3-30-24-Y1 numunesinde 535.8 kPa olarak elde edilmiştir. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre

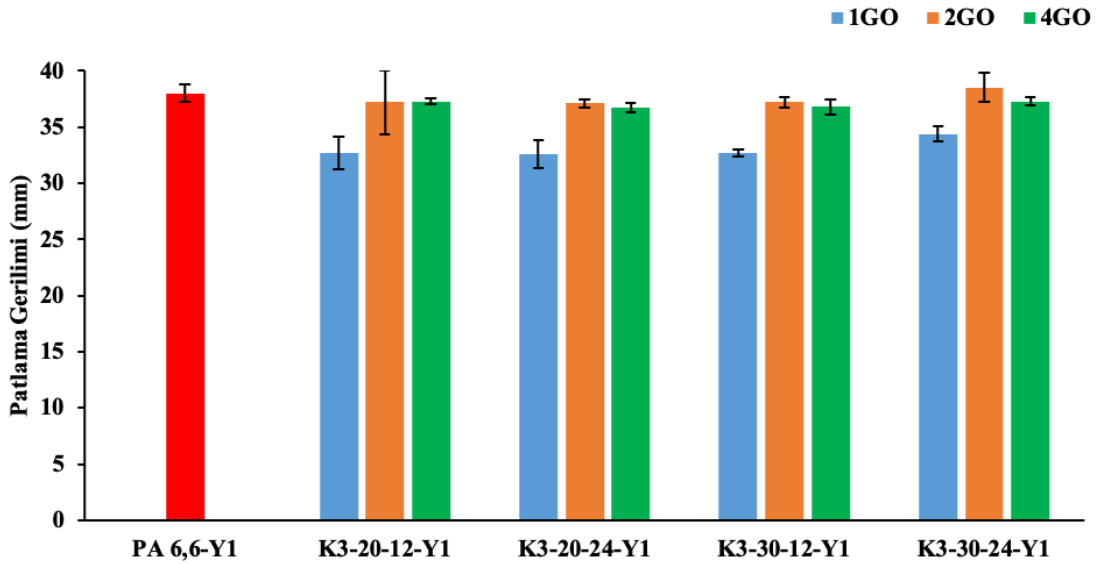
değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 62), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:1.306 < F_{\text{tablo}}:2.148$).



Şekil 3.63. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları

Şekil 3.64’te verilen patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, karanfil ekstraktı ile farklı koşullarda indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrasında indirgeme koşullarına göre artış gösterdiği söylenebilir. Yıkama öncesi patlama gerilimi sonuçlarına göre, 1GO kaplama konsantrasyonundaki numunelerin esnekliğinin azaldığı 2GO ve 4GO numunelerinin esnekliğinin arttığı ifade edilebilir. İndirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi değerlerinin, 1GO kaplama konsantrasyonundaki numuneler hariç, 1 yıkama sonrası PA 6,6 kumaşinkine yakın olduğu görülmektedir. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 63), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:7.616 > F_{\text{tablo}}:2.148$). K3-IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların 1 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçlarının tek yönlü varyans analizine göre değerlendirilmesinde (EK 1-Tablo 64), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{\text{hesap}}:7.304 > F_{\text{tablo}}:2.216$). PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrasında patlama gerilimi indirgenme işleminden ve indirgenmiş numunelerin patlama gerilimi indirgenme koşullarından etkilenmektedir. Bu sebeple, 1 yıkama sonrası her bir indirgenme koşulundaki patlama gerilimi sonuçlarına

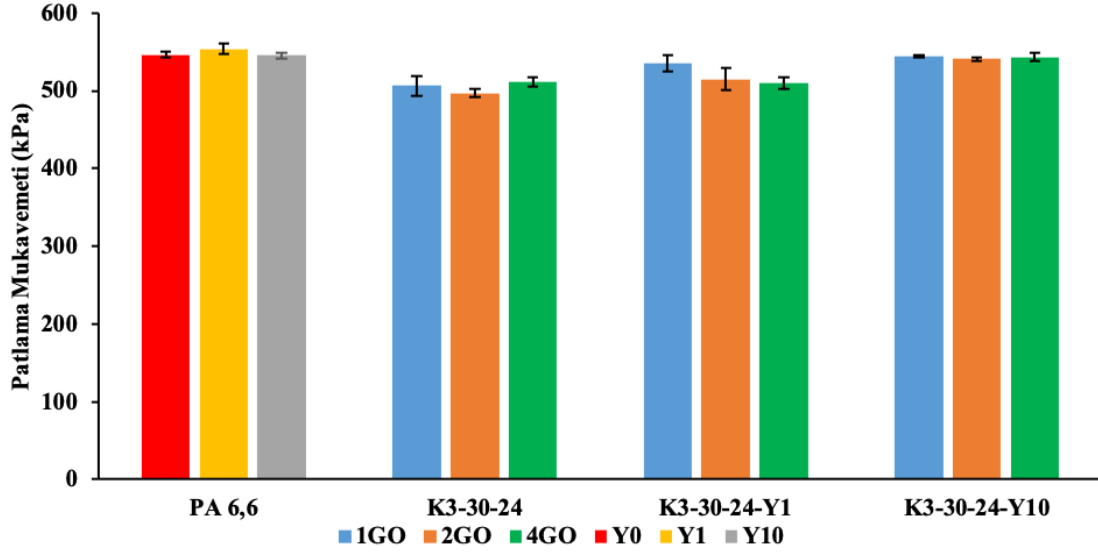
tek yönlü varyans analizi uygulanarak GO kaplama konsantrasyonunun patlama gerilimine etkisi belirlenmiştir. K3-20-12-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 65), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:1.641 < F_{tablo}:5.143$). K3-20-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 66), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:38.012 > F_{tablo}:5.143$). K3-30-12- Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 67), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:60.450 > F_{tablo}:5.143$). K3-30-24-Y1 numunelerinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 68), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ($F_{hesap}:10.489 > F_{tablo}:5.143$). Bu sonuçlardan, K3-20-12 koşullarında indirgenmiş numunenin patlama gerilimine GO kaplama konsantrasyonunun etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.64. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez sonrasında ait patlama gerilimi sonuçları

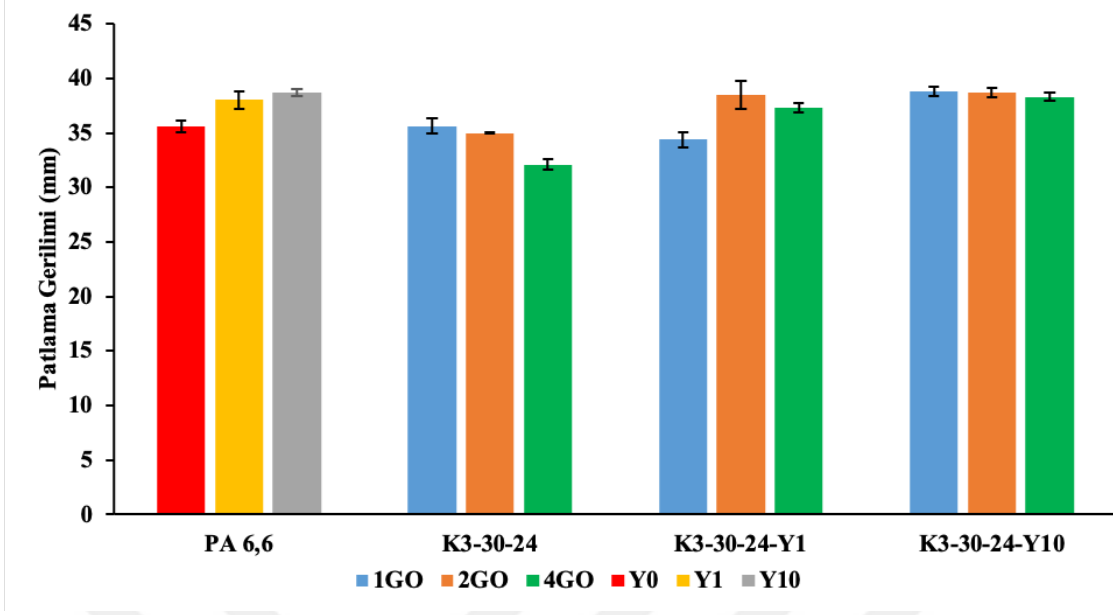
Şekil 3.65'te PA 6,6 ve K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçları verildi. Buradan, K3-30-24 numunesinin patlama mukavemetinin 10 yıkama sonrasında arttığı görülmektedir. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerde 10 yıkama sonrası en yüksek patlama mukavemeti 544.7 kPa olarak 1GO-K3-30-24 numunesinde belirlenmiştir. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve K3-30-24-Y10 numunelerinin 10 yıkama sonrası patlama

mukavemetinin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 69), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:1.070 < F_{tablo}:4.066$).



Şekil 3.65. PA 6,6 kumaş ve K3-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama mukavemeti sonuçları

Şekil 3.66’da verilen K3-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama gerilimi sonuçları incelendiğinde, 10 yıkama sonrasında indirgenmiş numunelerin patlama geriliminin arttığı görülmektedir. 10 yıkama işlemiyle K3-30-24 koşullarında indirgenmiş kumaşın esnekliğinin arttığı söylenebilir. Ayrıca, yıkama işlemiyle kumaşın patlama mukavemetinin ve uzayabilme kabiliyetinin arttığı anlaşılmaktadır. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve K3-30-24-Y10 numunelerinin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi değerlendirmesinde (EK 1-Tablo 70), sonuçlar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ($F_{hesap}:1.597 < F_{tablo}:4.066$).

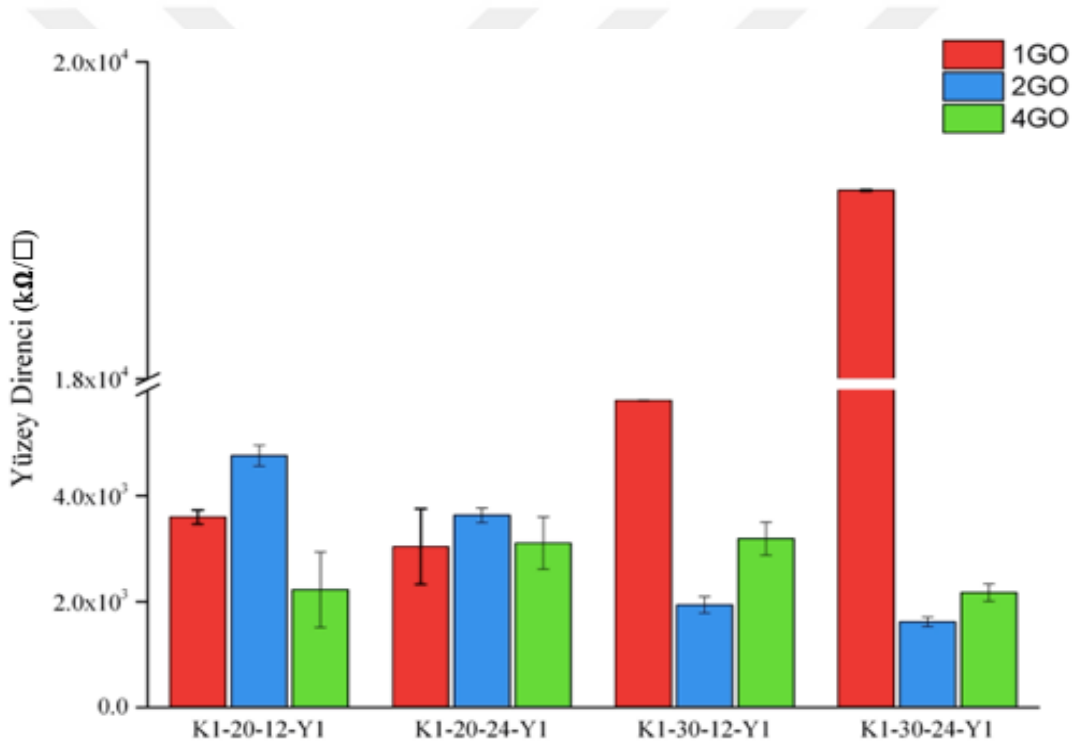


Şekil 3.66. PA 6,6 kumaş ve K3-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait patlama gerilimi sonuçları

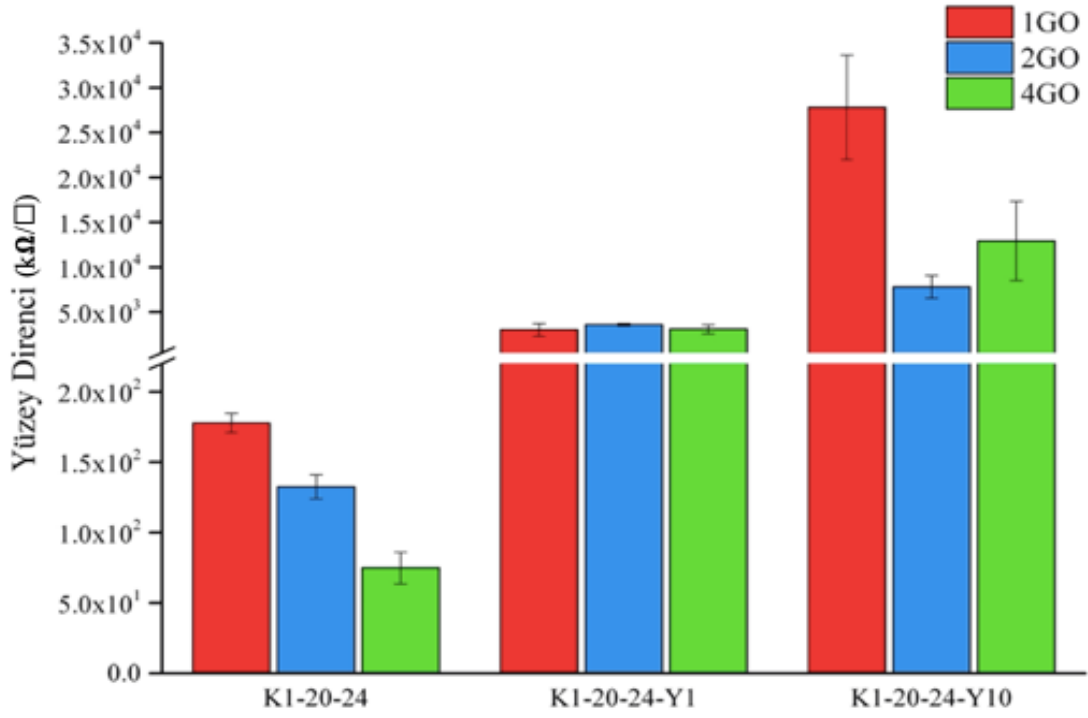
3.4.5. Yüzey direnci ölçüm sonuçları

Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenerek elektriksel iletkenlik özelliği kazandırılan İGO/PA 6,6 kumaşın, yüzey direncinin yıkamaya karşı dayanımı 1 ve 10 yıkama sonrasında incelendi. Şekil 3.67’de keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası yüzey direnci sonuçları verildi. 1 yıkama sonrası, keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yüzey direncinin yıkama öncesine göre arttığı söylenebilir. Genel olarak incelendiğinde, indirgeme koşullarının değişmesinin 1 yıkama sonrası yüzey direncini belirgin olarak etkilemediği, sonuçların $10^3 \text{ k}\Omega/\square$ değerinde elde edildiği görülmektedir. Yıkama öncesi yüzey direnci sonuçlarında GO kaplama konsantrasyonunun etkisi belirgin olarak görülürken, yıkama sonrasında bu etkinin olmadığı görülmektedir. Kumaş yüzeyinde tam olarak tutunamayan İGO partiküllerin uzaklaşmasıyla, neredeyse tüm indirgenme koşullarında, özellikle kütlece %20 konsantrasyonda hazırlanan keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş farklı GO kaplama konsantrasyonundaki sonuçların birbirine yakın elde edildiği söylenebilir. 10 yıkama sonrası yüzey direnci dayanımının belirlenmesi için, 1 yıkama sonrasında daha düşük sonuçların elde edildiği K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numuneler seçildi. Şekil 3.68’de K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10

yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları verildi. Buradan, K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve yıkama sonrası yüzey direnci değişimi belirgin bir şekilde görülmektedir. 10 yıkama sonrasında yüzey direnci $10^3 \text{ k}\Omega/\square$ 'den $10^4 \text{ k}\Omega/\square$ değerine kadar artmıştır. En düşük yüzey direnci 2GO-K1-20-24-Y10 numunesinde $7.83 \times 10^3 \text{ k}\Omega/\square$ olarak belirlendi. Yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası en fazla yüzey direnci değişimi ise 1GO-K1-20-24 numunesinde tespit edildi. Yıkama işlemleriyle kumaş yüzeyinden İGO tabakaların uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, K1-20-24-Y10 numunelerinin, elde edilen yüzey direnci sonuçlarından elektriksel iletkenlik özelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır.



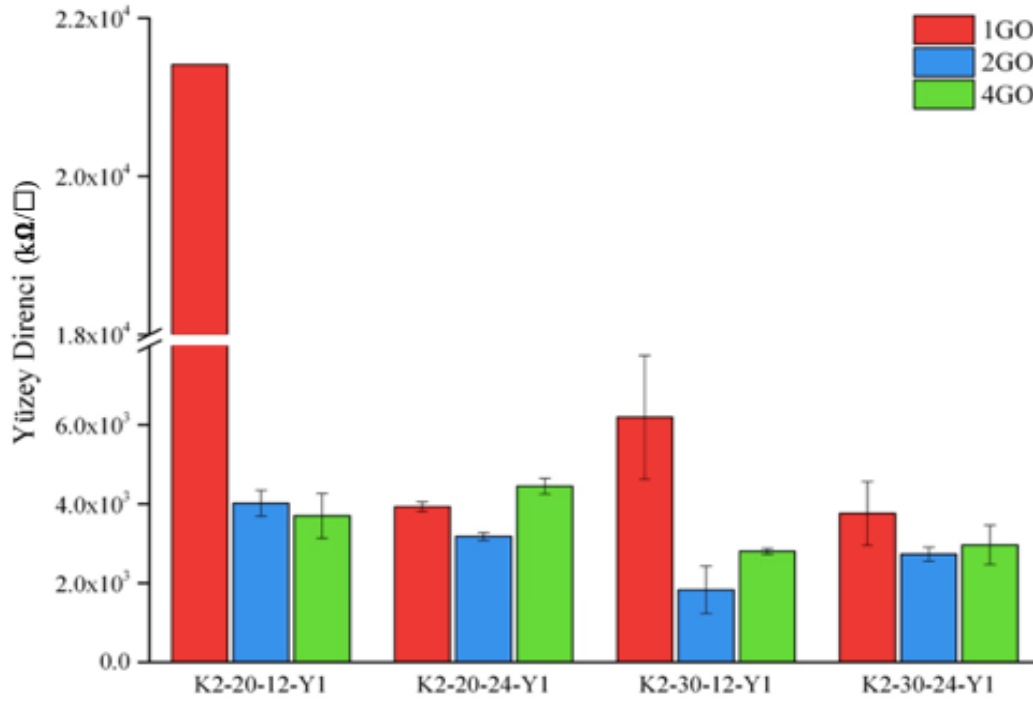
Şekil 3.67. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları



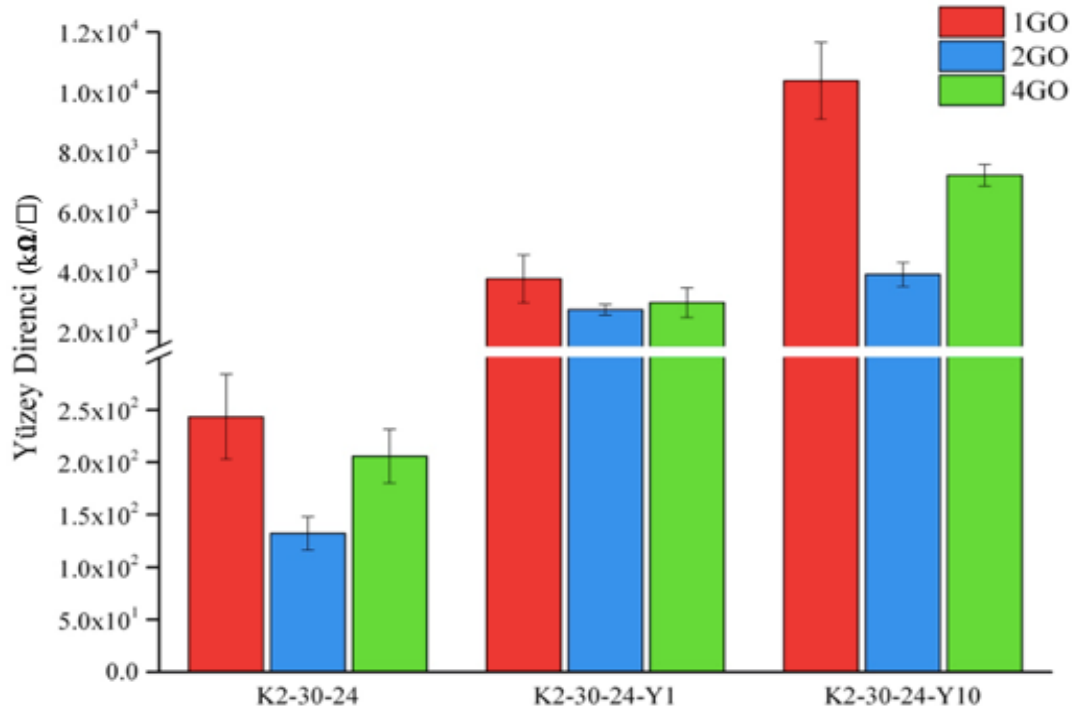
Şekil 3.68. K1-20-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları

Şekil 3.69’da kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası yüzey direnci sonuçları verildi. 1 yıkama sonrası, kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yüzey direncinin yıkama öncesine göre arttığı söylenebilir. Genel olarak incelendiğinde, indirgeme koşullarının değişmesinin 1 yıkama sonrası yüzey direncini belirgin olarak etkilemediği, sonuçların 10^3 kΩ/□ değerinde elde edildiği görülmektedir. Yıkama öncesi sonuçlarda görülen GO kaplama konsantrasyonunun etkisinin belirgin olmayan bir şekilde devam ettiği söylenebilir. 10 yıkama sonrası yüzey direnci dayanımının belirlenmesi için, 1 yıkama sonrasında daha düşük sonuçların elde edildiği K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numuneler seçildi. Şekil 3.70’te K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları verildi. Buradan, K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve yıkama sonrası yüzey direnci değişimi belirgin bir şekilde görülmektedir. 10 yıkama sonrasında yüzey direnci değerlerinde 1 yıkama sonrasına göre oldukça yüksek bir değişim gözlenmemekle beraber 1GO-K2-30-24 numunesinde yüzey direnci 10^4 kΩ/□ değerine kadar artmıştır. En düşük yüzey direnci 2GO-K2-30-24-Y10 numunesinde 3.91×10^3 kΩ/□ olarak belirlendi. Yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası en

fazla yüzey direnci değişimi ise 1GO-K2-30-24 numunesinde ve en az değişim ise 2GO-K2-30-24 numunesinde tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlardan, yıkama işlemleriyle kumaş yüzeyinden İGO tabakaların uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, K2-30-24-Y10 numunelerinin, elde edilen yüzey direnci sonuçlarından elektriksel iletkenlik özelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır.



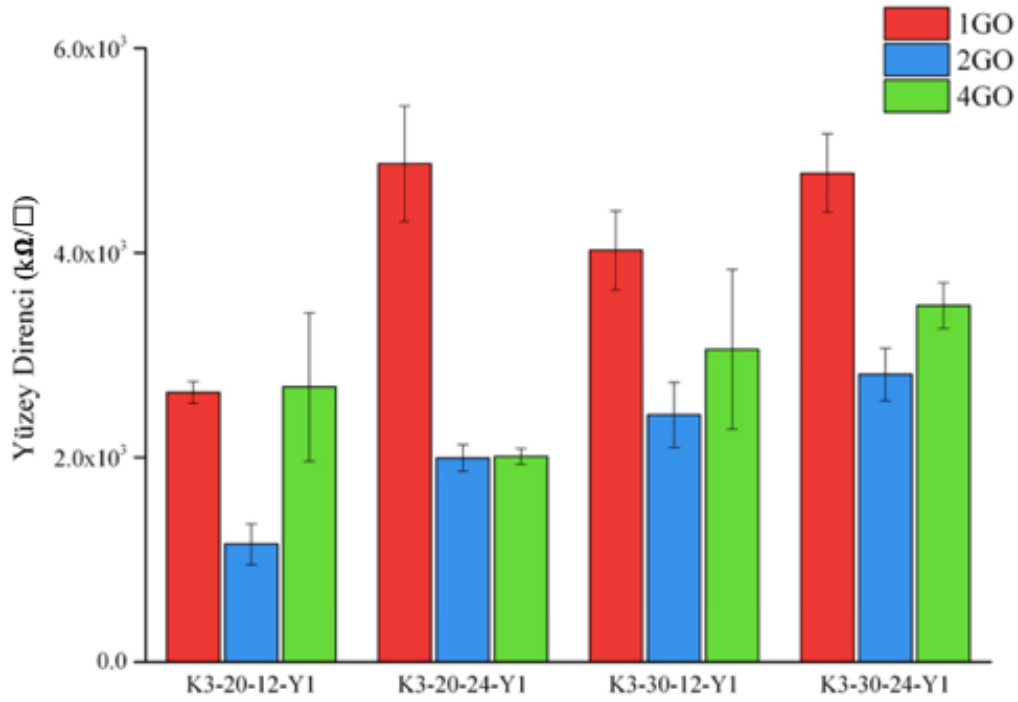
Şekil 3.69. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları



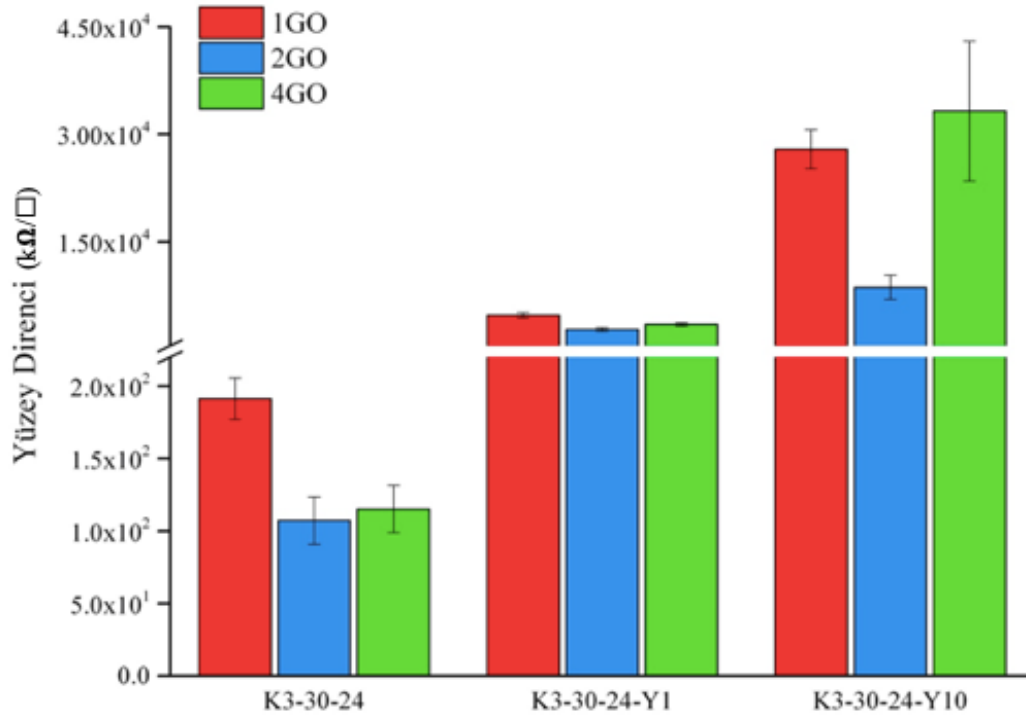
Şekil 3.70. K2-30-24 numunesinin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları

Şekil 3.71’de karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası yüzey direnci sonuçları verildi. 1 yıkama sonrası, karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yüzey direncinin yıkama öncesine göre arttığı söylenebilir. Genel olarak incelendiğinde, indirgeme koşullarının değişmesinin 1 yıkama sonrası yüzey direncini belirgin olarak etkilemediği, sonuçların 10^3 kΩ/□ değerinde elde edildiği görülmektedir. Yıkama öncesi sonuçlarda görülen GO kaplama konsantrasyonunun etkisinin aynı şekilde devam ettiği söylenebilir. En yüksek yüzey direnci sonuçları yıkama öncesinde olduğu gibi 1GO numunelerinde, en düşük yüzey direnci sonuçları ise 2GO numunelerinde elde edildi. 10 yıkama sonrası yüzey direnci dayanımının belirlenmesi için, K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numuneler seçildi. Şekil 3.72’de K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları verildi. Buradan, K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve yıkama sonrası yüzey direnci değişimi belirgin bir şekilde görülmektedir. 10 yıkama sonrasında yüzey direnci değerlerinde 1 yıkama sonrasına göre yüksek bir değişim olduğu görülmektedir. Yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası sonuçlarında olduğu gibi 10 yıkama sonrasında da en düşük yüzey direnci 2GO-K3-30-24-Y10 numunesinde 8.66×10^3 kΩ/□

olarak belirlenmiştir. Yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası en fazla yüzey direnci değişimi ise 4GO-K3-30-24 numunesinde ve en az değişim ise 2GO-K3-30-24 numunesinde tespit edildi. Elde edilen bu sonuçlardan, yıkama işlemleriyle kumaş yüzeyinden İGO tabakaların uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, K3-30-24-Y10 numunelerinin, elde edilen yüzey direnci sonuçlarından elektriksel iletkenlik özelliğini kaybettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.71. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları

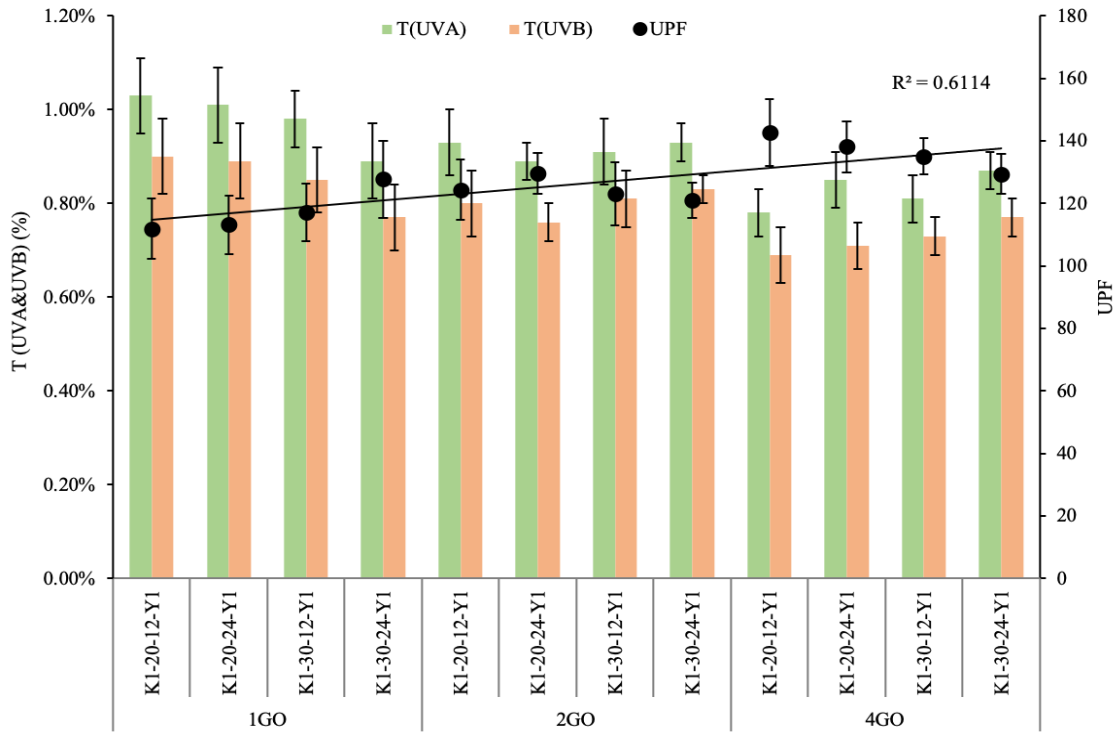


Şekil 3.72. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş grafen oksit kaplı poliamid 6,6 kumaşın 10 kez yıkama sonrasına ait yüzey direnci sonuçları

3.4.6. UV geçirgenlik analizi

Keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrasında elde edilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.73'te verildi. Yıkama öncesi sonuçlara göre UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde, 1 yıkama sonrasında numunelerde UV geçirgenliğinin arttığı ve UPF değerlerinin azaldığı söylenebilir. Yıkama öncesi sonuçlarda olduğu gibi, 1 yıkama sonrasında da UVA geçirgenliğinin UVB geçirgenlikten daha fazla olduğu görülmektedir. UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik arasındaki ilişki incelendiğinde, UPF değerinin yüksek olduğu numunelerde UV geçirgenliğinin düşük olduğu anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak UPF değerlerindeki artışın yıkama sonrasında da devam ettiği görülmektedir. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.611$ olarak hesaplandı. Buna göre, 1 yıkama sonrası UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına ve keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenme koşullarına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. En düşük UPF değeri 1GO-K1-20-12-Y1 numunesinde 111.92 olarak edilmiştir. Buradan, 1 yıkama sonrasında

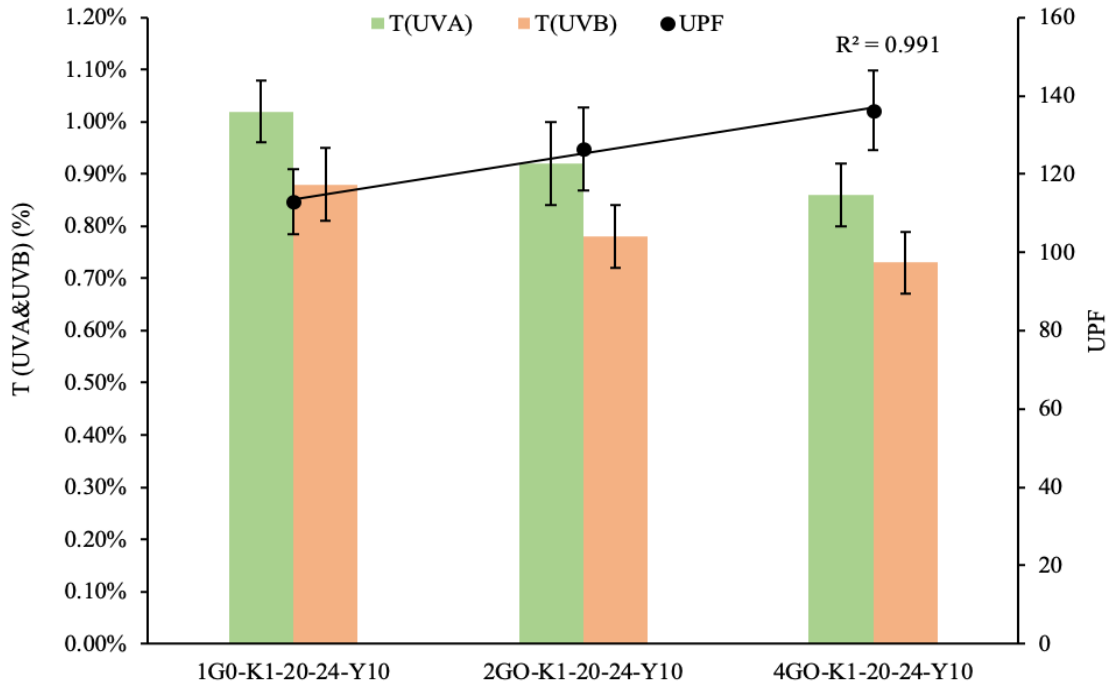
keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin mükemmel UV koruma özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. En yüksek UPF değerleri 4GO kaplı keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde elde edilmiştir. 4GO-K1-20-12-Y1 numunesinde UPF değeri 142.61 olarak belirlendi. 1 yıkama sonrası indirgenme koşullarının UPF değerine etkisi incelendiğinde ise, 1GO kaplama konsantrasyonunda keçiboynuzu ekstraktı çözelti konsantrasyonu ve indirgeme süresi arttıkça UPF değerinin arttığı söylenebilir. 2GO kaplama konsantrasyonundaki numunelerde kütlece %20 konsantrasyondaki indirgeme koşullarında elde edilen numunelerde UPF değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. 4GO kaplama konsantrasyonundaki numunelerde ise keçiboynuzu ekstraktı çözelti konsantrasyonu ve indirgeme süresi arttıkça UPF değerinde azalma meydana gelmiştir.



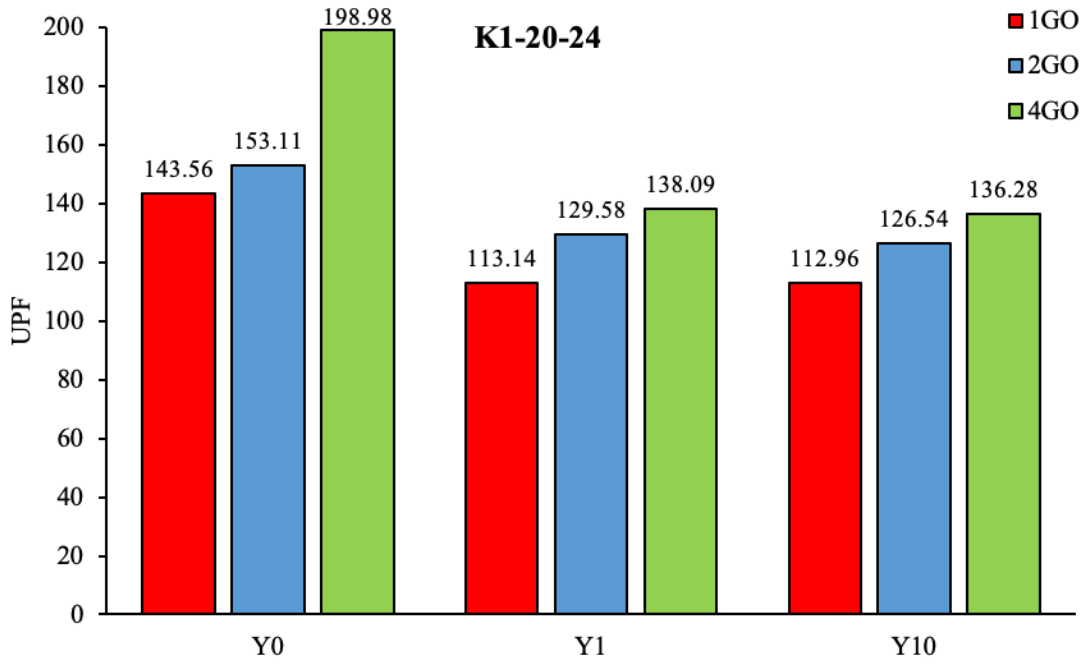
Şekil 3.73. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO/PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları

Şekil 3.74'te K1-20-24 numunesinin 10 yıkama sonrasına ait UV geçirgenlik ve UV koruyuculuk sonuçları verildi. Buradan, 1 yıkama sonrasına göre UV koruyuculuk değerlerinde düşüş olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, elde edilen en düşük UPF değerinin 112.96 olması, kumaşların 10 yıkama sonrasında da mükemmel UV korumaya sahip olduğunu göstermektedir. GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak UPF değerindeki

artış 10 yıkama sonrasında da görülmektedir. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.991$ olarak hesaplandı. Buna göre, K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunenin 10 yıkama sonrası UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. En yüksek UPF değeri 4GO-K1-20-24-Y10 numunesinde 136.28 olarak elde edilmiştir. Şekil 3.75'te verilen grafikte, K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası UPF değerlerindeki değişim daha net olarak görülmektedir. Özellikle 1 yıkama işlemiyle UPF değerlerindeki azalmanın fazla olduğu, 1 ve 10 yıkama değerleri arasında fazla bir değişimin olmadığı söylenebilir. Ayrıca, 1 yıkama sonrası 1GO, 2GO ve 4GO kaplama konsantrasyonundaki numunelerde UPF değerindeki azalma oranları, sırasıyla, %21.19, %15.37 ve %30.60 olarak belirlendi. 1 ve 10 yıkama sonrasındaki UPF azalma oranları ise sırasıyla, %0.16, %2.35 ve %1.31 olarak elde edildi.



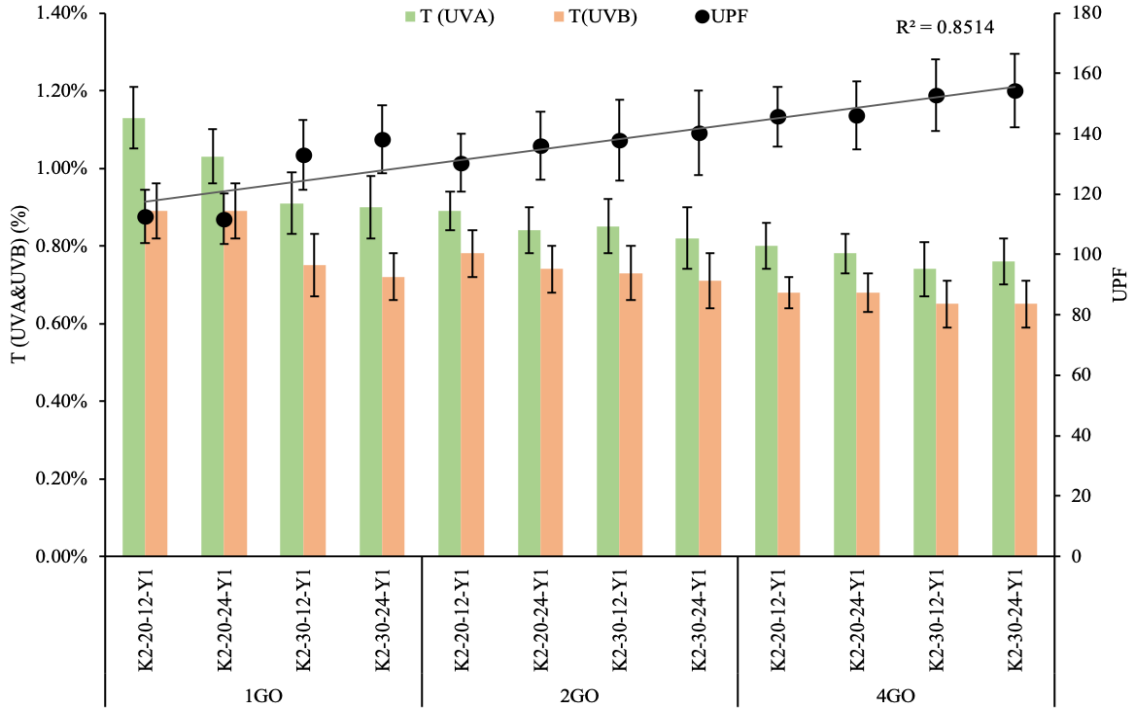
Şekil 3.74. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları



Şekil 3.75. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına UPF sonuçları

Kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrasında elde edilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.76’da verildi. Yıkama öncesi sonuçlara göre UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde, 1 yıkama sonrasında numunelerde UV geçirgenliğinin arttığı ve UPF değerlerinin azaldığı söylenebilir. Yıkama öncesi sonuçlarda olduğu gibi, 1 yıkama sonrasında da UVA geçirgenliğinin UVB geçirgenlikten daha fazla olduğu görülmektedir. UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik arasındaki ilişki incelendiğinde, UPF değerinin yüksek olduğu numunelerde UV geçirgenliğinin düşük olduğu anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonuna ve indirgeme koşullarına bağlı olarak UPF değerlerindeki artışın yıkama sonrasında da devam ettiği görülmektedir. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.851$ olarak hesaplandı. Buna göre, 1 yıkama sonrası UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına ve kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenme koşullarına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. En düşük UPF değeri 1GO-K2-20-24-Y1 numunesinde 111.79 olarak edilmiştir. Buradan, 1 yıkama sonrasında kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin mükemmel UV koruma özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. En yüksek UPF değerleri 4GO kaplı kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde elde edilmiştir. 4GO-K2-30-24-Y1 numunesinde UPF değeri 154.22 olarak

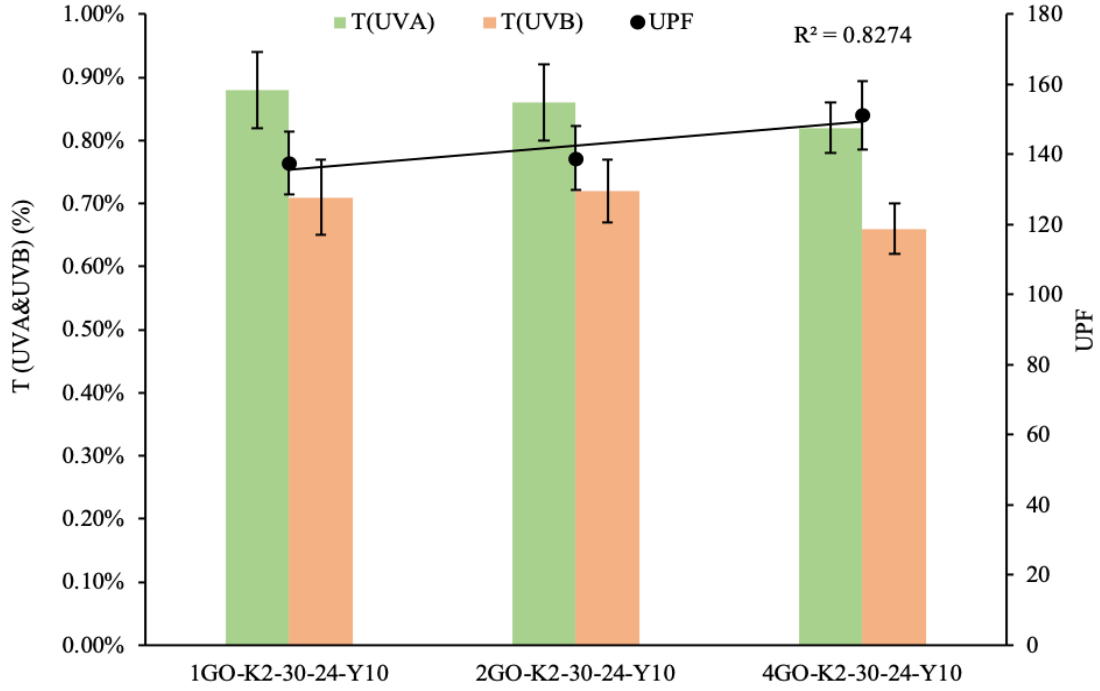
belirlendi. 1 yıkama sonrası indirgenme koşullarının UPF değerine etkisi incelendiğinde ise, 1GO, 2GO ve 4GO kaplama konsantrasyonlarında kuşburnu ekstraktı çözelti konsantrasyonu ve indirgeme süresi arttıkça UPF değerinin arttığı görülmektedir.



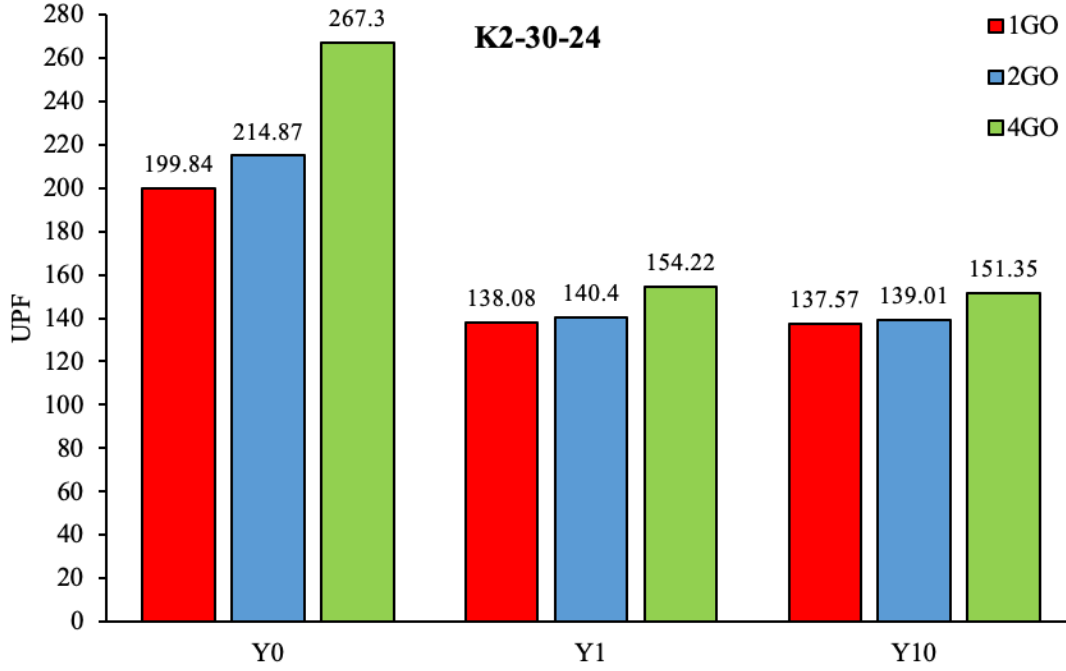
Şekil 3.76. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş GO/PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları

Şekil 3.77’de K2-30-24 numunesinin 10 yıkama sonrasına ait UV geçirgenlik ve UV koruyuculuk sonuçları verildi. Buradan, 1 yıkama sonrasına göre UV koruyuculuk değerlerinde azalma olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, elde edilen en düşük UPF değerinin 137.57 olması, kumaşların 10 yıkama sonrasında da mükemmel UV korumaya sahip olduğunu göstermektedir. GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak UPF değerindeki artış 10 yıkama sonrasında da görülmektedir. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.827$ olarak hesaplandı. Buna göre, K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunenin 10 yıkama sonrası UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonun artmasına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. En yüksek UPF değeri 4GO-K2-30-24-Y10 numunesinde 151.35 olarak elde edilmiştir. Şekil 3.78’de verilen grafikte, K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası UPF

değerlerindeki değişim daha net olarak görülmektedir. Özellikle 1 yıkama işlemiyle UPF değerlerinde azalmanın fazla olduğu, 1 ve 10 yıkama değerleri arasında fazla bir değişimin olmadığı söylenebilir. Ayrıca, 1 yıkama sonrası 1GO, 2GO ve 4GO kaplama konsantrasyonundaki numunelerde UPF değerindeki azalma oranları, sırasıyla, %30.90, %34.66 ve %42.30 olarak belirlendi. 1 ve 10 yıkama sonrasındaki UPF azalma oranları ise sırasıyla, %0.37, %0.99 ve %1.86 olarak elde edildi.



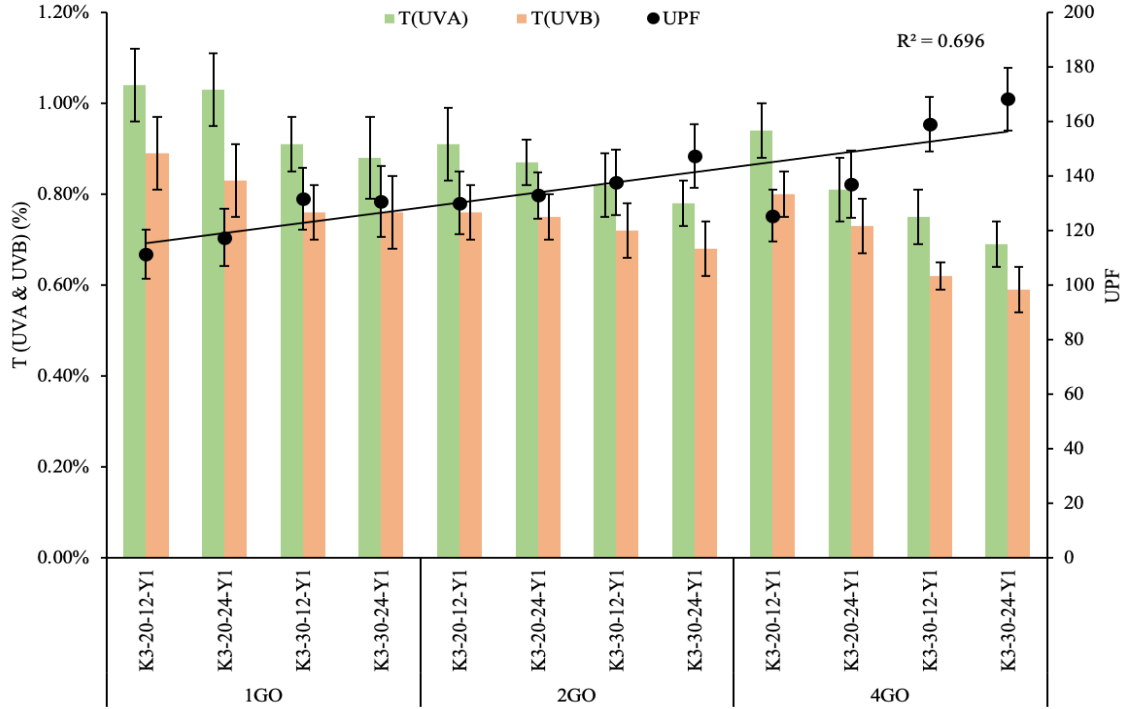
Şekil 3.77. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları



Şekil 3.78. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait UPF sonuçları

Karanfil ekstraktı ile indirgenmiş 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 1 yıkama sonrasında elde edilen UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları Şekil 3.79’da verildi. Yıkama öncesi sonuçlara göre UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde, 1 yıkama sonrasında numunelerde UV geçirgenliğinin arttığı ve UPF değerlerinin azaldığı söylenebilir. Yıkama öncesi sonuçlarda olduğu gibi, 1 yıkama sonrasında da UVA geçirgenliğinin UVB geçirgenlikten daha fazla olduğu görülmektedir. UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik arasındaki ilişki incelendiğinde, UPF değerinin yüksek olduğu numunelerde UV geçirgenliğinin düşük olduğu anlaşılmaktadır. GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak UPF değerlerindeki artışın yıkama sonrasında da devam ettiği görülmektedir. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.696$ olarak hesaplandı. Buna göre, 1 yıkama sonrası UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına ve karanfil toz ekstraktı ile indirgenme koşullarına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. En düşük UPF değeri 1GO-K3-20-12-Y1 numunesinde 111.38 olarak edilmiştir. Buradan, 1 yıkama sonrasında karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin mükemmel UV koruma özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. En yüksek UPF değeri 4GO-K3-30-24-Y1 numunesinde 168.23 olarak belirlendi. 1 yıkama sonrası indirgenme koşullarının UPF değerine etkisi incelendiğinde ise, 1GO,

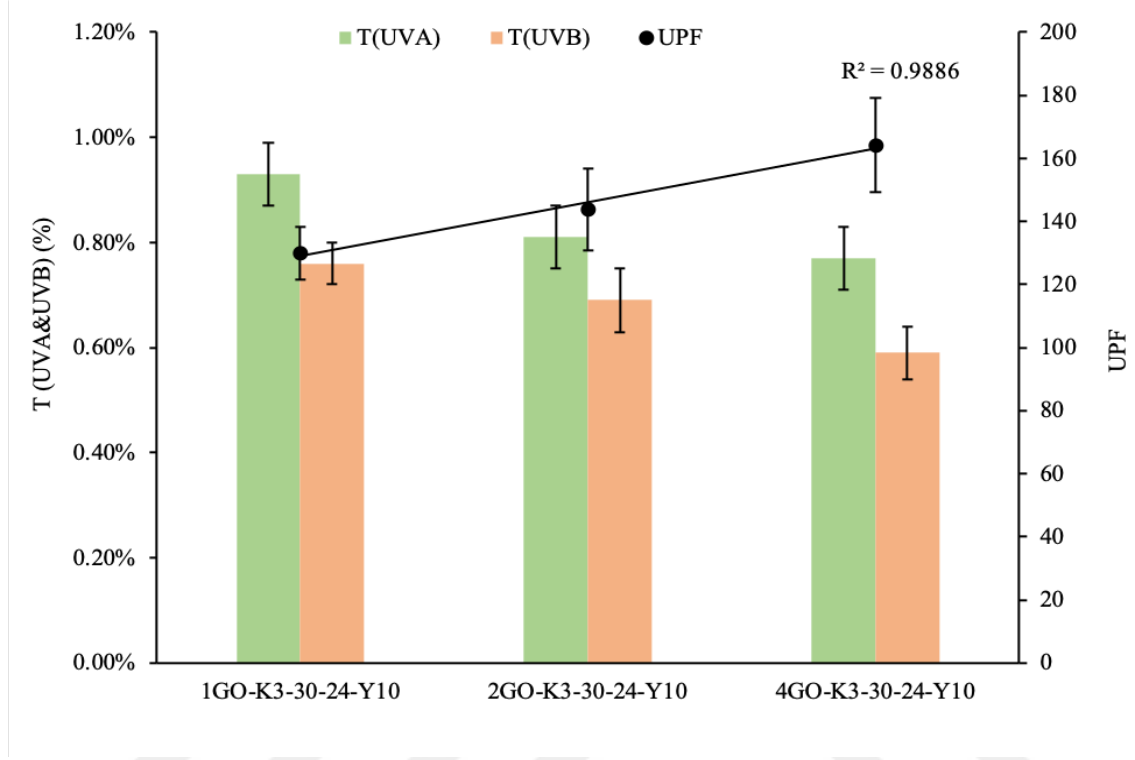
2GO ve 4GO kaplama konsantrasyonlarında karanfil ekstraktı çözelti konsantrasyonu ve indirgeme süresi arttıkça UPF değerinin arttığı söylenebilir.



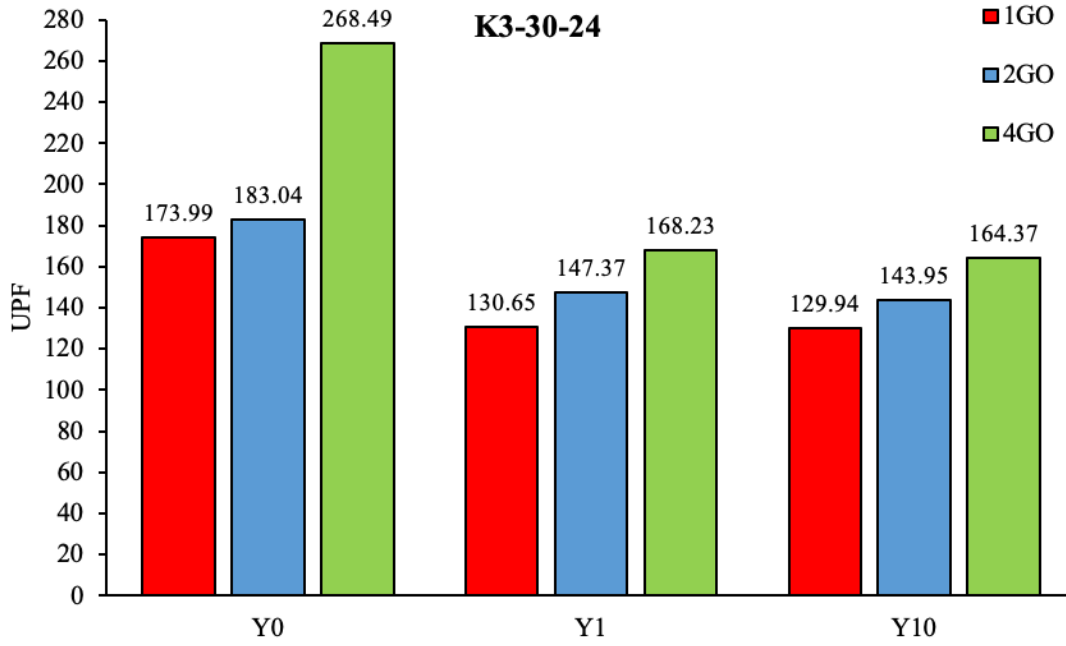
Şekil 3.79. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş GO/PA 6,6 kumaşın 1 kez yıkama sonrasına ait UPF ve UV geçirgenlik sonuçları

Şekil 3.80’de K3-30-24 numunesinin 10 yıkama sonrasına ait UV geçirgenlik ve UV koruyuculuk sonuçları verildi. Buradan, 1 yıkama sonrasına göre UV koruyuculuk değerlerinde azalma olduğu söylenebilir. Ancak, elde edilen en düşük UPF değerinin 129.94 olması, kumaşların 10 yıkama sonrasında da mükemmel UV korumaya sahip olduğunu göstermektedir. GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak UPF değerindeki artış 10 yıkama sonrasında da görülmektedir. UPF grafiği üzerinde regresyon katsayısı $R^2=0.989$ olarak hesaplandı. Buna göre, K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunenin 10 yıkama sonrası UPF sonuçlarının, GO kaplama konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak olumlu yönde etkilendiği söylenebilir. En yüksek UPF değeri 4GO-K3-30-24-Y10 numunesinde 164.37 olarak elde edilmiştir. Şekil 3.81’de verilen grafikte, K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası UPF değerlerindeki değişim daha net olarak görülmektedir. Özellikle 1 yıkama işlemiyle UPF değerlerindeki azalmanın fazla olduğu, 1 ve 10 yıkama değerleri arasında daha az bir değişim olduğu söylenebilir. Ayrıca, 1 yıkama sonrası 1GO, 2GO ve 4GO kaplama

konsantrasyonundaki numunelerde UPF değeriindeki azalma oranları, sırasıyla, %24.91, %19.49 ve %37.34 olarak belirlendi. 1 ve 10 yıkama sonrasındaki UPF azalma oranları ise sırasıyla, %0.54, %2.32 ve %2.29 olarak elde edildi.



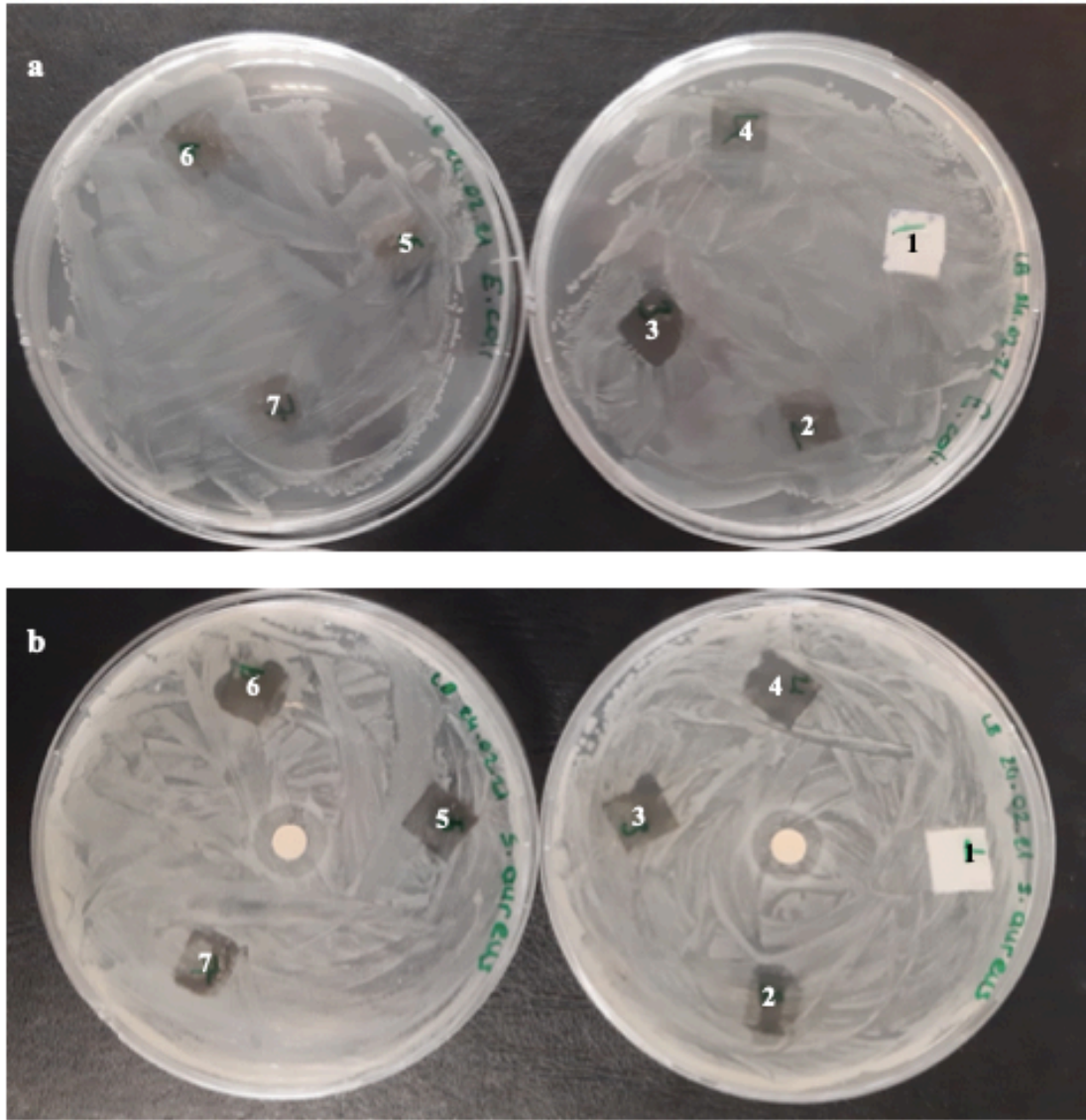
Şekil 3.80. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 kez yıkama sonrasına ait ultraviyole koruma faktörü ve UV geçirgenlik sonuçları



Şekil 3.81. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi, 1 ve 10 kez yıkama sonrasına ait ultraviyole koruma faktörü sonuçları

3.4.7. Antibakteriyel aktivite testi

PA 6,6 çözgülü örme kumaşın, keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş 2 g/L GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası antibakteriyel aktivite etkinlik testi Gram pozitif ve Gram negatif bakteriler ile gerçekleştirildi. Antibakteriyel aktivite etkinlik testine ait fotoğraflar Şekil 3.82’de verildi. Yapılan test sonucunda PA 6,6 çözgülü örme kumaşın ve İGO/PA 6,6 numunelerin antibakteriyel aktivite göstermediği belirlenmiştir.



Şekil 3.82. Antibakteriyel aktivite sonuçları (a) *Escherichia coli*, (b) *Staphylococcus aureus*, (1) PA 6,6, (2) 2GO-K1-20-24, (3) 2GO-K2-30-24, (4) 2GO-K3-30-24, (5) 2GO-K1-20-24-Y10, (6) 2GO-K2-30-24-Y10, (7) 2GO-K3-30-24-Y10.

4. SONUÇLAR

Tez çalışmasında, grafen oksit kaplı tekstil yüzeyinin çevre dostu indirgenmesi ve fonksiyonel özelliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, daha önce literatürde bu konuda bir uygulamada kullanılmamış olan Poliamid 6,6 çözgülü örme kumaş yapısı tercih edilmiştir. Sentezlenen GO nanotabakalardan hazırlanan dispersiyonlar ile PA 6,6 çözgülü örme kumaş laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde kaplanmıştır. Ardından, literatürde daha önce kumaşa kaplanmış GO'nun indirgenmesinde kullanılmamış olan keçiyoynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile çevre dostu indirgenme işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın karakterizasyon analizleri, renk ölçüm analizi, renk haslık testi, mukavemet testi, yüzey direnci ölçümü ve UV geçirgenlik analizi ve yıkama uygulamaları yapılarak özellikleri incelenmiştir. Bu bağlamda, tez çalışmasının deneysel uygulamaları 4 aşamadan oluşmaktadır.

Tez çalışmasının ilk aşamasında, toksik ve korozyif olmayan, daha güvenli bir üretim yöntemi olan geliştirilmiş Hummers yöntemi ile grafen oksit sentezlenmiştir. Sentezlenen grafen oksit nanotabakaları XRD, FTIR, SEM ve TGA teknikleri ile karakterize edilmiştir. Karakterizasyon analizlerinde;

- ⇒ XRD spektrumunda, GO'ya ait pik değerinin 10.2° ve tabakalar arası mesafenin $d=0.86$ nm olduğu görülmüş ve grafitte göre tabakalar arası mesafenin arttığı belirlenmiştir,
- ⇒ FTIR spektrumunda, GO'ya ait karakteristik pikler belirlenmiş ve oksijen içerikli fonksiyonel grupların varlığı tespit edilmiştir,
- ⇒ SEM görüntülerinde, GO nanotabakaların kıvrımlı, buruşuk ve hacimli karakteristik yüzeyi tespit edilmiştir ve elementel analiz sonucuna göre C/O oranı 1.15 olarak hesaplanmıştır,
- ⇒ TGA analizinde, 600°C sonunda GO'da meydana gelen kütle kaybının %75.23 olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlardan, grafitin kimyasal oksidasyon reaksiyonlarıyla grafen oksit yapısına dönüştüğü anlaşılmıştır. Sentezlenen grafen oksite ait karakteristik sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

İkinci aşamada, sentezlenen GO nanotabakalardan hazırlanan 1 g/L, 2 g/L ve 4 g/L konsantrasyonlardaki sulu dispersiyonlar ile laboratuvar tipi Jigger boyama makinesinde PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kaplama uygulamaları gerçekleştirilmiştir. GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın karakterizasyon analizleri FTIR ve SEM ile gerçekleştirildi. Renk ölçüm analizi, sürtmeye karşı renk haslığı testi, patlama mukavemeti, yüzey direnci ölçümü ve UV geçirgenlik analizi ile PA 6,6 çözgülü örme kumaş üzerindeki GO nanotabakaların etkisi incelenmiştir. Yapılan test ve analizlerle;

- ⇒ FTIR spektrumunda, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın karakteristik pikleri tespit edilmiş ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşta GO'dan kaynaklı pik oluşumları belirlenmiştir,
- ⇒ SEM görüntülerinde, PA 6,6 çözgülü örme kumaşta filamentlerin üzerine sarılmış halde ve filamentler arasında GO nanotabakaların varlığı görülmüştür ve elementel analiz sonucu ile GO kaplama konsantrasyonu arttıkça kumaş yüzeyindeki oksijen oranının arttığı belirlenmiştir.
- ⇒ Renk ölçüm analizinde, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın renk koordinatları belirlenmiş ve GO kaplama işlemiyle PA 6,6 kumaşın L* değerinin azaldığı, a* ve b* değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın PA 6,6 çözgülü örme kumaşa göre renk farkının (ΔE) GO kaplama konsantrasyonu ile arttığı tespit edilmiştir.
- ⇒ Reflektans analiziyle, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın 360-700 nm dalga boyundaki görünür bölgede ışığı %80-84 oranında yansıttığı ve belirgin bir pik oluşturmadığı görülmüştür. GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşta ise, görünür bölgede ışığı yansıtma oranının belirgin bir şekilde düştüğü ve özellikle sarı, turuncu ve kırmızı bölgelerde reflektans eğrisinin artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- ⇒ Sürtmeye karşı renk haslığı testinde, GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın kuru ve yaş sürtme testleri kumaş çubuk ve kumaş satır yönlerinde yapılmış ve kumaş test yönünden bağımsız olarak kuru sürtme sonuçlarının yaş sürtmeye göre daha yüksek elde edildiği ve GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla haslık değerlerinin kötüleştiği görülmüştür.
- ⇒ Patlama mukavemeti testinde, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın mukavemeti 546.5 kPa olarak belirlenmiş ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşta mukavemetin düştüğü görülmüştür. GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla patlama

mukavemetinde daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Uygulanan tek yönlü varyans analizine göre, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetinin GO kaplama işleminden etkilendiği, ancak GO kaplı PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetinin GO kaplama konsantrasyonundan etkilenmediği bulunmuştur.

- ⇒ Yüzey direnci ölçümüyle, PA 6,6 ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın elektriksel olarak yalıtkan özellikte olduğu görülmüştür.
- ⇒ UV geçirgenlik analiziyle, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın UV bölgede (250-450 nm dalga boyu aralığında) UV ışınlarını geçirgenliğinin yüksek olduğu ve UV koruma özelliği göstermediği tespit edilmiş ve GO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın UV ışınlarını geçirgenliğinin azaldığı ve GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla UPF değerinin arttığı görülmüştür. UPF grafiğine ait regresyon katsayısı $R^2=0.870$ olarak hesaplanmıştır.

Üçüncü aşamada, 1GO, 2GO ve 4GO numunelerinin keçi boynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları indirgenme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Banyo oranı ve indirgeme reaksiyon sıcaklığı sabit tutularak indirgeme çözeltisi konsantrasyonu ve indirgenme süresi etkisi incelenmiştir. Elde edilen IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşın karakterizasyon analizleri FTIR ve SEM ile gerçekleştirildi. Renk ölçüm analizi, sürtmeye karşı renk haslığı testi, patlama mukavemeti, yüzey direnci ölçümü ve UV geçirgenlik analizi ile PA 6,6 çözgülü örme kumaş üzerindeki IGO nanotabakaların etkisi incelenmiştir.

Bu aşamada ayrıca, keçi boynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile GO nanotabakaların toz halde indirgenmesi de gerçekleştirilmiş ve elde edilen toz IGO nanotabakaların karakterizasyonu XRD, FTIR, SEM ve TGA analizleriyle belirlenmiştir. Yapılan test ve analizlerle;

- ⇒ XRD spektrumunda, K1-IGO, K2-IGO ve K3-IGO toz numunelerine ait pik değerinin ve tabakalar arası mesafenin, sırasıyla, $2\theta_{K1}=20.34^\circ$ ve $d_{K1}=0.44$ nm, $2\theta_{K2}=22.32^\circ$ ve $d_{K2}=0.40$ nm, $2\theta_{K3}=20.42^\circ$ ve $d_{K3}=0.43$ nm olduğu görülmüş ve sentezlenen GO'ya göre tabakalar arası mesafenin azaldığı belirlenmiştir.

- ⇒ SEM analizinde, İGO nanotabakaların kabarık ve hacimli yapıda olmadığı, daha düzgün ve yoğun bir yüzey görünümüne sahip olduğu görülmüştür, elementel analiz ile İGO nanotabakaların C/O oranının arttığı hesaplanmıştır. K1-IGO, K2-IGO ve K3-IGO toz numunelerinin C/O oranı, sırasıyla, 1.65, 2.90 ve 2.39 olarak elde edilmiştir.
- ⇒ FTIR spektrumunda, GO nanotabakaların oksijen içerikli fonksiyonel gruplarının keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmesiyle uzaklaştığı tespit edilmiştir.
- ⇒ TGA analizinde, 600°C sonunda K1-IGO, K2-IGO ve K3-IGO toz numunelerde meydana gelen kütle kaybının, sırasıyla, %56.93, %48.85 ve %58.36 olduğu görülmüştür.

Buradan, sentezlenen GO nanotabakaların keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmesinin başarılı olduğu ve GO yapısındaki oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştığı anlaşılmıştır.

IGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşlara yapılan test ve analizlerle;

- ⇒ TGA analizinde, 700°C sonunda PA 6,6 çözgülü örme kumaş, 2GO-K1-20-24, 2GO-K2-30-24 ve 2GO-K3-30-24 numunelerinde kalan kül miktarı, sırasıyla, %0.57, %1.41, %3.43 ve %3.86 olarak belirlenmiştir.
- ⇒ FTIR spektrumunda, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın karakteristik piklerinde belirgin bir değişim olmadığı görülmüştür.
- ⇒ SEM görüntülerinde, PA 6,6 çözgülü örme kumaşta filamentlerin üzerine sarılmış halde ve filamentler arasında İGO nanotabakaların varlığı görülmüştür ve elementel analiz ile İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşlarda oksijen oranının azaldığı ve karbon oranının arttığı tespit edilmiştir. 2GO, 2GO-K1-20-24, 2GO-K2-30-24 ve 2GO-K3-30-24 numunelerinin C/O oranı, sırasıyla, 3.359, 2.875, 3.714 ve 3.749 olarak bulunmuştur.
- ⇒ Renk ölçüm analizinde, keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenerek elde edilen K1-IGO/PA 6,6, K2-IGO/PA 6,6 ve K3-IGO/PA 6,6 numunelerinin renk koordinatları belirlenmiştir. GO/PA 6,6 kumaşa göre indirgenmiş numunelerin L*, a* ve b* değerlerinin azaldığı görülmüş ve L* değerinin GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla azalma eğiliminde olduğu

belirlenmiştir. Ayrıca, K1-IGO/PA 6,6, K2-IGO/PA 6,6 ve K3-IGO/PA 6,6 numunelerin PA 6,6 çözgüğü örme kumaşa göre renk farkının (ΔE), GO kaplama konsantrasyonu ile arttığı tespit edilmiştir.

⇒ Reflektans analiziyle, IGO/PA 6,6 çözgüğü örme kumaşların, görünür bölgede 360-700 nm dalga boyu aralığında ışığı yansıtma oranının belirgin bir şekilde düştüğü ve genel olarak %3-8 oranında reflektans değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Ayrıca IGO/PA 6,6 çözgüğü örme kumaşların belirgin bir pik oluşturmadığı tespit edilmiş ve IGO/PA 6,6 kumaşlarda renk bileşeninin olmadığı belirlenmiştir.

⇒ Sürtmeye karşı renk haslığı testinde, IGO/PA 6,6 çözgüğü örme kumaşların kuru ve yaş sürme testleri kumaş çubuk ve kumaş satır yönlerinde yapılmış ve kumaş test yönünden bağımsız olarak kuru sürme sonuçlarının yaş sürmeye göre daha yüksek elde edildiği ve GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla haslık değerlerinin kötüleştiği görülmüştür. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde en iyi kuru sürme haslığı değerleri 1GO-K1 ve 2GO-K1 numunelerde elde edilmiştir. Yaş sürme haslığı değerlerinin genel olarak kötü seviyelerde elde edildiği ve kumaş satır yönünde en kötü olduğu görülmüştür. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde en iyi kuru sürme haslığı değerleri 1GO-K2 numunelerde elde edilmiştir. Yaş sürme haslığı değerleri ise genel olarak kötü olarak bulunmuştur. GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla ve kumaş satır yönünde sonuçların daha kötü olarak bulunduğu görülmüştür. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde tüm GO kaplama konsantrasyonlarında, keçiboynuzu ve kuşburnu ile indirgenmiş numunelere göre daha iyi kuru sürme haslığı değerlerinin elde edildiği belirlenmiş ve kumaş çubuk yönünde değerlerin daha iyi olduğu görülmüştür. Yaş sürme haslığı değerleri ise genel olarak kötü olarak bulunmuştur ve GO kaplama konsantrasyonu ve kumaş yönüne bağlı olarak sonuçların farklı olduğu görülmüştür. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerde, indirgenme koşullarındaki değişikliğin sürtmeye karşı renk haslığını etkilemediği tespit edilmiştir.

- ⇒ Patlama mukavemeti testinde, İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların mukavemetinin PA 6,6 ve GO/PA 6,6 numunelere göre daha düşük olarak elde edildiği görülmüştür. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetinin indirgenme koşullarına göre değişmediği ve genel olarak birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür. Uygulanan tek yönlü varyans analizi ile bu sonuç tespit edilmiştir. En yüksek patlama mukavemeti değeri İGO-K1-20-24 numunesinde 521.1 kPa olarak belirlenmiştir. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetinin, K1 numunelerine göre daha yüksek elde edildiği görülmüştür. İndirgenme konsantrasyonunun artmasıyla patlama mukavemetinin daha yüksek elde edildiği belirlenmiştir. En yüksek patlama mukavemeti değeri İGO-K2-30-12 numunesinde 531.3 kPa olarak belirlenmiştir. Uygulanan tek yönlü varyans analizine göre kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur. Buna göre, K2-30-12 numunesinin patlama mukavemeti tek yönlü varyans analizi sonucuna göre GO kaplama konsantrasyonundan etkilenmektedir. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetinin, K1 ve K2 numunelerinden daha düşük elde edildiği görülmüştür. Her iki indirgenme konsantrasyonunda indirgenme süresinin artmasıyla patlama mukavemetinin azaldığı görülmüştür. En iyi patlama mukavemeti değeri İGO-K3-20-12 numunesinde 518.4 kPa olarak tespit edilmiştir. Uygulanan tek yönlü varyans analizine göre karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri arasında anlamlı bir farkın olmadığı belirlenmiştir.
- ⇒ Yüzey direnci ölçümüyle, İGO/PA 6,6 numunelerin elektriksel olarak iletken özellikte olduğu görülmüştür. İGO/PA 6,6 numunelerin yüzey direncinin, PA 6,6 kumaştan ve GO/PA 6,6 numunelerden daha düşük olarak elde edildiği tespit edilmiştir. GO kaplama konsantrasyonunun ve indirgenme süresinin yüzey direnci üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Keçiboynuzu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde, kütlece %20 konsantrasyonda hazırlanan indirgeme çözeltisinde en düşük yüzey direnci değeri elde edilmiş ve bu değer, 4GO-K1-20-24 numunesinde $7.48 \times 10^1 \text{ k}\Omega/\square$ olarak hesaplanmıştır. Kuşburnu ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde, kütlece %20 konsantrasyonda hazırlanan indirgeme çözeltisinde en düşük yüzey direnci değeri 4GO-K2-20-24 numunesinde 8.58×10^1

$k\Omega/\square$ elde edilmiştir. Ancak, kütlece %30 konsantrasyonda hazırlanan indirgeme çözeltisi ile yapılan indirgeme işlemlerinde 1GO-K2-30-24 ve 2GO-K2-30-24 numunelerinde en düşük yüzey direnci değerleri elde edildiğinden, K2-30-24 prosesi en düşük yüzey direncine sahip numunelerin elde edilebileceği proses olarak belirlenmiştir. Bundan dolayı, en düşük yüzey direnci 2GO-K2-30-24 numunesinde $1.32 \times 10^2 k\Omega/\square$ olarak verilmiştir. Karanfil ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde, kütlece %30 konsantrasyonda hazırlanan indirgeme çözeltisinde en düşük yüzey direnci elde edilmiş ve bu değer, 2GO-K3-30-24 numunesinde $1.07 \times 10^2 k\Omega/\square$ olarak hesaplanmıştır.

⇒ UV geçirgenlik analiziyle, İGO/PA 6,6 numunelerde GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla UV geçirgenliğinin azaldığı ve UPF değerlerinin arttığı görülmüştür. Her bir GO kaplama konsantrasyonundaki indirgenmiş numuneler incelendiğinde, UV geçirgenlik ve UV koruyuculuğun indirgenme koşullarına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. UVA geçirgenliğinin UVB geçirgenliğe göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş numunelerde UPF değerlerinin 50'den büyük olduğu bulunmuş ve bu numunelerin mükemmel UV koruyuculuğa sahip olduğu anlaşılmıştır. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerin UPF grafiğine ait regresyon katsayısı, sırasıyla, $R^2=0.834$, $R^2=0.679$ ve $R^2=0.835$ olarak hesaplanmıştır. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenme işlemleriyle en yüksek UPF değerleri, sırasıyla, 4GO-K1-30-24 numunesinde 203.25, 4GO-K2-30-24 numunesinde 267.30 ve 4GO-K3-30-24 numunesinde 268.49 olarak elde edilmiştir.

Dördüncü aşamada, keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları indirgenmiş numunelerin yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil ekstraktları ile indirgenmiş tüm numunelere 1 kez yıkama işlemi yapılmıştır. Elde edilen 1 kez yıkanmış İGO/PA 6,6 numunelerde, SEM analizi, renk ölçüm analizi, sürtmeye karşı renk haslığı testi, patlama mukavemeti, yüzey direnci ölçümü ve UV geçirgenlik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, 1 kez yıkama sonrasında, keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerin yüzey direnci ölçümleri sonucunda en düşük değerlerin elde edildiği indirgenme koşulları belirlenmiş ve bu

numunelere 10 kez yıkama işlemi uygulanmıştır. 10 kez yıkama yapılmış İGO/PA 6,6 numunelerde aynı test ve analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan test ve analizlerle;

- ⇒ SEM görüntülerinde, 1 ve 10 yıkama sonrasında PA 6,6 çözgülü örme kumaşta filamentlerin üzerine sarılmış halde ve filamentler arasında İGO nanotabakaların varlığı görülmüştür.
- ⇒ Renk ölçüm analizinde, genel olarak, yıkama işlemiyle renk ölçüm değerlerinin yıkama öncesi değerlere göre arttığı görülmüştür. Buradan, kumaş yüzeyinde tam olarak tutunamayan İGO nanotabakaların yıkama işlemiyle uzaklaştığı anlaşılmıştır. 1 ve 10 yıkama sonrasında İGO/PA 6,6 kumaşların L^* , a^* ve b^* değerlerinin yıkama öncesine göre arttığı görülmüştür. Ayrıca, 1 ve 10 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların PA 6,6 çözgülü örme kumaşa göre renk farkının (ΔE) azaldığı tespit edilmiştir.
- ⇒ Sürtmeye karşı renk haslığı testinde, 1 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların kuru ve yaş sürtmeye testleri kumaş çubuk ve kumaş satır yönlerinde yapılmış ve yıkama öncesine göre daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Kumaş test yönünden bağımsız olarak kuru sürtmeye sonuçlarının yaş sürtmeye göre daha yüksek elde edildiği görülmüştür. 1 yıkama sonrası keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş tüm numunelerin kuru sürtmeye haslığı değerleri çok iyi, yaş sürtmeye haslığı değerleri genel olarak orta seviyelerde elde edilmiştir. İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşlarda, yaş sürtmeye haslığının kumaş satır yönünde daha düşük değerlerde olduğu ve GO kaplama konsantrasyonunun artmasıyla sonuçların daha kötü olarak bulunduğu görülmüştür. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerde 1 yıkama sonrasında, indirgenme koşullarındaki değişikliğin sürtmeye karşı renk haslığını etkilemediği tespit edilmiştir.
- ⇒ Patlama mukavemeti testinde, 1 ve 10 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 çözgülü örme kumaşların mukavemetinin yıkama öncesi numunelere göre daha yüksek olarak elde edildiği görülmüştür. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemeti 1 yıkama sonrası 554 kPa olarak elde edilmiştir. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 1 yıkama sonrası en iyi patlama mukavemeti değerleri İGO-K1-20-24-Y1 ve İGO-K1-30-24-Y1 numunelerinde 541.2 kPa ve 541.7 kPa olarak belirlenmiştir. Uygulanan tek yönlü varyans analizine göre, 1 yıkama

sonrası keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri arasında farkın anlamlı olduğu bulunmuştur. Buna göre, K1-20-24 ve K1-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetine GO kaplama konsantrasyonunun etkisi olduğu belirlenmiştir. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 1 yıkama sonrasında patlama mukavemeti değerlerinin, K1 numunelerine göre daha düşük elde edildiği görülmüştür. En yüksek patlama mukavemeti değeri 1GO-K2-20-24-Y1 ve 2GO-K2-20-24-Y1 numunelerinde 527.5 kPa ve 527.8 kPa olarak belirlenmiştir. Uygulanan tek yönlü varyans analizine göre, 1 yıkama sonrası kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri arasında farkın anlamlı olmadığı bulunmuştur. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 1 yıkama sonrası en iyi patlama mukavemeti değeri 1GO-K3-30-24-Y1 numunesinde 535.8 kPa olarak tespit edilmiştir. Uygulanan tek yönlü varyans analizine göre, 1 yıkama sonrası karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin patlama mukavemetleri arasında farkın anlamlı olmadığı bulunmuştur. Seçilen numunelere yapılan 10 yıkama işlemiyle patlama mukavemetlerinde artış olduğu görülmüştür. K1-20-24, K2-30-24 ve K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti sonuçlarına uygulanan tek yönlü varyans analizine göre, her bir indirgenme maddesine ait sonuçlar arasındaki farklılığın anlamlı olmadığı bulunmuştur. En yüksek patlama mukavemeti değerleri, 1GO-K1-20-24-Y10, 1GO-K2-30-24-Y10 ve 1GO-K3-30-24-Y10 numunelerinde, sırasıyla, 553.5 kPa, 520.8 kPa ve 544.7 kPa olarak elde edilmiştir.

⇒ Yüzey direnci ölçümüyle, 1 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 numunelerin elektriksel olarak iletken özellikte olduğu görülmüştür. 1 yıkama sonrası İGO/PA 6,6 numunelerin yüzey direncinin, yıkama öncesi numunelerden daha yüksek olarak elde edildiği tespit edilmiştir. İndirgeme koşullarının değişmesinin 1 yıkama sonrası yüzey direncini belirgin olarak etkilemediği, sonuçların $10^3 \text{ k}\Omega/\square$ değerinde elde edildiği görülmüştür. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde yıkama öncesi yüzey direnci sonuçlarında GO kaplama konsantrasyonunun etkisi belirgin olarak görülürken, yıkama sonrasında bu etkinin olmadığı belirlenmiştir. En düşük yüzey direnci 2GO-K1-20-24-Y10

numunesinde $7.83 \times 10^3 \text{ k}\Omega/\square$ olarak belirlenmiştir. Kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerde yıkama öncesi yüzey direnci sonuçlarında görülen GO kaplama konsantrasyonunun etkisinin 1 yıkama sonrasında da devam ettiği belirlenmiştir. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 10 yıkama sonrası en düşük yüzey direnci 2GO-K2-30-24-Y10 numunesinde $3.91 \times 10^3 \text{ k}\Omega/\square$ olarak elde edilmiştir. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 10 yıkama sonrası en düşük yüzey direnci 2GO-K3-30-24-Y10 numunesinde $8.66 \times 10^3 \text{ k}\Omega/\square$ olarak elde edilmiştir. Yıkama işlemleriyle kumaş yüzeyinde tam olarak tutunamayan İGO partiküllerin uzaklaşmasıyla yüzey direncinin arttığı anlaşılmaktadır.

⇒ UV geçirgenlik analiziyle, yıkama öncesi sonuçlara göre 1 yıkama sonrasında UV koruyuculuğun düştüğü ve UV geçirgenliğinin arttığı görülmüştür. Yıkama öncesi sonuçlarda olduğu gibi, 1 yıkama sonrasında da UVA geçirgenliğinin UVB geçirgenlikten daha fazla olduğu belirlenmiştir. UV koruyuculuk ve UV geçirgenlik arasındaki ilişki incelendiğinde, UPF değerinin yüksek olduğu numunelerde UV geçirgenliğinin düşük olduğu anlaşılmıştır. GO kaplama konsantrasyonuna bağlı olarak UPF değerlerindeki artışın yıkama sonrasında da devam ettiği görülmüştür. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 1 ve 10 yıkama sonrası en yüksek UPF değerleri, sırasıyla, 4GO-K1-20-12-Y1 numunesinde 142.61 ve 4GO-K1-20-24-Y10 numunesinde 136.28 olarak elde edilmiştir olarak belirlendi. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 1 ve 10 yıkama sonrası en yüksek UPF değerleri, sırasıyla, 4GO-K2-30-24-Y1 numunesinde 154.22 ve 4GO-K2-30-24-Y10 numunesinde 151.35 olarak elde edilmiştir. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerde 1 ve 10 yıkama sonrası en yüksek UPF değerleri, sırasıyla, 4GO-K3-30-24-Y1 numunesinde 168.23 ve 4GO-K3-30-24-Y10 numunesinde 164.37 olarak elde edilmiştir. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası UPF grafiğine ait regresyon katsayısı, sırasıyla, $R^2=0.611$, $R^2=0.851$ ve $R^2=0.696$ olarak hesaplanmıştır. K1-20-24, K2-30-24 ve K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası UPF grafiğine ait regresyon katsayısı, sırasıyla, $R^2=0.991$, $R^2=0.827$ ve $R^2=0.989$ olarak hesaplanmıştır.

⇒ Antibakteriyel aktivite testi ile, PA 6,6 çözgülü örme kumaşın, yıkama öncesi ve 10 yıkama sonrası 2GO-K1-20-24, 2GO-K2-30-24, 2GO-K3-30-24 numunelerinin Gram pozitif *Staphylococcus aureus* ve Gram negatif *Escherichia coli* bakterileri üzerinde antibakteriyel etki göstermediği görülmüştür.

Bu tez çalışmasının sonuçları değerlendirildiğinde, kullanılan 3 farklı doğal kaynaklı, çevre dostu malzeme ile GO'nun indirgenmesi gerçekleştirilmiştir. Keçiboynuzu, kuşburnu ve karanfil toz ekstraktları ile indirgenmiş numunelerde elektriksel iletkenliğin ve UV koruyucu özelliğin elde edildiği görülmüştür. Herhangi bir ilave malzeme kullanılmadan, tekstilde yaygın kullanılan işlemlerden olan daldırma ile kaplama yöntemi ile PA 6,6 çözgülü örme kumaşın GO ile kaplanması ve ardından doğal kaynaklı ekstraktlar ile indirgenme işleminin gerçekleştirilmesi, grafenin tekstil endüstrisinde geniş çaplı potansiyel kullanım alanlarının oluşturulması ve incelenmesi açısından endüstriyel uygulamalar ve literatüre katkı sağlaması yönünden önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda yapılması düşünülen gelecek çalışmalarda, doğal kaynaklı indirgenmiş GO kaplı kumaşlara farklı fonksiyonel özellikler kazandırmak için ilave katkı maddelerinin kullanımı incelenecektir. Kullanım alanı ihtiyacına göre kumaşa kazandırılabilen pek çok fonksiyonel özellik bulunmaktadır. Antibakteriyellik, su iticilik, termal iletkenlik, elektro-ısıtma, elektromanyetik kalkanlama gibi tekstil ürünlerinde olması avantaj sağlayacak özelliklerin bir veya birkaçının aynı anda kazandırılmasına yönelik çalışmalar planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Phiri, J., Gane, P. ve Maloney, T. C., (2017) General overview of graphene: Production, properties and application in polymer composites. *Materials Science and Engineering: B*, 215, 9-28.
2. Chua, C. K. ve Pumera, M., (2014) Chemical reduction of graphene oxide: A synthetic chemistry viewpoint. *Chemical Society Reviews*, 43(1), 291-312.
3. Zhu, Y., Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R. ve Ruoff, R. S., (2010) Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications. *Advanced Materials*, 22(35), 3906-3924.
4. Adetayo, A. ve Runsewe, D., (2019) Synthesis and fabrication of graphene and graphene oxide: A review. *Open Journal of Composite Materials*, 09(02), 207-229.
5. Zhong, Y., Zhen, Z. ve Zhu, H., (2017) Graphene: Fundamental research and potential applications. *FlatChem*, 4, 20-32.
6. Yu, W., Sisi, L., Haiyan, Y. ve Jie, L., (2020) Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: A review. *RSC Advances*, 10(26), 15328-15345.
7. Dash, G. N., Pattanaik, S. R. ve Behera, S., (2014) Graphene for electron devices: The panorama of a decade. *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, 2(5), 77-104.
8. Sood, A. K., Lund, I., Puri, Y. R., Efstathiadis, H., Haldar, P., Dhar, N. K., Lewis, J., Dubey, M., Zakar, E. ve Wijewarnasuriya, P., (2015). Review of graphene technology and its applications for electronic devices, *Graphene—new trends and developments*, F. Ebrahimi, Editor. *Hrvatistan, InTech*, 59-91.
9. Ren, S., Rong, P. ve Yu, Q., (2018) Preparations, properties and applications of graphene in functional devices: A concise review. *Ceramics International*, 44(11), 11940-11955.
10. Lü, K., Zhao, G. ve Wang, X., (2012) A brief review of graphene-based material synthesis and its application in environmental pollution management. *Chinese Science Bulletin*, 57(11), 1223-1234.

11. Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I. ve Seal, S., (2011) Graphene based materials: Past, present and future. *Progress in Materials Science*, 56(8), 1178-1271.
12. Mohan, V. B., Lau, K.-t., Hui, D. ve Bhattacharyya, D., (2018) Graphene-based materials and their composites: A review on production, applications and product limitations. *Composites Part B: Engineering*, 142, 200-220.
13. da Luz, F. S., Garcia Filho, F. d. C., del-Río, M. T. G., Nascimento, L. F. C., Pinheiro, W. A. ve Monteiro, S. N., (2020) Graphene-incorporated natural fiber polymer composites: A first overview. *Polymers*, 12(7), 1601.
14. Choi, W., Lahiri, I., Seelaboyina, R. ve Kang, Y. S., (2010) Synthesis of graphene and its applications: A review. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 35(1), 52-71.
15. Hernandez, Y., Nicolosi, V., Lotya, M., Blighe, F. M., Sun, Z., De, S., McGovern, I. T., Holland, B., Byrne, M., Gun'Ko, Y. K., Boland, J. J., Niraj, P., Duesberg, G., Krishnamurthy, S., Goodhue, R., Hutchison, J., Scardaci, V., Ferrari, A. C. ve Coleman, J. N., (2008) High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite. *Nature Nanotechnology*, 3(9), 563-568.
16. Ciesielski, A. ve Samorì, P., (2014) Graphene via sonication assisted liquid-phase exfoliation. *Chemical Society Reviews*, 43(1), 381-398.
17. Cui, X., Zhang, C., Hao, R. ve Hou, Y., (2011) Liquid-phase exfoliation, functionalization and applications of graphene. *Nanoscale*, 3(5), 2118-2126.
18. Papageorgiou, D. G., Kinloch, I. A. ve Young, R. J., (2017) Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites. *Progress in Materials Science*, 90, 75-127.
19. Buzaglo, M., Bar, I. P., Varenik, M., Shunak, L., Pevzner, S. ve Regev, O., (2017) Graphite-to-graphene: Total conversion. *Advanced Materials*, 29(8), 1603528.
20. Knieke, C., Berger, A., Voigt, M., Taylor, R. N. K., Röhr, J. ve Peukert, W., (2010) Scalable production of graphene sheets by mechanical delamination. *Carbon*, 48(11), 3196-3204.
21. Melezhik, A. V., Pershin, V. F., Memetov, N. R. ve Tkachev, A. G., (2016) Mechanochemical synthesis of graphene nanoplatelets from expanded graphite compound. *Nanotechnologies in Russia*, 11(7), 421-429.

22. Yu, P., Lowe, S. E., Simon, G. P. ve Zhong, Y. L., (2015) Electrochemical exfoliation of graphite and production of functional graphene. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 20(5), 329-338.
23. Huang, X., Yin, Z., Wu, S., Qi, X., He, Q., Zhang, Q., Yan, Q., Boey, F. ve Zhang, H., (2011) Graphene-based materials: Synthesis, characterization, properties, and applications. *Small*, 7(14), 1876-1902.
24. Eigler, S., (2011). Transparent and electrically conductive films from chemically derived graphene, *Physics and applications of graphene-experiments*, S. Mikhailov, Editor. Hrvatistan, InTech, 109-134.
25. Wang, X. ve Chen, S., (2011). Graphene-based nanocomposites, *Physics and applicaitons of graphene-experiments*, S. Mikhailov, Editor. Hrvatistan, InTech, 135-168.
26. Ghany, N. A. A., Elsherif, S. A. ve Handal, H. T., (2017) Revolution of graphene for different applications: State-of-the-art. *Surfaces and Interfaces*, 9, 93-106.
27. Kumar, P. ve Wani, M., (2017) Synthesis and tribological properties of graphene: A review. *Jurnal Tribologi*, 13, 36-71.
28. Avouris, P. ve Dimitrakopoulos, C., (2012) Graphene: Synthesis and applications. *Materials Today*, 15(3), 86-97.
29. Zaaba, N. I., Foo, K. L., Hashim, U., Tan, S. J., Liu, W.-W. ve Voon, C. H., (2017) Synthesis of graphene oxide using modified hummers method: Solvent influence. *Procedia Engineering*, 184, 469-477.
30. Chen, J., Li, Y., Huang, L., Li, C. ve Shi, G., (2015) High-yield preparation of graphene oxide from small graphite flakes via an improved hummers method with a simple purification process. *Carbon*, 81, 826-834.
31. Shah, R., Kausar, A., Muhammad, B. ve Shah, S., (2015) Progression from graphene and graphene oxide to high performance polymer-based nanocomposite: A review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 54(2), 173-183.
32. Marcano, D. C., Kosynkin, D. V., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W. ve Tour, J. M., (2010) Improved synthesis of graphene oxide. *ACS NANO*, 4(8), 4806-4814.
33. Hashim, N., Muda, Z., Hussein, M. Z., Isa, I. M., Mohamed, A., Kamari, A., Bakar, S. A., Mamat, M. ve Jaafar, A., (2016) A brief review on recent graphene

- oxide-based material nanocomposites: Synthesis and applications. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(9), 3225-3243.
34. Guerrero-Contreras, J. ve Caballero-Briones, F., (2015) Graphene oxide powders with different oxidation degree, prepared by synthesis variations of the hummers method. *Materials Chemistry and Physics*, 153, 209-220.
 35. Dimiev, A., Kosynkin, D. V., Alemany, L. B., Chaguine, P. ve Tour, J. M., (2012) Pristine graphite oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 134(5), 2815-2822.
 36. Sun, H., Yang, Y. ve Huang, Q., (2011) Preparation and structural variation of graphite oxide and graphene oxide. *Integrated Ferroelectrics*, 128(1), 163-170.
 37. Lawal, A. T., (2019) Graphene-based nano composites and their applications. A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 141, 111384.
 38. Muzyka, R., Kwoka, M., Smędowski, Ł., Díez, N. ve Gryglewicz, G., (2017) Oxidation of graphite by different modified hummers methods. *New Carbon Materials*, 32(1), 15-20.
 39. Li, F., Jiang, X., Zhao, J. ve Zhang, S., (2015) Graphene oxide: A promising nanomaterial for energy and environmental applications. *Nano Energy*, 16, 488-515.
 40. Toh, S. Y., Loh, K. S., Kamarudin, S. K. ve Daud, W. R. W., (2014) Graphene production via electrochemical reduction of graphene oxide: Synthesis and characterisation. *Chemical Engineering Journal*, 251, 422-434.
 41. Kuila, T., Mishra, A. K., Khanra, P., Kim, N. H. ve Lee, J. H., (2013) Recent advances in the efficient reduction of graphene oxide and its application as energy storage electrode materials. *Nanoscale*, 5(1), 52-71.
 42. McDonald, M. P., Morozov, Y., Hodak, J. H. ve Kuno, M., (2015). Spectroscopy and microscopy of graphene oxide and reduced graphene oxide, *Graphene oxide: Reduction recipes, spectroscopy, and applications*, W. Gao, Editor., Springer.
 43. Pei, S. ve Cheng, H.-M., (2012) The reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50(9), 3210-3228.
 44. Huh, S. H., (2011). Thermal reduction of graphene oxide, *Physics and applications of graphene-experiments*, S. Mikhailov, Editor. Hirvatistan, InTech, 73-90.

45. Singh, R. K., Kumar, R. ve Singh, D. P., (2016) Graphene oxide: Strategies for synthesis, reduction and frontier applications. *RSC Advances*, 6(69), 64993-65011.
46. Li, H. ve Bubeck, C., (2013) Photoreduction processes of graphene oxide and related applications. *Macromolecular Research*, 21(3), 290-297.
47. Molina, J., (2016) Graphene-based fabrics and their applications: A review. *RSC Advances*, 6(72), 68261-68291.
48. Shim, E., (2010). Coating and laminating processes and techniques for textiles, *Smart textile coatings and laminates*, W. C. Smith, Editor. ABD, Elsevier, 11-45.
49. Davard, F. ve Dupuis, D., (2002) Blade coating of fabrics: Rheology and fluid penetration. *Coloration Technology*, 118(2), 69-74.
50. Yesilalan, H. E., Warner, S. B. ve Laoulache, R., (2010) Penetration of blade-applied viscous coatings into yarns in a woven fabric. *Textile Research Journal*, 80(18), 1930-1941.
51. Tran, T. S., Dutta, N. K. ve Choudhury, N. R., (2018) Graphene inks for printed flexible electronics: Graphene dispersions, ink formulations, printing techniques and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 261, 41-61.
52. Søndergaard, R., Hösel, M., Angmo, D., Larsen-Olsen, T. T. ve Krebs, F. C., (2012) Roll-to-roll fabrication of polymer solar cells. *Materials Today*, 15(1-2), 36-49.
53. Heo, J. S., Hossain, M. F. ve Kim, I., (2020) Challenges in design and fabrication of flexible/stretchable carbon- and textile-based wearable sensors for health monitoring: A critical review. *Sensors (Basel)*, 20(14).
54. Chu, Y., Qian, C., Chahal, P. ve Cao, C., (2019) Printed diodes: Materials processing, fabrication, and applications. *Advanced Science*, 6(6), 1801653.
55. Ersoy, M. S., Dönmez, U., Yıldız, K., Salan, T., Yazıcı, M., Tiyek, İ. ve Alma, M. H., 2015 of Conference. Graphene applied textile materials for wearable e-textiles. 5th International Istanbul Textile Congress 2015: Innovative Technologies —Inspire to Innovate, 11-12 Eylül, İstanbul, Türkiye.
56. Islam, G. M. N., Ali, A. ve Collie, S., (2020) Textile sensors for wearable applications: A comprehensive review. *Cellulose*, 27(11), 6103-6131.

57. Yu, R., Zhu, C., Wan, J., Li, Y. ve Hong, X., (2021) Review of graphene-based textile strain sensors, with emphasis on structure activity relationship. *Polymers (Basel)*, 13(1).
58. Yin, F., Yang, J., Peng, H. ve Yuan, W., (2018) Flexible and highly sensitive artificial electronic skin based on graphene/polyamide interlocking fabric. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(25), 6840-6846.
59. Wang, D., Li, D., Zhao, M., Xu, Y. ve Wei, Q., (2018) Multifunctional wearable smart device based on conductive reduced graphene oxide/polyester fabric. *Applied Surface Science*, 454, 218-226.
60. Yapici, M. K. ve Alkhidir, T. E., (2017) Intelligent medical garments with graphene-functionalized smart-cloth ecg sensors. *Sensors (Basel)*, 17(4).
61. Montazerian, H., Rashidi, A., Dalili, A., Najjaran, H., Milani, A. S. ve Hoorfar, M., (2019) Graphene-coated spandex sensors embedded into silicone sheath for composites health monitoring and wearable applications. *Small*, 15(17), 1804991.
62. Huang, Y., Gao, L., Zhao, Y., Guo, X., Liu, C. ve Liu, P., (2017) Highly flexible fabric strain sensor based on graphene nanoplatelet-polyaniline nanocomposites for human gesture recognition. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(39).
63. Golparvar, A. J. ve Yapici, M. K., 2017. Wearable graphene textile-enabled eeg sensing. *2017 IEEE Sensors*.
64. Kathirvelu, S., D'souza, L. ve Dhurai, B., (2009) Uv protection finishing of textiles using zno nanoparticles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 34, 267-273.
65. Saravanan, D., (2007) Uv protection textile materials. *AUTEX Research Journal*, 7(1), 53-62.
66. Qu, L., Tian, M., Hu, X., Wang, Y., Zhu, S., Guo, X., Han, G., Zhang, X., Sun, K. ve Tang, X., (2014) Functionalization of cotton fabric at low graphene nanoplate content for ultrastrong ultraviolet blocking. *Carbon*, 80, 565-574.
67. Tsuzuki, T. ve Wang, X., (2010) Nanoparticle coatings for uv protective textiles. *Research Journal of Textile and Apparel*, 14(2), 9-20.
68. Mavrić, Z., Tomšič, B. ve Simončič, B., (2018) Recent advances in the ultraviolet protection finishing of textiles. *Tekstilec*, 61(3).

69. Babaahmadi, V. ve Montazer, M., (2016) Reduced graphene oxide/sno2 nanocomposite on pet surface: Synthesis, characterization and application as an electro-conductive and ultraviolet blocking textile. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 506, 507-513.
70. Hu, X., Tian, M., Qu, L., Zhu, S. ve Han, G., (2015) Multifunctional cotton fabrics with graphene/polyurethane coatings with far-infrared emission, electrical conductivity, and ultraviolet-blocking properties. *Carbon*, 95, 625-633.
71. Tang, X., Tian, M., Qu, L., Zhu, S., Guo, X., Han, G., Sun, K., Hu, X., Wang, Y. ve Xu, X., (2015) Functionalization of cotton fabric with graphene oxide nanosheet and polyaniline for conductive and uv blocking properties. *Synthetic Metals*, 202, 82-88.
72. Mirjalili, M., (2016) Preparation of electroconductive, magnetic, antibacterial, and ultraviolet-blocking cotton fabric using reduced graphene oxide nanosheets and magnetite nanoparticles. *Fibers and Polymers*, 17(10), 1579-1588.
73. Pandiyarasan, V., Archana, J., Pavithra, A., Ashwin, V., Navaneethan, M., Hayakawa, Y. ve Ikeda, H., (2017) Hydrothermal growth of reduced graphene oxide on cotton fabric for enhanced ultraviolet protection applications. *Materials Letters*, 188, 123-126.
74. Tian, M., Tang, X., Qu, L., Zhu, S., Guo, X. ve Han, G., (2015) Robust ultraviolet blocking cotton fabric modified with chitosan/graphene nanocomposites. *Materials Letters*, 145, 340-343.
75. Cao, J. ve Wang, C., (2017) Multifunctional surface modification of silk fabric via graphene oxide repeatedly coating and chemical reduction method. *Applied Surface Science*, 405, 380-388.
76. Amesimeku, J., Song, W. ve Wang, C., (2019) Fabrication of electrically conductive and improved uv-resistant aramid fabric via bio-inspired polydopamine and graphene oxide coating. *The Journal of The Textile Institute*, 110(10), 1484-1492.
77. Berendjchi, A., Khajavi, R., Yousefi, A. A. ve Yazdanshenas, M. E., (2016) Improved continuity of reduced graphene oxide on polyester fabric by use of polypyrrole to achieve a highly electro-conductive and flexible substrate. *Applied Surface Science*, 363, 264-272.

78. Cai, G., Xu, Z., Yang, M., Tang, B. ve Wang, X., (2017) Functionalization of cotton fabrics through thermal reduction of graphene oxide. *Applied Surface Science*, 393, 441-448.
79. Pan, N., Liu, Y., Ren, X. ve Huang, T.-S., (2018) Fabrication of cotton fabrics through in-situ reduction of polymeric n-halamine modified graphene oxide with enhanced ultraviolet-blocking, self-cleaning, and highly efficient, and monitorable antibacterial properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 555, 765-771.
80. Tian, M., Hu, X., Qu, L., Zhu, S., Sun, Y. ve Han, G., (2016) Versatile and ductile cotton fabric achieved via layer-by-layer self-assembly by consecutive adsorption of graphene doped pedot: Pss and chitosan. *Carbon*, 96, 1166-1174.
81. Zhao, H., Tian, M., Hao, Y., Qu, L., Zhu, S. ve Chen, S., (2018) Fast and facile graphene oxide grafting on hydrophobic polyamide fabric via electrophoretic deposition route. *Journal of Materials Science*, 53(13), 9504-9520.
82. Bhattacharjee, S., Macintyre, C. R., Wen, X., Bahl, P., Kumar, U., Chughtai, A. A. ve Joshi, R., (2020) Nanoparticles incorporated graphene-based durable cotton fabrics. *Carbon*, 166, 148-163.
83. Song, W., Wang, B., Fan, L., Ge, F. ve Wang, C., (2019) Graphene oxide/waterborne polyurethane composites for fine pattern fabrication and ultrastrong ultraviolet protection cotton fabric via screen printing. *Applied Surface Science*, 463, 403-411.
84. Bahners, T., Textor, T., Opwis, K. ve Schollmeyer, E., (2008) Recent approaches to highly hydrophobic textile surfaces. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22(3-4), 285-309.
85. Sethi, S. K. ve Manik, G., (2018) Recent progress in super hydrophobic/hydrophilic self-cleaning surfaces for various industrial applications: A review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(18), 1932-1952.
86. Rosales, A. ve Esquivel, K., (2020) Sio2@tio2 composite synthesis and its hydrophobic applications: A review. *Catalysts*, 10(2), 171.

87. Park, S., Kim, J. ve Park, C. H., (2015) Superhydrophobic textiles: Review of theoretical definitions, fabrication and functional evaluation. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(4), 1-18.
88. Anjum, A. S., Sun, K. C., Ali, M., Riaz, R. ve Jeong, S. H., (2020) Fabrication of coral-reef structured nano silica for self-cleaning and super-hydrophobic textile applications. *Chemical Engineering Journal*, 401, 125859.
89. Samanta, A. ve Bordes, R., (2020) Conductive textiles prepared by spray coating of water-based graphene dispersions. *RSC Advances*, 10(4), 2396-2403.
90. Zhou, X., Song, W. ve Zhu, G., (2020) A facile approach for fabricating silica dioxide/reduced graphene oxide coated cotton fabrics with multifunctional properties. *Cellulose*, 27(5), 2927-2938.
91. Tissera, N. D., Wijesena, R. N., Perera, J. R., de Silva, K. M. N. ve Amaratunge, G. A. J., (2015) Hydrophobic cotton textile surfaces using an amphiphilic graphene oxide (go) coating. *Applied Surface Science*, 324, 455-463.
92. Mizerska, U., Fortuniak, W., Makowski, T., Svyntkivska, M., Piorkowska, E., Kowalczyk, D. ve Brzezinski, S., (2019) Electrically conductive and hydrophobic rgo-containing organosilicon coating of cotton fabric. *Progress in Organic Coatings*, 137.
93. Shateri-Khalilabad, M. ve Yazdanshenas, M. E., (2013) Preparation of superhydrophobic electroconductive graphene-coated cotton cellulose. *Cellulose*, 20(2), 963-972.
94. Wang, C., Guo, R., Lan, J., Jiang, S. ve Zhang, Z., (2017) Microwave-assisted synthesis of silver/reduced graphene oxide on cotton fabric. *Cellulose*, 24(9), 4045-4055.
95. Shathi, M. A., Chen, M., Khoso, N. A., Rahman, M. T. ve Bhattacharjee, B., (2020) Graphene coated textile based highly flexible and washable sports bra for human health monitoring. *Materials & Design*, 193.
96. Lin, S.-Y., Zhang, T.-Y., Lu, Q., Wang, D.-Y., Yang, Y., Wu, X.-M. ve Ren, T.-L., (2017) High-performance graphene-based flexible heater for wearable applications. *RSC Advances*, 7(43), 27001-27006.

97. Noh, S. H., Eom, W., Ambade, S. B., Kim, S. H. ve Han, T. H., (2018) Graphene coated acrylic based fabric heaters. *Textile Science and Engineering*, 55, 118-123.
98. Tian, M., Du, M., Qu, L., Zhang, K., Li, H., Zhu, S. ve Liu, D., (2016) Conductive reduced graphene oxide/mno 2 carbonized cotton fabrics with enhanced electro - chemical, -heating, and -mechanical properties. *Journal of Power Sources*, 326, 428-437.
99. Kim, H. ve Lee, S., (2019) Characterization of electrical heating textile coated by graphene nanoplatelets/pvdf-hfp composite with various high graphene nanoplatelet contents. *Polymers*, 11(5).
100. Kim, H., Lee, S. ve Kim, H., (2019) Electrical heating performance of electro-conductive para-aramid knit manufactured by dip-coating in a graphene/waterborne polyurethane composite. *Scientific Reports*, 9(1), 1511.
101. Ji, X., Liu, W., Yin, Y., Wang, C. ve Torrisi, F., (2020) A graphene-based electro-thermochromic textile display. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(44), 15788-15794.
102. Ji, Y., Li, Y., Chen, G. ve Xing, T., (2017) Fire-resistant and highly electrically conductive silk fabrics fabricated with reduced graphene oxide via dry-coating. *Materials & Design*, 133, 528-535.
103. Kundu, C. K., Li, Z., Li, X., Zhang, Z. ve Hu, Y., (2020) Graphene oxide functionalized biomolecules for improved flame retardancy of polyamide 66 fabrics with intact physical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 362-371.
104. Chavali, K. S., Pethsangave, D. A., Patankar, K. C., Khose, R. V., Wadekar, P. H., Maiti, S., Adivarekar, R. V. ve Some, S., (2020) Graphene-based intumescent flame retardant on cotton fabric. *Journal of Materials Science*, 55(29), 14197-14210.
105. Malucelli, G., (2018) The role of graphene in flame retardancy of polymeric materials: Recent advances. *Current Graphene Science*, 2, 27-34.
106. Kausar, A., (2019) Trends in graphene reinforced polyamide nanocomposite for functional application: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 58(9), 917-933.

107. Zhao, Y., Wang, J., Li, Z., Zhang, X., Tian, M., Zhang, X., Liu, X., Qu, L. ve Zhu, S., (2019) Washable, durable and flame retardant conductive textiles based on reduced graphene oxide modification. *Cellulose*, 27(3), 1763-1771.
108. Wang, J., Zhao, Y., Ma, Y., Tian, M., Qu, L. ve Zhu, S., (2020) Irradiation crosslinking of melamine/graphene oxide polyamide fabric. *The Journal of The Textile Institute*, 1-5.
109. Zhu, S., Zhao, Y., Tian, M., Zhang, X., Shi, M. ve Qu, L., (2021) Anti-dripping fabrics of polyethylene terephthalate coated with graphene oxide. *The Journal of The Textile Institute*, 112(1), 16-22.
110. Cao, X., Yin, Z. ve Zhang, H., (2014) Three-dimensional graphene materials: Preparation, structures and application in supercapacitors. *Energy & Environmental Science*, 7(6), 1850-1865.
111. Ke, Q. ve Wang, J., (2016) Graphene-based materials for supercapacitor electrodes – a review. *Journal of Materiomics*, 2(1), 37-54.
112. Mao, J., Iocozzia, J., Huang, J., Meng, K., Lai, Y. ve Lin, Z., (2018) Graphene aerogels for efficient energy storage and conversion. *Energy & Environmental Science*, 11(4), 772-799.
113. Chen, L., Liu, Y., Zhao, Y., Chen, N. ve Qu, L., (2016) Graphene-based fibers for supercapacitor applications. *Nanotechnology*, 27(3), 032001.
114. Ramadoss, A., Saravanakumar, B. ve Kim, S. J., (2015) Thermally reduced graphene oxide-coated fabrics for flexible supercapacitors and self-powered systems. *Nano Energy*, 15, 587-597.
115. Shao, F., Bian, S. W., Zhu, Q., Guo, M. X., Liu, S. ve Peng, Y. H., (2016) Fabrication of polyaniline/graphene/polyester textile electrode materials for flexible supercapacitors with high capacitance and cycling stability. *Chemistry-An Asian Journal*, 11(13), 1906-1912.
116. Xu, L.-L., Guo, M.-X., Liu, S. ve Bian, S.-W., (2015) Graphene/cotton composite fabrics as flexible electrode materials for electrochemical capacitors. *RSC Advances*, 5(32), 25244-25249.
117. Xu, J., Wang, D., Yuan, Y., Wei, W., Duan, L., Wang, L., Bao, H. ve Xu, W., (2015) Polypyrrole/reduced graphene oxide coated fabric electrodes for supercapacitor application. *Organic Electronics*, 24, 153-159.

118. Zhao, C., Shu, K., Wang, C., Gambhir, S. ve Wallace, G. G., (2015) Reduced graphene oxide and polypyrrole/reduced graphene oxide composite coated stretchable fabric electrodes for supercapacitor application. *Electrochimica Acta*, 172, 12-19.
119. Abdelkader, A. M., Karim, N., Vallés, C., Afroj, S., Novoselov, K. S. ve Yeates, S. G., (2017) Ultraflexible and robust graphene supercapacitors printed on textiles for wearable electronics applications. *2D Materials*, 4(3), 035016.
120. Noor, N., Mutalik, S., Younas, M. W., Chan, C. Y., Thakur, S., Wang, F., Yao, M. Z., Mou, Q. ve Leung, P. H., (2019) Durable antimicrobial behaviour from silver-graphene coated medical textile composites. *Polymers (Basel)*, 11(12).
121. Krishnamoorthy, K., Navaneethaiyer, U., Mohan, R., Lee, J. ve Kim, S.-J., (2011) Graphene oxide nanostructures modified multifunctional cotton fabrics. *Applied Nanoscience*, 2(2), 119-126.
122. Ji, H., Sun, H. ve Qu, X., (2016) Antibacterial applications of graphene-based nanomaterials: Recent achievements and challenges. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 105(Pt B), 176-189.
123. Zhao, J., Deng, B., Lv, M., Li, J., Zhang, Y., Jiang, H., Peng, C., Li, J., Shi, J., Huang, Q. ve Fan, C., (2013) Graphene oxide-based antibacterial cotton fabrics. *Advanced Healthcare Materials*, 2(9), 1259-1266.
124. Ghosh, S., Ganguly, S., Das, P., Das, T. K., Bose, M., Singha, N. K., Das, A. K. ve Das, N. C., (2019) Fabrication of reduced graphene oxide/silver nanoparticles decorated conductive cotton fabric for high performing electromagnetic interference shielding and antibacterial application. *Fibers and Polymers*, 20(6), 1161-1171.
125. Karimi, L., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A. ve Mirjalili, M., (2015) Optimizing the photocatalytic properties and the synergistic effects of graphene and nano titanium dioxide immobilized on cotton fabric. *Applied Surface Science*, 332, 665-673.
126. Karimi, L., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A. ve Mirjalili, M., (2014) Using graphene/tio₂ nanocomposite as a new route for preparation of electroconductive, self-cleaning, antibacterial and antifungal cotton fabric without toxicity. *Cellulose*, 21(5), 3813-3827.

127. Shirgholami, M. A., Karimi, L. ve Mirjalili, M., (2016) Multifunctional modification of wool fabric using graphene/tio2 nanocomposite. *Fibers and Polymers*, 17(2), 220-228.
128. Hasani, M. ve Montazer, M., (2017) Cationization of cellulose/polyamide on uv protection, bio-activity, and electro-conductivity of graphene oxide-treated fabric. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(44).
129. Ozen, M. S., Sancak, E., Beyit, A., Usta, I. ve Akalin, M., (2012) Investigation of electromagnetic shielding properties of needle-punched nonwoven fabrics with stainless steel and polyester fiber. *Textile Research Journal*, 83(8), 849-858
130. Sancak, E., Akalin, M., Usta, İ., Yuksek, M. ve Özen, M. S., (2018) The effects of fabric and conductive wire properties on electromagnetic shielding effectiveness and surface resistivity of interlock knitted fabrics. *Fibers and Polymers*, 19(4), 843-853.
131. Gultekin, N. D. ve Usta, I., (2014) The effect of multiwalled carbon nanotube (mwcnt) ratio on electrical properties and electromagnetic shielding effectiveness of pa 6/mwcnt-coated cotton fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 105(7), 770-778.
132. Gültekin, B. C., Gültekin, N. D., Atak, O. ve Şimşek, R., (2018) Evaluation of the electromagnetic shielding effectiveness of carbon-based screen printed polyester fabrics. *Fibers and Polymers*, 19(2), 313-320.
133. Ozen, M. S., Sancak, E., Soin, N., Shah, T. H., Zarei, A. ve Siores, E., (2018) Unprecedented electromagnetic shielding effectiveness of lightweight nonwoven ag/pa66 fabrics. *Fibers and Polymers*, 19(2), 321-330.
134. Özen, M. S., Usta, İ., Beyit, A., Uzun, M., Sancak, E. ve İşgören, E., 2012. An investigation of electromagnetic wave absorption potential of woven fabrics with stainless steel wire. *RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012*, Bangkok Thailand.
135. Zou, L., Zhang, S., Li, X., Lan, C., Qiu, Y. ve Ma, Y., (2016) Step-by-step strategy for constructing multilayer structured coatings toward high-efficiency electromagnetic interference shielding. *Advanced Materials Interfaces*, 3(5).
136. Yuan, Y., Yin, W., Yang, M., Xu, F., Zhao, X., Li, J., Peng, Q., He, X., Du, S. ve Li, Y., (2018) Lightweight, flexible and strong core-shell non-woven fabrics

- covered by reduced graphene oxide for high-performance electromagnetic interference shielding. *Carbon*, 130, 59-68.
137. Liu, Y., Yu, Y. ve Zhao, X., (2020) Research on the electromagnetic property of the single-layer graphene-coated fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 112(2), 255-263.
 138. Islam, M. D. Z., Dong, Y., Khoso, N. A., Ahmed, A., Deb, H., Zhu, Y., Wentong, Y. ve Fu, Y., (2019) Continuous dyeing of graphene on cotton fabric: Binder-free approach for electromagnetic shielding. *Applied Surface Science*, 496.
 139. Gupta, S., Chang, C., Anbalagan, A. K., Lee, C.-H. ve Tai, N.-H., (2020) Reduced graphene oxide/zinc oxide coated wearable electrically conductive cotton textile for high microwave absorption. *Composites Science and Technology*, 188.
 140. Wang, C., Xiang, C., Tan, L., Lan, J., Peng, L., Jiang, S. ve Guo, R., (2017) Preparation of silver/reduced graphene oxide coated polyester fabric for electromagnetic interference shielding. *RSC Advances*, 7(64), 40452-40461.
 141. Shateri-Khalilabad, M. ve Yazdanshenas, M. E., (2013) Fabricating electroconductive cotton textiles using graphene. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 190-195.
 142. Chatterjee, A., Nivas Kumar, M. ve Maity, S., (2017) Influence of graphene oxide concentration and dipping cycles on electrical conductivity of coated cotton textiles. *The Journal of The Textile Institute*, 108(11), 1910-1916.
 143. Kowalczyk, D., Fortuniak, W., Mizerska, U., Kaminska, I., Makowski, T., Brzezinski, S. ve Piorkowska, E., (2017) Modification of cotton fabric with graphene and reduced graphene oxide using sol–gel method. *Cellulose*, 24(9), 4057-4068.
 144. Vinisha Rani, K., Sarma, B. ve Sarma, A., (2018) Plasma treatment on cotton fabrics to enhance the adhesion of reduced graphene oxide for electro-conductive properties. *Diamond and Related Materials*, 84, 77-85.
 145. Molina, J., Fernández, J., del Río, A. I., Bonastre, J. ve Cases, F., (2013) Chemical and electrochemical study of fabrics coated with reduced graphene oxide. *Applied Surface Science*, 279, 46-54.

146. Molina, J., Fernández, J., Inés, J. C., del Río, A. I., Bonastre, J. ve Cases, F., (2013) Electrochemical characterization of reduced graphene oxide-coated polyester fabrics. *Electrochimica Acta*, 93, 44-52.
147. Kongahge, D., Foroughi, J., Gambhir, S., Spinks, G. M. ve Wallace, G. G., (2016) Fabrication of a graphene coated nonwoven textile for industrial applications. *RSC Advances*, 6(77), 73203-73209.
148. Babaahmadi, V., Montazer, M. ve Gao, W., (2018) Surface modification of pet fabric through in-situ reduction and cross-linking of graphene oxide: Towards developing durable conductive fabric coatings. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 545, 16-25.
149. Hasani, M. ve Montazer, M., (2017) Electro-conductivity, bioactivity and uv protection of graphene oxide-treated cellulosic/polyamide fabric using inorganic and organic reducing agents. *The Journal of The Textile Institute*, 108(10), 1777-1786.
150. Manasoglu, G., Celen, R., Kanik, M. ve Ulcay, Y., (2019) Electrical resistivity and thermal conductivity properties of graphene-coated woven fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(40).
151. Fugetsu, B., Sano, E., Yu, H., Mori, K. ve Tanaka, T., (2010) Graphene oxide as dyestuffs for the creation of electrically conductive fabrics. *Carbon*, 48(12), 3340-3345.
152. Lu, Z., Mao, C. ve Zhang, H., (2015) Highly conductive graphene-coated silk fabricated via a repeated coating-reduction approach. *Journal of Materials Chemistry C*, 3(17), 4265-4268.
153. Zulan, L., Zhi, L., Lan, C., Sihao, C., Dayang, W. ve Fangyin, D., (2019) Reduced graphene oxide coated silk fabrics with conductive property for wearable electronic textiles application. *Advanced Electronic Materials*, 5(4).
154. Yaghoubidoust, F., Wicaksono, D. H. B., Chandren, S. ve Nur, H., (2014) Effect of graphene oxide on the structural and electrochemical behavior of polypyrrole deposited on cotton fabric. *Journal of Molecular Structure*, 1075, 486-493.
155. Babaahmadi, V., Montazer, M. ve Gao, W., (2017) Low temperature welding of graphene on pet with silver nanoparticles producing higher durable electro-conductive fabric. *Carbon*, 118, 443-451.

156. Ouadil, B., Cherkaoui, O., Safi, M. ve Zahouily, M., (2017) Surface modification of knit polyester fabric for mechanical, electrical and uv protection properties by coating with graphene oxide, graphene and graphene/silver nanocomposites. *Applied Surface Science*, 414, 292-302.
157. Moazami, A., Montazer, M. ve Dolatabadi, M. K., (2016) Tunable functional properties on polyester fabric using simultaneous green reduction of graphene oxide and silver nitrate. *Fibers and Polymers*, 17(9), 1359-1370.
158. Cao, J. ve Wang, C., (2018) Highly conductive and flexible silk fabric via electrostatic self assemble between reduced graphene oxide and polyaniline. *Organic Electronics*, 55, 26-34.
159. Li, C., Zhuang, Z., Jin, X. ve Chen, Z., (2017) A facile and green preparation of reduced graphene oxide using eucalyptus leaf extract. *Applied Surface Science*, 422, 469-474.
160. Kuila, T., Bose, S., Khanra, P., Mishra, A. K., Kim, N. H. ve Lee, J. H., (2012) A green approach for the reduction of graphene oxide by wild carrot root. *Carbon*, 50(3), 914-921.
161. Thi Vu, T. H., Thi Tran, T. T., Thi Le, H. N., Thi Nguyen, P. H., Bui, N. Q. ve Essayem, N., (2015) A new green approach for the reduction of graphene oxide nanosheets using caffeine. *Bulletin of Materials Science*, 38(3), 667–671.
162. Hou, D., Liu, Q., Cheng, H., Li, K., Wang, D. ve Zhang, H., (2016) Chrysanthemum extract assisted green reduction of graphene oxide. *Materials Chemistry and Physics*, 183, 76-82.
163. Suresh, D., Udayabhanu, Pavan Kumar, M. A., Nagabhushana, H. ve Sharma, S. C., (2015) Cinnamon supported facile green reduction of graphene oxide, its dye elimination and antioxidant activities. *Materials Letters*, 151, 93-95.
164. Xu, C., Shi, X., Ji, A., Shi, L., Zhou, C. ve Cui, Y., (2015) Fabrication and characteristics of reduced graphene oxide produced with different green reductants. *PLoS One*, 10(12), e0144842.
165. Upadhyay, R. K., Soin, N., Bhattacharya, G., Saha, S., Barman, A. ve Roy, S. S., (2015) Grape extract assisted green synthesis of reduced graphene oxide for water treatment application. *Materials Letters*, 160, 355-358.

166. Khan, M., Al-Marri, A. H., Khan, M., Shaik, M. R., Mohri, N., Adil, S. F., Kuniyil, M., Alkhathlan, H. Z., Al-Warthan, A., Tremel, W., Tahir, M. N. ve Siddiqui, M. R., (2015) Green approach for the effective reduction of graphene oxide using salvadora persica l. Root (miswak) extract. *Nanoscale Research Letters*, 10(1), 987.
167. Zhou, X., Huang, H., Zhu, R., Chen, R., Sheng, X., Xie, D. ve Mei, Y., (2020) Green modification of graphene oxide with phytic acid and its application in anticorrosive water-borne epoxy coatings. *Progress in Organic Coatings*, 143.
168. Bo, Z., Shuai, X., Mao, S., Yang, H., Qian, J., Chen, J., Yan, J. ve Cen, K., (2014) Green preparation of reduced graphene oxide for sensing and energy storage applications. *Scientific Reports*, 4, 4684.
169. Chu, H.-J., Lee, C.-Y. ve Tai, N.-H., (2016) Green preparation using black soybeans extract for graphene-based porous electrodes and their applications in supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 322, 31-39.
170. Suresh, D., Nethravathi, P. C., Udayabhanu, Nagabhushana, H. ve Sharma, S. C., (2015) Spinach assisted green reduction of graphene oxide and its antioxidant and dye absorption properties. *Ceramics International*, 41(3), 4810-4813.
171. Khanra, P., Kuila, T., Kim, N. H., Bae, S. H., Yu, D.-s. ve Lee, J. H., (2012) Simultaneous bio-functionalization and reduction of graphene oxide by baker's yeast. *Chemical Engineering Journal*, 183, 526-533.
172. Chettri, P., Vendamani, V. S., Tripathi, A., Pathak, A. P. ve Tiwari, A., (2016) Self assembly of functionalised graphene nanostructures by one step reduction of graphene oxide using aqueous extract of artemisia vulgaris. *Applied Surface Science*, 362, 221-229.
173. Zaid, R. M., Chong, F. C., Teo, E. Y. L., Ng, E.-P. ve Chong, K. F., (2015) Reduction of graphene oxide nanosheets by natural beta carotene and its potential use as supercapacitor electrode. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(4), 560-569.
174. Gurunathan, S., Han, J. W., Kim, E. S., Park, J. H. ve Kim, J. H., (2015) Reduction of graphene oxide by resveratrol: A novel and simple biological method for the synthesis of an effective anticancer nanotherapeutic molecule. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 2951-2969.

175. Maddinedi, S. B., Mandal, B. K., Vankayala, R., Kalluru, P., Tammina, S. K. ve Kiran Kumar, H. A., (2014) Casein mediated green synthesis and decoration of reduced graphene oxide. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 126, 227-231.
176. Wang, J., Salihi, E. C. ve Siller, L., (2017) Green reduction of graphene oxide using alanine. *Materials Science and Engineering C* 72, 1-6.
177. Li, B., Jin, X., Lin, J. ve Chen, Z., (2018) Green reduction of graphene oxide by sugarcane bagasse extract and its application for the removal of cadmium in aqueous solution. *Journal of Cleaner Production*, 189, 128-134.
178. Chu, H.-J., Lee, C.-Y. ve Tai, N.-H., (2014) Green reduction of graphene oxide by hibiscus sabdariffa l. To fabricate flexible graphene electrode. *Carbon*, 80, 725-733.
179. Wijaya, R., Andersan, G., Permatasari Santoso, S. ve Irawaty, W., (2020) Green reduction of graphene oxide using kaffir lime peel extract (*citrus hystrix*) and its application as adsorbent for methylene blue. *Scientific Reports*, 10(1), 667.
180. Moosa, A. A. ve Jaafar, J. N., (2017) Green reduction of graphene oxide using tea leaves extract with applications to lead ions removal from water. *Nanoscience and Nanotechnology*, 7(2), 38-47
181. Hou, D., Liu, Q., Cheng, H., Zhang, H. ve Wang, S., (2017) Green reduction of graphene oxide via lycium barbarum extract. *Journal of Solid State Chemistry*, 246, 351-356.
182. Haghighi, B. ve Tabrizi, M. A., (2013) Green-synthesis of reduced graphene oxide nanosheets using rose water and a survey on their characteristics and applications. *RSC Advances*, 3(32).
183. Gurunathan, S., Han, J. ve Kim, J. H., (2013) Humanin: A novel functional molecule for the green synthesis of graphene. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 111, 376-383.
184. Akhavan, O., Kalaei, M., Alavi, Z. S., Ghiasi, S. M. A. ve Esfandiar, A., (2012) Increasing the antioxidant activity of green tea polyphenols in the presence of iron for the reduction of graphene oxide. *Carbon*, 50(8), 3015-3025.

185. Pham, T. A., Kim, J. S., Kim, J. S. ve Jeong, Y. T., (2011) One-step reduction of graphene oxide with l-glutathione. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 384(1-3), 543-548.
186. Kumar, S., Bhorolua, D., K. Ojha, A. ve Kumar, A., (2019) Onion juice assisted green reduction of graphene oxide with tunable structural and optical properties: Effect of onion juice concentration and reaction temperature. *Advanced Materials Letters*, 10(1), 58-66.
187. Ghosh, T. K., Gope, S., Rana, D., Roy, I., Sarkar, G., Sadhukhan, S., Bhattacharya, A., Pramanik, K., Chattopadhyay, S., Chakraborty, M. ve Chattopadhyay, D., (2016) Physical and electrical characterization of reduced graphene oxide synthesized adopting green route. *Bulletin of Materials Science*, 39(2), 543–550.
188. Yaragalla, S., Rajendran, R., Jose, J., AlMaadeed, M. A., Kalarikkal, N. ve Thomas, S., (2016) Preparation and characterization of green graphene using grape seed extract for bioapplications. *Materials Science and Engineering C*, 65, 345-353.
189. De Silva, K. K. H., Huang, H.-H. ve Yoshimura, M., (2018) Progress of reduction of graphene oxide by ascorbic acid. *Applied Surface Science*, 447, 338-346.
190. Sykam, N., Madhavi, V. ve Rao, G. M., (2018) Rapid and efficient green reduction of graphene oxide for outstanding supercapacitors and dye adsorption applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3223-3232.
191. Tran, D. N. H., Kabiri, S. ve Losic, D., (2014) A green approach for the reduction of graphene oxide nanosheets using non-aromatic amino acids. *Carbon*, 76, 193-202.
192. Bhattacharya, G., Sas, S., Wadhwa, S., Mathur, A., McLaughlin, J. ve Roy, S. S., (2017) Aloe vera assisted facile green synthesis of reduced graphene oxide for electrochemical and dye removal applications. *RSC Advances*, 7(43), 26680-26688.
193. Chen, D., Li, L. ve Guo, L., (2011) An environment-friendly preparation of reduced graphene oxide nanosheets via amino acid. *Nanotechnology*, 22(32), 325601.

194. Khenfouch, M., Minnis Ndimba, R., Diallo, A., Khamlich, S., Hamzah, M., Dhlamini, M. S., Mothudi, B. M., Baitoul, M., Srinivasu, V. V. ve Maaza, M., (2016) *Artemisia herba-alba* as an eco-friendly reduced few-layered graphene oxide nanosheets: Structural investigations and physical properties. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 9(2), 122-131.
195. Lee, G. ve Kim, B. S., (2014) Biological reduction of graphene oxide using plant leaf extracts. *Biotechnology Progress*, 30(2), 463-469.
196. Zhang, D., Zhang, X., Chen, Y., Wang, C. ve Ma, Y., (2012) An environment-friendly route to synthesize reduced graphene oxide as a supercapacitor electrode material. *Electrochimica Acta*, 69, 364-370.
197. He, D., Shen, L., Zhang, X., Wang, Y., Bao, N. ve Kung, H. H., (2014) An efficient and eco-friendly solution-chemical route for preparation of ultrastable reduced graphene oxide suspensions. *Inorganic Materials: Synthesis And Processing*, 60(8), 2757-2764.
198. Sadhukhan, S., Ghosh, T. K., Rana, D., Roy, I., Bhattacharyya, A., Sarkar, G., Chakraborty, M. ve Chattopadhyay, D., (2016) Studies on synthesis of reduced graphene oxide (rgo) via green route and its electrical property. *Materials Research Bulletin*, 79, 41-51.
199. Chandu, B., Mosali, V. S. S., Mullamuri, B. ve Bollikolla, H. B., (2017) A facile green reduction of graphene oxide using *annona squamosa* leaf extract. *Carbon letters*, 21, 74-80.
200. Suresh, D., Udayabhanu, Nagabhushana, H. ve Sharma, S. C., (2015) Clove extract mediated facile green reduction of graphene oxide, its dye elimination and antioxidant properties. *Materials Letters*, 142, 4-6.
201. Shubha, P., Namratha, K., Aparna, H. S., Ashok, N. R., Mustak, M. S., Chatterjee, J. ve Byrappa, K., (2017) Facile green reduction of graphene oxide using *ocimum sanctum* hydroalcoholic extract and evaluation of its cellular toxicity. *Materials Chemistry and Physics*, 198, 66-72.
202. Thakur, S. ve Karak, N., (2012) Green reduction of graphene oxide by aqueous phytoextracts. *Carbon*, 50(14), 5331-5339.
203. Amouzadeh Tabrizi, M., Tavakkoli, A., Dhand, V., Rhee, K. Y. ve Park, S.-J., (2014) Eco-friendly one-pot synthesis of gold decorated reduced graphene oxide

- using beer as a reducing agent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(6), 4327-4331.
204. Hatamie, S., Akhavan, O., Sadrnezhad, S. K., Ahadian, M. M., Shirolkar, M. M. ve Wang, H. Q., (2015) Curcumin-reduced graphene oxide sheets and their effects on human breast cancer cells. *Materials Science and Engineering C*, 55, 482-489.
 205. Chen, Y., Niu, Y., Tian, T., Zhang, J., Wang, Y., Li, Y. ve Qin, L.-C., (2017) Microbial reduction of graphene oxide by *azotobacter chroococcum*. *Chemical Physics Letters*, 677, 143-147.
 206. Gurunathan, S., Han, J. W., Eppakayala, V. ve Kim, J. H., (2013) Microbial reduction of graphene oxide by *escherichia coli*: A green chemistry approach. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 102, 772-777.
 207. Wang, G., Qian, F., Saltikov, C. W., Jiao, Y. ve Li, Y., (2011) Microbial reduction of graphene oxide by *shewanella*. *Nano Research*, 4(6), 563-570.
 208. Rattan, S., Kumar, S. ve Goswamy, J. K., (2020) Graphene oxide reduction using green chemistry. *Materials Today: Proceedings*, 26, 3327-3331.
 209. Gültekin, N., Usta, İ. ve Yalçın, B., (2020) Green reduction of graphene oxide coated polyamide fabric using carob extract. *AATCC Journal of Research*, 7(6), 33-40.
 210. Şahin, H., Topuz, A., Pischetsrieder, M. ve Özdemir, F., (2009) Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *European Food Research and Technology*, 230(1), 155-161.
 211. Khelifa, M., Bahloul, A. ve Kitane, S., (2013) Determination of chemical composition of carob pod (*ceratonia siliqua* l) and its morphological study. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(3), 348-353.
 212. Yousif, A. K. ve Alghzawi, H. M., (2000) Processing and characterization of carob powder. *Food Chemistry*, 69, 283-287.
 213. Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S., Correia, P. J., Alaiç, M., Sanz, C., Grúz, J. ve Strnad, M., (2007) Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*ceratonia siliqua* l.) sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *Journal of Food Quality*, 30, 1040–1055.

214. Makris, D. P. ve Kefalas, P., (2004) Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 105–108.
215. Cavdarova, M. ve Makris, D. P., (2014) Extraction kinetics of phenolics from carob (*Ceratonia siliqua* L.) kibbles using environmentally benign solvents. *Waste and Biomass Valorization*, 5(5), 773-779.
216. Roseiro, L. B., Tavares, C. S., Roseiro, J. C. ve Rauter, A. P., (2013) Antioxidants from aqueous decoction of carob pods biomass (*Ceratonia siliqua* L.): Optimisation using response surface methodology and phenolic profile by capillary electrophoresis. *Industrial Crops and Products*, 44, 119-126.
217. Eldahshan, O. A., (2011) Isolation and structure elucidation of phenolic compounds of carob leaves grown in Egypt. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 3(1), 52-55.
218. Roseiro, L. B., Duarte, L. C., Oliveira, D. L., Roque, R., Bernardo-Gil, M. G., Martins, A. I., Sepúlveda, C., Almeida, J., Meireles, M., Gírio, F. M. ve Rauter, A. P., (2013) Supercritical, ultrasound and conventional extracts from carob (*Ceratonia siliqua* L.) biomass: Effect on the phenolic profile and antiproliferative activity. *Industrial Crops and Products*, 47, 132-138.
219. Baston, O., (2016) Production and analysis of *Ceratonia siliqua* L. Powders. *Annals. Food Science and Technology*, 17(1), 50-54.
220. Beğiç, N., Bener, M. ve Apak, R., (2021) Development of a green synthesized silver nanoparticle-based antioxidant capacity method using carob extract. *Journal of Nanostructure in Chemistry*.
221. Murathan, Z. T., Zarifikhosroshahi, M., Kafkas, E. ve Sevindik, E., (2016) Characterization of bioactive compounds in rosehip species from east anatolia region of turkey. *Italian Journal of Food Science*, 28, 314-325.
222. Angelov, G., Boyadzhieva, S. S. ve Georgieva, S. S., (2014) Rosehip extraction: Process optimization and antioxidant capacity of extracts. *Central European Journal of Chemistry*, 12(4), 502-508.
223. Gao, X., Björk, L., Trajkovski, V. ve Uggla, M., (2000) Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 2021-2027

224. Leahu, A., Damian, C., Oroian, M., Ropciuc, S. ve Rotaru, R., (2014) Influence of processing on vitamin c content of rosehip fruits. *Animal Science and Biotechnologies*, 47(1), 116-120.
225. Al-Yafeai, A., Malarski, A. ve Bohm, V., (2018) Characterization of carotenoids and vitamin e in r. *Rugosa* and r. *Canina*: Comparative analysis. *Food Chemistry*, 242, 435-442.
226. Stanila, A., Diaconeasa, Z., Roman, I., Sima, N., Maniutiu, D., Roman, A. ve Sima, R., (2015) Extraction and characterization of phenolic compounds from rose hip (*rosa canina* l.) using liquid chromatography coupled with electrospray ionization - mass spectrometry. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 349-354.
227. Su, L., Yin, J.-J., Charles, D., Zhou, K., Moore, J. ve Yu, L., (2007) Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. *Food Chemistry*, 100(3), 990-997.
228. Tumbas, V. T., Canadanović-Brunet, J. M., Cetojević-Simin, D. D., Cetković, G. S., Ethilas, S. M. ve Gille, L., (2012) Effect of rosehip (*rosa canina* l.) phytochemicals on stable free radicals and human cancer cells. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(6), 1273-1281.
229. Jafarirad, S., Rasoulpour, I., Divband, B., Hammami Torghabe, I. ve Kosari-Nasab, M., (2018) Innovative biocapped cuo nano-photocatalysts: A rapid and green method for photocatalytic degradation of 4-nitrophenol. *Materials Research Innovations*, 22(7), 415-421.
230. Hemmati, S., Mehrazin, L., Hekmati, M., Izadi, M. ve Veisi, H., (2018) Biosynthesis of cuo nanoparticles using *rosa canina* fruit extract as a recyclable and heterogeneous nanocatalyst for c-n ullmann coupling reactions. *Materials Chemistry and Physics*, 214, 527-532.
231. Jafarirad, S., Mehrabi, M., Divband, B. ve Kosari-Nasab, M., (2016) Biofabrication of zinc oxide nanoparticles using fruit extract of *rosa canina* and their toxic potential against bacteria: A mechanistic approach. *Materials Science and Engineering C*, 59, 296-302.

232. Veisi, H., Rashtiani, A. ve Barjasteh, V., (2016) Biosynthesis of palladium nanoparticles using rosa canina fruit extract and their use as a heterogeneous and recyclable catalyst for suzuki–miyaura coupling reactions in water. *Applied Organometallic Chemistry*, 30(4), 231-235.
233. Pulit, J. ve Banach, M., (2014) Preparation of nanosilver and nanogold based on dog rose aqueous extract. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2014, 658935.
234. Aydın Acar, Ç. ve Pehlivanoglu, S., (2019) Biosynthesis of silver nanoparticles using rosa canina extract and its anti-cancer and anti-metastatic activity on human colon adenocarcinoma cell line ht29. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 124-131.
235. Jafarirad, S., Taghizadeh, P. M. ve Divband, B., (2020) Biosynthesis, characterization and structural properties of a novel kind of ag/zno nanocomposites in order to increase its biocompatibility across human a549 cell line. *BioNanoScience*, 10(1), 42-53.
236. Mohammed, K. A. K., Abdulkadhim, H. M. ve Noori, S. I., (2016) Chemical composition and anti-bacterial effects of clove (*syzygium aromaticum*) flowers. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(2), 483-489.
237. Nm, J., Rm, R., G, G., Maliakel, B., D, S. ve Im, K., (2015) Beyond the flavour: A de-flavoured polyphenol rich extract of clove buds (*syzygium aromaticum* l) as a novel dietary antioxidant ingredient. *Food & Function*, 6(10), 3373-3382.
238. El-Maati, M. F. A., Mahgoub, S. A., Labib, S. M., Al-Gaby, A. M. A. ve Ramadan, M. F., (2016) Phenolic extracts of clove (*syzygium aromaticum*) with novel antioxidant and antibacterial activities. *European Journal of Integrative Medicine*, 8(4), 494-504.
239. Tekin, K., Akalın, M. K. ve Şeker, M. G., (2015) Ultrasound bath-assisted extraction of essential oils from clove using central composite design. *Industrial Crops and Products*, 77, 954-960.
240. Parlinska-Wojtan, M., Depciuch, J., Fryc, B. ve Kus-Liskiewicz, M., (2018) Green synthesis and antibacterial effects of aqueous colloidal solutions of silver nanoparticles using clove eugenol. *Applied Organometallic Chemistry*, 32(4).

241. Lakhan, M. N., Chen, R., Shar, A. H., Chand, K., Shah, A. H., Ahmed, M., Ali, I., Ahmed, R., Liu, J., Takahashi, K. ve Wang, J., (2020) Eco-friendly green synthesis of clove buds extract functionalized silver nanoparticles and evaluation of antibacterial and antidiatom activity. *Journal of Microbiological Methods*, 173, 105934.
242. Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., Lee, Y., Kim, M. J. ve Ahn, C. W., (2019) Biomimetic synthesis of silver nanoparticles using *syzygium aromaticum* (clove) extract: Catalytic and antimicrobial effects. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(5).
243. Kaur, H., Kaur, S. ve Singh, M., (2013) Biosynthesis of silver nanoparticles by natural precursor from clove and their antimicrobial activity. *Biologia*, 68(6), 1048-1053.
244. Bansal, H., Kaushal, J., Chahar, V., Shukla, G. ve Bhatnagar, A., (2018) Green synthesis of silver nanoparticles using *syzygium aromaticum* (clove) bud extract: Reaction optimization, characterization and antimicrobial activity. *Journal of Bionanoscience*, 12(3), 378-389.
245. Sharma, C., Ansari, S., Ansari, M. S., Satsangee, S. P. ve Srivastava, M. M., (2020) Single-step green route synthesis of au/ag bimetallic nanoparticles using clove buds extract: Enhancement in antioxidant bio-efficacy and catalytic activity. *Materials Science & Engineering C*, 116, 111153.
246. Raghunandan, D., Bedre, M. D., Basavaraja, S., Sawle, B., Manjunath, S. Y. ve Venkataraman, A., (2010) Rapid biosynthesis of irregular shaped gold nanoparticles from macerated aqueous extracellular dried clove buds (*syzygium aromaticum*) solution. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79(1), 235-240.
247. Singh, A. K., Talat, M., Singh, D. P. ve Srivastava, O. N., (2010) Biosynthesis of gold and silver nanoparticles by natural precursor clove and their functionalization with amine group. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(5), 1667-1675.
248. Hameed, A., Khan, I., Azam, A., Naz, S. S., Khan, A., Saleem, M., Shah, M. R. ve Islam, N. U., (2014) Stability and enzyme inhibition activities of au nanoparticles using an aqueous extract of clove as a reducing and stabilizing agent. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 36(3).

249. Afsheen, S., Tahir, M. B., Iqbal, T., Liaqat, A. ve Abrar, M., (2018) Green synthesis and characterization of novel iron particles by using different extracts. *Journal of Alloys and Compounds*, 732, 935-944.
250. Mystrioti, C., Xanthopoulou, T. D., Tsakiridis, P., Papassiopi, N. ve Xenidis, A., (2016) Comparative evaluation of five plant extracts and juices for nanoiron synthesis and application for hexavalent chromium reduction. *Science of The Total Environment*, 539, 105-113.
251. Kumar, V., Singh, K., Panwar, S. ve Mehta, S. K., (2017) Green synthesis of manganese oxide nanoparticles for the electrochemical sensing of p-nitrophenol. *International Nano Letters*, 7(2), 123-131.
252. Mohapatra, S., Leelavathi, L., Rajeshkumar, S., Sri Sakthi, D. ve Jayashri, P., (2020) Assessment of cytotoxicity, anti-inflammatory and antioxidant activity of zinc oxide nanoparticles synthesized using clove and cinnamon formulation--an in-vitro study. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 9, 1859.
253. Aslam, M., Kalyar, M. A. ve Raza, Z. A., (2016) Synthesis and structural characterization of separate graphene oxide and reduced graphene oxide nanosheets. *Materials Research Express*, 3(10), 105036.
254. T.S.E., (2002) *Tekstil – kumaşların patlama özellikleri bölüm 1 : Patlama mukavemetinin ve patlama gerilmesinin tayini içi hidrolik metot TS 393 EN ISO 13938-1*, Ankara, Türkiye.
255. T.S.E., (2016) *Tekstil - renk haslığı deneyleri - bölüm x12: Sürtmeye karşı renk haslığı tayini. TS EN ISO 105-X12*, Ankara, Türkiye.
256. AS/NZS, (1996) *Sun protective clothing—evaluation and classification. AS/NZS 4399:1996*, Australia, New Zealand.
257. T.S.E., (2003) *Tekstil-renk haslığı deneyleri-bölüm c09:Evsel ve ticari yıkamaya karşı renk haslığı-düşük sıcaklıkta ağartıcı aktivatör katkılı fosfat içermeye referans deterjan kullanılarak alınan yükseltgen ağartma cevabı TS ISO 105-C09:2003/T1*, Ankara, Türkiye.
258. Yuan, R., Yuan, J., Wu, Y., Chen, L., Zhou, H. ve Chen, J., (2017) Efficient synthesis of graphene oxide and the mechanisms of oxidation and exfoliation. *Applied Surface Science*, 416, 868-877.

259. Emiru, T. F. ve Ayele, D. W., (2019) Controlled synthesis, characterization and reduction of graphene oxide: A convenient method for large scale production. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), 74-79.
260. Alazmi, A., Rasul, S., Patole, S. P. ve Costa, P. M. F. J., (2016) Comparative study of synthesis and reduction methods for graphene oxide. *Polyhedron*, 116, 153-161.
261. Gupta, V., Sharma, N., Singh, U., Arif, M. ve Singh, A., (2017) Higher oxidation level in graphene oxide. *Optik*, 143, 115-124.
262. Chen, J., Chi, F., Huang, L., Zhang, M., Yao, B., Li, Y., Li, C. ve Shi, G., (2016) Synthesis of graphene oxide sheets with controlled sizes from sieved graphite flakes. *Carbon*, 110, 34-40.
263. Krishnamoorthy, K., Veerapandian, M., Yun, K. ve Kim, S. J., (2013) The chemical and structural analysis of graphene oxide with different degrees of oxidation. *Carbon*, 53, 38-49.
264. Chen, J., Yao, B., Li, C. ve Shi, G., (2013) An improved hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. *Carbon*, 64, 225-229.
265. Stankovich, S., Dikin, D. A., Piner, R. D., Kohlhaas, K. A., Kleinhammes, A., Jia, Y., Wu, Y., Nguyen, S. T. ve Ruoff, R. S., (2007) Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide. *Carbon*, 45(7), 1558-1565.
266. Yang, S. J., Kim, T., Jung, H. ve Park, C. R., (2013) The effect of heating rate on porosity production during the low temperature reduction of graphite oxide. *Carbon*, 53, 73-80.
267. Vasanthan, N. ve Salem, D. R., (2000) Infrared spectroscopic characterization of oriented polyamide 66: Band assignment and crystallinity measurement. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 38(4), 516-524.
268. Vasanthan, N., Ruetsch, S. B. ve Salem, D. R., (2002) Structure development of polyamide-66 fibers during drawing and their microstructure characterization. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 40(17), 1940-1948.
269. Parvinzadeh Gashti, M., Assefipour, R., Kiumarsi, A. ve Parvinzadeh Gashti, M., (2013) Enzymatic surface hydrolysis of polyamide 6,6 with mixtures of

- proteolytic and lipolytic enzymes. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(8), 798-814.
270. Wu, Y., Xu, Y., Wang, D., Zhao, Y., Weng, S., Xu, D. ve Wu, J., (2004) Ft-ir spectroscopic investigation on the interaction between nylon 66 and lithium salts. *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 2869–2875
 271. Morimune-Moriya, S., Yada, S., Kuroki, N., Ito, S., Hashimoto, T. ve Nishino, T., (2020) Strong reinforcement effects of nanodiamond on mechanical and thermal properties of polyamide 66. *Composites Science and Technology*, 199, 108356.
 272. Parvinzadeh, M., Assefipour, R. ve Kiumarsi, A., (2009) Biohydrolysis of nylon 6,6 fiber with different proteolytic enzymes. *Polymer Degradation and Stability*, 94(8), 1197-1205.
 273. Pardo, F. N., Rivera-López, A., Sánchez-Labastida, V., Martínez-Hernández, A., Almendarez-Camarillo, A. ve Velasco-Santos, C., 2014 of Conference. Statistical study of process parameters effect on crystallinity of electrospun polyamide 6, 6 fibres. 1st International Electronic Conference on Materials, 26 Mayıs-10 Haziran.
 274. Sarioğlu, E., (2019) An investigation on performance optimization of r-pet/cotton and v-pet/cotton knitted fabric. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 31(3), 439-452.
 275. Oner, E., (2019) Mechanical and thermal properties of knitted fabrics produced from various fiber types. *Fibers and Polymers*, 20(11), 2416-2425.

EK 1

Ek 1-Tablo 1. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın yıkama öncesi, 1 ve 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
PA 6,6	546.5	±3.2	33.1	±0.5
PA 6,6-Y1	554	±6.1	38	±0.8
PA 6,6-Y10	545.5	±4	38.7	±0.3

Ek 1-Tablo 2. GO kaplı PA 6,6 numunelerin patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO	509.3	±6.9	34.4	±0.4
2GO	504.2	±2	34.6	±0.2
4GO	494.9	±9.8	34	±0.2

Ek 1-Tablo 3. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yıkama öncesi				1 Yıkama sonrası			
	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO-K1-20-12	517.6	±22.6	36.4	±0.4	519.8	±19.8	33.7	±1.1
2GO-K1-20-12	518.4	±7.3	37	±0.3	508.5	±8	37.6	±0.2
4GO-K1-20-12	517.9	±3.2	37.2	±0.2	505	±14.4	38	±1.1
1GO-K1-20-24	521.1	±10.7	36.4	±0.2	541.2	±2	34.6	±0.2
2GO-K1-20-24	516.8	±9.3	36.4	±0.2	510.9	±7.9	36.9	±0.6
4GO-K1-20-24	512.3	±2	37.9	±0.3	513.1	±21.3	36.1	±0.8
1GO-K1-30-12	512.8	±10.7	36.7	±0.6	505.3	±19.9	32.8	±0.8
2GO-K1-30-12	499.4	±28.6	35.2	±1.2	535	±6.9	37.8	±0.3
4GO-K1-30-12	516.8	±6.1	36.4	±0.3	493.5	±16.3	35.9	±0.5
1GO-K1-30-24	506.9	±1.4	36	±0.5	541.7	±2.3	34.9	±0.5
2GO-K1-30-24	515.7	±1.4	36.8	±0.6	514.7	±9	36.4	±0.8
4GO-K1-30-24	509.7	±18.3	35.9	±0.9	506.9	±10.9	37.1	±0.4

Ek 1-Tablo 4. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yıkama öncesi				1 Yıkama sonrası			
	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO-K2-20-12	514.1	±9.6	36.5	±0	508.5	±11.9	32.6	±0.4
2GO-K2-20-12	515.2	±3.2	36.3	±0.2	523	±6.4	37.5	±0.3
4GO-K2-20-12	512.5	±8.9	37	±0.4	503.7	±16.7	36.4	±0.3
1GO-K2-20-24	521.6	±8.7	36.8	±0.4	527.5	±10.6	33.9	±0.8
2GO-K2-20-24	513.1	±4.8	36.1	±0.6	527.8	±5	37.5	±0.3
4GO-K2-20-24	516.5	±7.7	37.3	±0.5	516.5	±7.9	36.9	±0.4
1GO-K2-30-12	531.3	±4.1	36.3	±0.4	510.7	±9.7	33.1	±0.6
2GO-K2-30-12	511.2	±6.5	36.3	±0.4	503.2	±7.3	36.6	±0.5
4GO-K2-30-12	506.9	±10.9	37.4	±0.9	506.1	±1.4	36.6	±0.2
1GO-K2-30-24	528.1	±7	36.3	±0.1	505.8	±2	33.3	±0.9
2GO-K2-30-24	500.5	±8.4	35.9	±0.3	508.8	±6.1	36.6	±0.6
4GO-K2-30-24	509.6	±21.8	37.1	±0.9	482.5	±58.8	35.8	±2.3

Ek 1-Tablo 5. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yıkama öncesi				1 Yıkama sonrası			
	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO-K3-20-12	518.4	±13.9	35.9	±0.7	518	±10.6	32.7	±1.5
2GO-K3-20-12	512.3	±10.2	36.4	±0.3	508.8	±29.5	37.2	±2.8
4GO-K3-20-12	509.6	±4.8	31.9	±0.4	528.3	±5.7	37.3	±0.3
1GO-K3-20-24	510.4	±13	35.7	±0.6	516	±27.7	32.6	±1.2
2GO-K3-20-24	503.4	±2.8	35.7	±0.2	508	±22.2	37.1	±0.4
4GO-K3-20-24	504.8	±3.8	31.4	±0.4	502.6	±11	36.7	±0.4
1GO-K3-30-12	513.3	±6.9	36.2	±0.6	507.4	±9.9	32.7	±0.3
2GO-K3-30-12	496.7	±19.7	35.9	±1	510.4	±8.7	37.2	±0.5
4GO-K3-30-12	510.4	±13	32	±0.6	505	±15.2	36.8	±0.7
1GO-K3-30-24	506.6	±12.8	35.6	±0.7	535.8	±10.6	34.4	±0.7
2GO-K3-30-24	496.7	±5.5	35	±0.1	514.9	±14.2	38.5	±1.3
4GO-K3-30-24	511.2	±6.1	32.1	±0.5	510.4	±7.6	37.3	±0.4

Ek 1-Tablo 6. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO-K1-20-24-Y10	553.5	±8	40.7	±0.7
2GO-K1-20-24-Y10	553	±11	39.5	±0.4
4GO-K1-20-24-Y10	542	±12.5	38.7	±0.7

Ek 1-Tablo 7. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO-K2-30-24-Y10	520.8	±9.4	37.3	±0.8
2GO-K2-30-24-Y10	519	±1.4	36.5	±0.2
4GO-K2-30-24-Y10	520	±3.7	37.2	±0.1

Ek 1-Tablo 8. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemeti ve patlama gerilimi ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Patlama Mukavemeti (kPa)	Standart sapma	Patlama Gerilimi (mm)	Standart sapma
1GO-K3-30-24-Y10	544.7	±1.4	38.8	±0.4
2GO-K3-30-24-Y10	540.6	±2.9	38.7	±0.4
4GO-K3-30-24-Y10	543.3	±4.8	38.3	±0.4

Ek 1-Tablo 9. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve GO kaplı PA 6,6 numunelerin yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yüzey direnci (kΩ/□)	Standart sapma
PA 6,6	2.91E+08	±4.78E+04
1GO	1.38E+08	±5.66E+04
2GO	5.44E+07	±7.08E+04
4GO	1.52E+07	±2.20E+04

Ek 1-Tablo 10. Keçi boynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası	
	Yüzey direnci (k Ω /□)	Standart sapma	Yüzey direnci (k Ω /□)	Standart sapma
1GO-K1-20-12	2.90E+02	±2.28E+01	3.59E+03	±1.36E+02
2GO-K1-20-12	1.51E+02	±1.53E+01	4.76E+03	±1.97E+02
4GO-K1-20-12	1.43E+02	±4.54E+01	2.22E+03	±7.14E+02
1GO-K1-20-24	1.78E+02	±7.00E+00	3.04E+03	±7.16E+02
2GO-K1-20-24	1.32E+02	±8.60E+00	3.63E+03	±1.38E+02
4GO-K1-20-24	7.48E+01	±1.13E+01	3.11E+03	±4.95E+02
1GO-K1-30-12	2.48E+02	±2.76E+01	5.80E+03	±3.67E-01
2GO-K1-30-12	1.73E+02	±1.65E+01	1.93E+03	±1.58E+02
4GO-K1-30-12	9.83E+01	±1.02E+01	3.19E+03	±3.12E+02
1GO-K1-30-24	2.38E+02	±2.54E+01	1.92E+04	±5.36E+00
2GO-K1-30-24	1.40E+02	±1.15E+01	1.62E+03	±9.12E+01
4GO-K1-30-24	7.61E+01	±1.35E+01	2.17E+03	±1.65E+02

Ek 1-Tablo 11. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası	
	Yüzey direnci (k Ω /□)	Standart sapma	Yüzey direnci (k Ω /□)	Standart sapma
1GO-K2-20-12	4.20E+02	±3.28E+01	2.14E+04	±2.23E-01
2GO-K2-20-12	2.93E+02	±4.49E+01	4.02E+03	±3.24E+02
4GO-K2-20-12	1.90E+02	±2.84E+01	3.70E+03	±5.67E+02
1GO-K2-20-24	3.56E+02	±7.02E+01	3.93E+03	±1.17E+02
2GO-K2-20-24	1.32E+02	±1.17E+01	3.18E+03	±1.03E+02
4GO-K2-20-24	8.58E+01	±1.46E+01	4.45E+03	±2.01E+02
1GO-K2-30-12	2.53E+02	±3.38E+01	6.19E+03	±1.57E+03
2GO-K2-30-12	1.65E+02	±9.74E+00	1.83E+03	±6.01E+02
4GO-K2-30-12	1.20E+02	±8.77E+00	2.81E+03	±7.44E+01
1GO-K2-30-24	2.43E+02	±4.05E+01	3.76E+03	±8.06E+02
2GO-K2-30-24	1.32E+02	±1.60E+01	2.73E+03	±1.74E+02
4GO-K2-30-24	2.06E+02	±2.56E+01	2.97E+03	±4.95E+02

Ek 1-Tablo 12. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası	
	Yüzey direnci (kΩ/□)	Standart sapma	Yüzey direnci (kΩ/□)	Standart sapma
1GO-K3-20-12	2.82E+02	±3.20E+01	2.63E+03	±1.09E+02
2GO-K3-20-12	1.05E+02	±1.06E+01	1.15E+03	±1.99E+02
4GO-K3-20-12	1.32E+02	±2.03E+01	2.69E+03	±7.26E+02
1GO-K3-20-24	2.80E+02	±1.54E+01	4.87E+03	±5.65E+02
2GO-K3-20-24	1.29E+02	±1.67E+01	1.99E+03	±1.29E+02
4GO-K3-20-24	1.23E+02	±1.78E+01	2.01E+03	±7.99E+01
1GO-K3-30-12	2.35E+02	±2.78E+01	4.02E+03	±3.87E+02
2GO-K3-30-12	1.28E+02	±1.40E+01	2.42E+03	±3.18E+02
4GO-K3-30-12	1.34E+02	±2.31E+01	3.06E+03	±7.80E+02
1GO-K3-30-24	1.91E+02	±1.43E+01	4.78E+03	±3.83E+02
2GO-K3-30-24	1.07E+02	±1.64E+01	2.81E+03	±2.58E+02
4GO-K3-30-24	1.15E+02	±1.63E+01	3.48E+03	±2.24E+02

Ek 1-Tablo 13. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yüzey direnci (kΩ/□)	Standart sapma
1GO-K1-20-24-Y10	2.78E+04	±5.82E+03
2GO-K1-20-24-Y10	7.83E+03	±1.27E+03
4GO-K1-20-24-Y10	1.30E+04	±4.42E+03

Ek 1-Tablo 14. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yüzey direnci (kΩ/□)	Standart sapma
1GO-K2-30-24-Y10	1.04E+04	±1.28E+03
2GO-K2-30-24-Y10	3.91E+03	±4.01E+02
4GO-K2-30-24-Y10	7.22E+03	±3.63E+02

Ek 1-Tablo 15. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası yüzey direnci ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	Yüzey direnci (k Ω /□)	Standart sapma
1GO-K3-30-24-Y10	2.79E+04	±2.75E+03
2GO-K3-30-24-Y10	8.66E+03	±1.68E+03
4GO-K2-30-24-Y10	3.32E+04	±9.76E+03

Ek 1-Tablo 16. PA 6,6 çözgülü örme kumaş ve GO kaplı PA 6,6 numunelerin UPF ve UV geçirgenlik ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF	Standart sapma	T(UVA) (%)	Standart sapma	T(UVB) (%)	Standart sapma
PA 6,6	13.42	±0.53	16.92	±%0.41	6.66	±%0.29
1GO	41.98	±2.32	3.21	±%0.17	2.29	±%0.14
2GO	48.63	±3.84	2.88	±%0.21	1.94	±%0.16
4GO	117.14	±8.04	1.22	±%0.07	0.82	±%0.05

Ek 1-Tablo 17. Keçiboynuzu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası UV geçirgenlik ve UPF ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF				T(UVA) (%)				T(UVB) (%)			
	Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası		Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası		Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası	
	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
1GO-K1-20-12	138.62	±11.34	111.92	±9.66	0.78	±0.07	1.03	±0.08	0.71	±0.06	0.90	±0.08
1GO-K1-20-24	143.56	±8.71	113.14	±9.44	0.75	±0.05	1.01	±0.08	0.69	±0.04	0.89	±0.08
1GO-K1-30-12	149.85	±13.64	117.07	±9.26	0.75	±0.07	0.98	±0.06	0.67	±0.06	0.85	±0.07
1GO-K1-30-24	150.52	±10.71	127.74	±12.28	0.75	±0.05	0.89	±0.08	0.65	±0.05	0.77	±0.07
2GO-K1-20-12	139.01	±5.07	124.38	±9.57	0.81	±0.04	0.93	±0.07	0.71	±0.03	0.80	±0.07
2GO-K1-20-24	153.11	±14.44	129.58	±6.57	0.74	±0.06	0.89	±0.04	0.65	±0.06	0.76	±0.04
2GO-K1-30-12	158.78	±13.58	123.12	±10.13	0.71	±0.07	0.91	±0.07	0.63	±0.06	0.81	±0.06
2GO-K1-30-24	159.54	±13.92	121.07	±5.7	0.70	±0.05	0.93	±0.04	0.61	±0.05	0.83	±0.03
4GO-K1-20-12	193.86	±13.46	142.61	±10.69	0.54	±0.04	0.78	±0.05	0.52	±0.03	0.69	±0.06
4GO-K1-20-24	198.98	±10.07	138.09	±8.21	0.53	±0.03	0.85	±0.06	0.51	±0.02	0.71	±0.05
4GO-K1-30-12	199.56	±17.8	135.02	±5.79	0.52	±0.05	0.81	±0.05	0.51	±0.04	0.73	±0.04
4GO-K1-30-24	203.25	±16.76	129.38	±6.36	0.52	±0.04	0.87	±0.04	0.49	±0.05	0.77	±0.04

Ek 1-Tablo 18. Kuşburnu toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası UV geçirgenlik ve UPF ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF				T(UVA) (%)				T(UVB) (%)			
	Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası		Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası		Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası	
	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
1GO-K2-20-12	156.47	±15.35	112.61	±8.8	0.72	±0.07	1.13	±0.08	0.64	±0.07	0.89	±0.07
1GO-K2-20-24	186.03	±17.25	111.79	±8.29	0.65	±0.05	1.03	±0.07	0.54	±0.05	0.89	±0.07
1GO-K2-30-12	193.17	±18.63	132.96	±11.57	0.60	±0.06	0.91	±0.08	0.51	±0.05	0.75	±0.08
1GO-K2-30-24	199.84	±15.8	138.08	±11.28	0.59	±0.06	0.90	±0.08	0.49	±0.04	0.72	±0.06
2GO-K2-20-12	158.76	±10.19	130.35	±9.56	0.78	±0.05	0.89	±0.05	0.62	±0.05	0.78	±0.06
2GO-K2-20-24	191.47	±16	136.08	±11.32	0.59	±0.05	0.84	±0.06	0.53	±0.05	0.74	±0.06
2GO-K2-30-12	213.45	±15.97	137.74	±13.38	0.54	±0.05	0.85	±0.07	0.47	±0.03	0.73	±0.07
2GO-K2-30-24	214.87	±12.04	140.4	±14.03	0.52	±0.03	0.82	±0.08	0.46	±0.02	0.71	±0.07
4GO-K2-20-12	183.87	±9.14	145.64	±9.98	0.58	±0.03	0.80	±0.06	0.55	±0.02	0.68	±0.04
4GO-K2-20-24	254.66	±15.46	146.14	±11.28	0.42	±0.02	0.78	±0.05	0.40	±0.02	0.68	±0.05
4GO-K2-30-12	265.49	±16.74	152.8	±11.78	0.41	±0.03	0.74	±0.07	0.37	±0.03	0.65	±0.06
4GO-K2-30-24	267.3	±17.71	154.22	±12.19	0.41	±0.02	0.76	±0.06	0.39	±0.03	0.65	±0.06

Ek 1-Tablo 19. Karanfil toz ekstraktı ile indirgenmiş numunelerin yıkama öncesi ve 1 yıkama sonrası UV geçirgenlik ve UPF ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF				T(UVA) (%)				T(UVB) (%)			
	Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası		Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası		Yıkama öncesi		1 Yıkama sonrası	
	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
1GO-K3-20-12	149.63	±13.01	111.38	±8.99	0.76	±0.06	1.04	±0.08	0.65	±0.06	0.89	±0.08
1GO-K3-20-24	155.2	±11.89	117.41	±10.53	0.75	±0.05	1.03	±0.08	0.64	±0.06	0.83	±0.08
1GO-K3-30-12	155.89	±13.08	131.72	±11.35	0.73	±0.05	0.91	±0.06	0.63	±0.05	0.76	±0.06
1GO-K3-30-24	173.99	±13.56	130.65	±12.89	0.63	±0.05	0.88	±0.09	0.57	±0.04	0.76	±0.08
2GO-K3-20-12	151.09	±12.52	130.12	±11.57	0.74	±0.06	0.91	±0.08	0.65	±0.06	0.76	±0.06
2GO-K3-20-24	165.2	±11.23	132.86	±8.44	0.81	±0.07	0.87	±0.05	0.66	±0.06	0.75	±0.05
2GO-K3-30-12	177.99	±11.06	137.58	±11.96	0.67	±0.04	0.82	±0.07	0.55	±0.04	0.72	±0.06
2GO-K3-30-24	183.04	±11.79	147.37	±11.8	0.68	±0.03	0.78	±0.05	0.59	±0.03	0.68	±0.06
4GO-K3-20-12	240.37	±12.91	125.37	±9.54	0.44	±0.02	0.94	±0.06	0.42	±0.03	0.80	±0.05
4GO-K3-20-24	244.87	±20	136.93	±12.33	0.44	±0.04	0.81	±0.07	0.41	±0.04	0.73	±0.06
4GO-K3-30-12	258.13	±18.09	159.07	±9.91	0.42	±0.03	0.75	±0.06	0.39	±0.03	0.62	±0.03
4GO-K3-30-24	268.49	±18.53	168.23	±11.61	0.40	±0.03	0.69	±0.05	0.37	±0.03	0.59	±0.05

Ek 1-Tablo 20. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası UV geçirgenlik ve UPF ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF	Standart sapma	T(UVA) (%)	Standart sapma	T(UVB) (%)	Standart sapma
1GO-K1-20-24-Y10	112.96	±8.23	1.02	±0.06	0.88	±0.07
2GO-K1-20-24-Y10	126.54	±10.59	0.92	±0.08	0.78	±0.06
4GO-K1-20-24-Y10	136.28	±10.14	0.86	±0.06	0.73	±0.06

Ek 1-Tablo 21. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası UV geçirgenlik ve UPF ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF	Standart sapma	T(UVA) (%)	Standart sapma	T(UVB) (%)	Standart sapma
1GO-K2-30-24-Y10	137.57	±8.97	0.88	±0.06	0.71	±0.06
2GO-K2-30-24-Y10	139.01	±9.15	0.86	±0.06	0.72	±0.05
4GO-K2-30-24-Y10	151.35	±9.76	0.82	±0.04	0.66	±0.04

Ek 1-Tablo 22. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası UV geçirgenlik ve UPF ortalama değerleri ve standart sapmaları

Numune	UPF	Standart sapma	T(UVA) (%)	Standart sapma	T(UVB) (%)	Standart sapma
1GO-K3-30-24-Y10	129.94	±8.21	0.93	±0.06	0.76	±0.04
2GO-K3-30-24-Y10	143.95	±12.98	0.81	±0.06	0.69	±0.06
4GO-K3-30-24-Y10	164.37	±14.98	0.77	±0.06	0.59	±0.05

EK 2

İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI

EK 2- Tablo 1. PA 6,6 ve 1GO, 2GO, 4GO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4635.427	3	1545.142	39.349	0.000	4.066
Within Groups	314.140	8	39.268			
Total	4949.567	11				

EK 2- Tablo 2. 1GO, 2GO ve 4GO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	323.316	2	161.658	3.308	0.108	5.143
Within Groups	293.233	6	48.872			
Total	616.549	8				

EK 2- Tablo 3. PA 6,6 ve 1GO, 2GO, 4GO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	3.523	3	1.174	9.993	0.004	4.066
Within Groups	0.940	8	0.118			
Total	4.463	11				

EK 2- Tablo 4. 1GO, 2GO ve 4GO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.576	2	0.288	4.177	0.073	5.143
Within Groups	0.413	6	0.069			
Total	0.989	8				

EK 2- Tablo 5. PA 6,6 ve K1-IGO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4185.306	12	348.775	2.164	0.048	2.148
Within Groups	4189.913	26	161.151			
Total	8375.219	38				

EK 2- Tablo 6. K1-IGO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1209.083	11	109.917	0.633	0.784	2.216
Within Groups	4169.007	24	173.709			
Total	5378.090	35				

EK 2- Tablo 7. PA 6,6 ve K1-IGO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	47.753	12	3.979	13.009	0.000	2.148
Within Groups	7.953	26	0.306			
Total	55.707	38				

EK 2- Tablo 8. K1-IGO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	16.521	11	1.502	4.854	0.001	2.216
Within Groups	7.427	24	0.309			
Total	23.948	35				

EK 2- Tablo 9. K1-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.136	2	0.568	5.379	0.046	5.143
Within Groups	0.633	6	0.106			
Total	1.769	8				

EK 2- Tablo 10. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4.702	2	2.351	34.689	0.001	5.143
Within Groups	0.407	6	0.068			
Total	5.109	8				

EK 2- Tablo 11. K1-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4.149	2	2.074	3.509	0.098	5.143
Within Groups	3.547	6	0.591			
Total	7.696	8				

EK 2- Tablo 12. K1-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.376	2	0.688	1.453	0.306	5.143
Within Groups	2.840	6	0.473			
Total	4.216	8				

EK 2- Tablo 13. PA 6,6 ve K2-IGO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	5184.357	12	432.030	4.986	0.000	2.148
Within Groups	2253.087	26	86.657			
Total	7437.444	38				

EK 2- Tablo 14. K2-IGO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2434.649	11	221.332	2.380	0.037	2.216
Within Groups	2232.180	24	93.008			
Total	4666.829	35				

EK 2- Tablo 15. K2-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	10.809	2	5.404	0.088	0.917	5.143
Within Groups	368.073	6	61.346			
Total	378.882	8				

EK 2- Tablo 16. K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	111.309	2	55.654	1.046	0.408	5.143
Within Groups	319.220	6	53.203			
Total	430.529	8				

EK 2- Tablo 17. K2-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1014.042	2	507.021	8.567	0.017	5.143
Within Groups	355.100	6	59.183			
Total	1369.142	8				

EK 2- Tablo 18. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1183.749	2	591.874	2.985	0.126	5.143
Within Groups	1189.787	6	198.298			
Total	2373.536	8				

EK 2- Tablo 19. PA 6,6 ve K2-IGO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	40.917	12	3.410	12.999	0.000	2.148
Within Groups	6.820	26	0.262			
Total	47.737	38				

EK 2- Tablo 20. K2-IGO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8.062	11	0.733	2.795	0.017	2.216
Within Groups	6.293	24	0.262			
Total	14.356	35				

EK 2- Tablo 21. K2-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.829	2	0.414	7.173	0.026	5.143
Within Groups	0.347	6	0.058			
Total	1.176	8				

EK 2- Tablo 22. K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2.442	2	1.221	4.361	0.068	5.143
Within Groups	1.680	6	0.280			
Total	4.122	8				

EK 2- Tablo 23. K2-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2.349	2	1.174	3.029	0.123	5.143
Within Groups	2.327	6	0.388			
Total	4.676	8				

EK 2- Tablo 24. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.982	2	0.991	3.065	0.121	5.143
Within Groups	1.940	6	0.323			
Total	3.922	8				

EK 2- Tablo 25. PA 6,6 ve K3-IGO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	5555.203	12	462.934	4.441	0.001	2.148
Within Groups	2710.247	26	104.240			
Total	8265.450	38				

EK 2- Tablo 26. K3-IGO numunelerinin patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1398.222	11	127.111	1.134	0.379	2.216
Within Groups	2689.340	24	112.056			
Total	4087.562	35				

EK 2- Tablo 27. PA 6,6 ve K3-IGO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	133.151	12	11.096	35.182	0.000	2.148
Within Groups	8.200	26	0.315			
Total	141.351	38				

EK 2- Tablo 28. K3-IGO numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	128.330	11	11.666	36.489	0.000	2.216
Within Groups	7.673	24	0.320			
Total	136.003	35				

EK 2- Tablo 29. K3-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	36.736	2	18.368	88.401	0.000	5.143
Within Groups	1.247	6	0.208			
Total	37.982	8				

EK 2- Tablo 30. K3-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	36.409	2	18.204	97.524	0.000	5.143
Within Groups	1.120	6	0.187			
Total	37.529	8				

EK 2- Tablo 31. K3-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	31.869	2	15.934	26.314	0.001	5.143
Within Groups	3.633	6	0.606			
Total	35.502	8				

EK 2- Tablo 32. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	21.607	2	10.803	38.737	0.000	5.143
Within Groups	1.673	6	0.279			
Total	23.280	8				

EK 2- Tablo 33. PA 6,6 ve K1-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	11697.767	12	974.814	5.938	0.000	2.148
Within Groups	4268.413	26	164.170			
Total	15966.180	38				

EK 2- Tablo 34. K1-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	7754.343	11	704.940	4.034	0.002	2.216
Within Groups	4193.747	24	174.739			
Total	11948.090	35				

EK 2- Tablo 35. K1-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	22.580	2	11.290	0.051	0.951	5.143
Within Groups	1334.800	6	222.467			
Total	1357.380	8				

EK 2- Tablo 36. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2103.727	2	1051.863	17.097	0.003	5.143
Within Groups	369.133	6	61.522			
Total	2472.860	8				

EK 2- Tablo 37. K1-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	2639.727	2	1319.863	5.647	0.042	5.143
Within Groups	1402.253	6	233.709			
Total	4041.980	8				

EK 2- Tablo 38. K1-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1556.942	2	778.471	4.295	0.070	5.143
Within Groups	1087.560	6	181.260			
Total	2644.502	8				

EK 2- Tablo 39. PA 6,6 ve K1-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	103.011	12	8.584	18.651	0.000	2.148
Within Groups	11.967	26	0.460			
Total	114.977	38				

EK 2- Tablo 40. K1-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	91.903	11	8.355	19.085	0.000	2.216
Within Groups	10.507	24	0.438			
Total	102.410	35				

EK 2- Tablo 41. K1-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	51.582	2	25.791	42.748	0.000	5.143
Within Groups	3.620	6	0.603			
Total	55.202	8				

EK 2- Tablo 42. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	11.496	2	5.748	36.175	0.000	5.143
Within Groups	0.953	6	0.159			
Total	12.449	8				

EK 2- Tablo 43. K1-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	24.056	2	12.028	24.546	0.001	5.143
Within Groups	2.940	6	0.490			
Total	26.996	8				

EK 2- Tablo 44. K1-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	3.727	2	1.863	3.735	0.088	5.143
Within Groups	2.993	6	0.499			
Total	6.720	8				

EK 2- Tablo 45. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama mukavemetinin yıkama dayanımı tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	130.349	2	65.174	3.046	0.122	5.143
Within Groups	128.380	6	21.397			
Total	258.729	8				

EK 2- Tablo 46. PA 6,6 kumaşın ve K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	289.203	3	96.401	1.087	0.409	4.066
Within Groups	709.773	8	88.722			
Total	998.977	11				

EK 2- Tablo 47. PA 6,6 çözgülü örme kumaşın patlama gerilimini yıkama dayanımı tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	55.309	2	27.654	74.296	0.000	5.143
Within Groups	2.233	6	0.372			
Total	57.542	8				

EK 2- Tablo 48. PA 6,6 kumaşın ve K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	7.617	3	2.539	7.306	0.011	4.066
Within Groups	2.780	8	0.348			
Total	10.397	11				

EK 2- Tablo 49. K1-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	5.927	2	2.963	7.018	0.027	5.143
Within Groups	2.533	6	0.422			
Total	8.460	8				

EK 2- Tablo 50. PA 6,6 ve K2-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	10424.010	12	868.667	2.597	0.020	2.148
Within Groups	8695.200	26	334.431			
Total	19119.210	38				

EK 2- Tablo 51. K2-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	5137.654	11	467.059	1.300	0.283	2.216
Within Groups	8620.533	24	359.189			
Total	13758.188	35				

EK 2- Tablo 52. PA 6,6 ve K2-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	124.784	12	10.399	14.667	0.000	2.148
Within Groups	18.433	26	0.709			
Total	143.217	38				

EK 2- Tablo 53. K2-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	108.387	11	9.853	13.932	0.000	2.216
Within Groups	16.973	24	0.707			
Total	125.360	35				

EK 2- Tablo 54. K2-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	39.842	2	19.921	160.080	0.000	5.143
Within Groups	0.747	6	0.124			
Total	40.589	8				

EK 2- Tablo 55. K2-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	22.207	2	11.103	40.788	0.000	5.143
Within Groups	1.633	6	0.272			
Total	23.840	8				

EK 2- Tablo 56. K2-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	24.507	2	12.253	58.660	0.000	5.143
Within Groups	1.253	6	0.209			
Total	25.760	8				

EK 2- Tablo 57. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	18.016	2	9.008	4.051	0.077	5.143
Within Groups	13.340	6	2.223			
Total	31.356	8				

EK 2- Tablo 58. PA 6,6 kumaşın ve K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1469.407	3	489.802	16.142	0.001	4.066
Within Groups	242.740	8	30.342			
Total	1712.147	11				

EK 2- Tablo 59. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	5.069	2	2.534	0.072	0.931	5.143
Within Groups	209.933	6	34.989			
Total	215.002	8				

EK 2- Tablo 60. PA 6,6 kumaşın ve K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	7.949	3	2.650	12.618	0.002	4.066
Within Groups	1.680	8	0.210			
Total	9.629	11				

EK 2- Tablo 61. K2-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	1.102	2	0.551	2.307	0.181	5.143
Within Groups	1.433	6	0.239			
Total	2.536	8				

EK 2- Tablo 62. PA 6,6 ve K3-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	8801.234	12	733.436	1.306	0.273	2.148
Within Groups	14597.700	26	561.450			
Total	23398.934	38				

EK 2- Tablo 63. PA 6,6 ve K3-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	135.140	12	11.262	7.616	0.000	2.148
Within Groups	38.447	26	1.479			
Total	173.587	38				

EK 2- Tablo 64. K3-IGO numunelerinin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	123.816	11	11.256	7.304	0.000	2.216
Within Groups	36.987	24	1.541			
Total	160.802	35				

EK 2- Tablo 65. K3-20-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	13.402	2	6.701	1.641	0.270	5.143
Within Groups	24.507	6	4.084			
Total	37.909	8				

EK 2- Tablo 66. K3-20-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	36.407	2	18.203	38.012	0.000	5.143
Within Groups	2.873	6	0.479			
Total	39.280	8				

EK 2- Tablo 67. K3-30-12 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	37.882	2	18.941	60.450	0.000	5.143
Within Groups	1.880	6	0.313			
Total	39.762	8				

EK 2- Tablo 68. K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 1 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	27.016	2	13.508	10.489	0.011	5.143
Within Groups	7.727	6	1.288			
Total	34.742	8				

EK 2- Tablo 69. PA 6,6 kumaşın ve K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama mukavemetinin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	40.647	3	13.549	1.070	0.415	4.066
Within Groups	101.300	8	12.663			
Total	141.947	11				

EK 2- Tablo 70. PA 6,6 kumaşın ve K3-30-24 koşullarında indirgenmiş numunelerin 10 yıkama sonrası patlama geriliminin tek yönlü varyans analizi sonuçları (ANOVA)

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.647	3	0.216	1.597	0.265	4.066
Within Groups	1.080	8	0.135			
Total	1.727	11				

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Nergis DEMİREL GÜLTEKİN

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi (YI) (Tezli), İstanbul, Türkiye 2010 – 2012.

Lisans, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye 2005 – 2009.

Lise, Samsun Anadolu Lisesi, Samsun, Türkiye 2001-2005.

Yaptığı Tezler

Yüksek Lisans, Elektro çekim yöntemiyle elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip nanolif üretimi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi (YI) (Tezli), 2012.

İş deneyimi

Araştırma Görevlisi, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 2011 - Devam Ediyor.

Araştırma Görevlisi, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tekstil Eğitimi Bölümü, 2009 – 2011.

SCI, SSCI ve AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. **Green Reduction of Graphene Oxide Coated Polyamide Fabric Using Carob Extract**, Gültekin N., USTA İ., YALÇIN B., AATCC JOURNAL OF RESEARCH, cilt.7, sa.6, ss.33-40, 2020.
2. **Evaluation of the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Carbon-Based**

Screen Printed Polyester Fabrics, Gültekin B. C. , Demirel Gültekin N., Atak O., Şimşek R., FIBERS AND POLYMERS, cilt.19, ss.313-320, 2018.

3. **The effect of multiwalled carbon nanotube (MWCNT) ratio on electrical properties and electromagnetic shielding effectiveness of PA 6/MWCNT-coated cotton fabrics**, Demirel Gültekin N., Usta İ., JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE, cilt.105, ss.770-778, 2014.

Diğer Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. **Investigation of Thermal and Electrical Conductivity Properties of Carbon Black Coated Cotton Fabrics**, Demirel Gültekin N., Usta İ., MARMARA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE, cilt.27, ss.91-94, 2015.
2. **The Effect of Functionalized Multi walled Carbon Nanotubes MWCNTs on Properties of Polyester Fabric Dyed with MWCNTs**, DEMİREL GÜLTEKİN N., GÜLTEKİN B. C., MARMARA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE, cilt.27, 2015.

Hakemli Kongre / Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

1. **Grafen Oksit Kaplanmış Poliamid Kumaşın Karanfil Ekstraktı ile Çevre Dostu İndirgenmesi**, Demirel Gültekin N., Usta İ., Yalçın B., Gültekin B. C., 32. Uluslararası katılımlı Ulusal kimya Kongresi (Online), İstanbul, Türkiye, 17 - 19 Eylül 2020, ss.55
2. **Green Reduction of Graphene Oxide Coated Polyamide Fabric Using Rosehip Extract**, DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ., YALÇIN B., 3rd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2020), Ankara, Türkiye, 19 Mart 2020
3. **The Investigation Of Heating Effect Of Reduced Graphene Oxide Coated Nonwoven Fabric**, DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ., 8TH INTERNATIONAL ISTANBUL TEXTILE CONFERENCE, İstanbul, Türkiye, 14 - 16 Nisan 2018.
4. **Electrically Conductive Nonwoven Fabric Coated With Reduced Graphene Oxide**, DEMİREL GÜLTEKİN N., Özturan Ö., USTA İ., COVITEX 2017, Faisalabad, Pakistan, 27 - 28 Mart 2017
5. **Roselle Hibiscus Sabdariffa Bitkisi Ekstraktı İle Boyanmış Pamuk Kumaşın**

- Işık Haslığı Özelliğine C Vitamini Etkisinin İncelenmesi**, DEMİREL GÜLTEKİN N., AKKAYA M., DURNA M., GÜLTEKİN B. C. , AKALIN M., 7. Uluslararası İstanbul Tekstil Konferansı, İstanbul, Türkiye, 21 - 23 Mart 2016
6. **Investigation Of The Effect Of Laundering Process On Electromagnetic Shielding Effectiveness Of Screen Printed Carbon Nanomaterials On Polyester Fabric**, DEMİREL GÜLTEKİN N., GÜLTEKİN B. C. , USTA İ., 1st International Printing Technologies Symposium, İstanbul, Türkiye, 8 - 10 Ekim 2015
7. **Evaluating the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Screen Printed Carbon Nanomaterials on Polyester Fabric**, DEMİREL GÜLTEKİN N., ŞİMŞEK R., GÜLTEKİN B. C. , USTA İ., NANOTR-11, Ankara, Türkiye, 22 - 25 Haziran 2015
8. **Functionalization of Polyester Knitted Fabrics By Dyeing with Multi Walled Carbon Nanotubes**, DEMİREL GÜLTEKİN N., GÜLTEKİN B. C. , BEYİT A., USTA İ. 1st International Conference on Engineering and Natural Sciences, 15 - 19 Mayıs 2015
9. **Farklı Stabilizasyon Koşullarının Pan Poliakrilonitril Esaslı Karbon Nanolif Oluşumuna Etkisi**, DEMİREL GÜLTEKİN N., UÇAR N., YAVUZ N., ÖNEN H. A. , KARACAN İ. 1. ULUSAL KARBON KONGRESİ, İstanbul, Türkiye, 12 - 13 Mart 2015
10. **Farklı Koagülasyon Koşullarının Grafen Esaslı Kontinü Lif Üretilebilirliğine Etkisi**, DEMİREL GÜLTEKİN N., UÇAR N., ÖNEN H. A. , YAVUZ N. 1. ULUSAL KARBON KONGRESİ, İstanbul, Türkiye, 12 - 13 Mart 2015.
11. **The Effect Of Sepiolite Clay On The Properties Of Polyacrylonitrile Composite Nanofibers**, Gultekin N., Uçar N. 6th NANOCON International Conference, Brno, Çek Cumhuriyeti, 5 - 07 Kasım 2014, ss.363-367
12. **Investigation of Thermal Properties of Polyacrylonitrile PAN Nanofibers Containing Zeolite Nanoparticles**, DEMİREL GÜLTEKİN N., UÇAR N. 6th INTERNATIONAL İSTANBUL TEXTILE CONFERENCE ON FUTURE TECHNICAL TEXTILES, İstanbul, Türkiye, 15 - 17 Ekim 2014
13. **Investigation of Clothing Comfort Properties of PANI/CB/Polyester Composite Fabrics**, YILDIZ Z., DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ.,

- KURTULUŞ A. B. 14th AUTEX World Textile Conference, 26 - 28 Mayıs 2014
14. **Electrical Properties of Polyaniline/Carbon Black Deposited Polyester Fabrics**, USTA İ., ÖNEN H. A. , DEMİREL GÜLTEKİN N., YILDIZ Z., ATAK O., XIIIth International Izmir Textile and Apparel Symposium 2014 (IITAS), Antalya, Türkiye, 2 - 05 Nisan 2014
 15. **An investigation of electromagnetic shielding and mechanical properties of conductive fiber reinforced composites**, SANCAK E., YILDIZ Z., YÜKSEK M., DEMİREL N., KOÇAK E. D. , International Conference Exhibition On Advanced And Nanomaterials, Quebec, Kanada, 12 Ağustos - 14 Aralık 2013
 16. **Electromagnetic shielding and mechanical properties of knitted fabric reinforced composites**, SANCAK E., AKALIN M., YÜKSEK M., DEMİREL N., USTA İ., İŞGÖREN E., International Conference Exhibition On Advanced And Nanomaterials, Quebec, Kanada, 12 - 14 Ağustos 2013
 17. **An Investigation Electromagnetic Shielding and Mechanical Properties of Conductive Fiber Reinforced Composites** Sancak E., Yıldız Z., Yüksek M., Demirel Gültekin N., Koçak E. D., International Conference & Exhibition on Advanced and Nanomaterials, Quebec, Kanada, 12 - 14 Ağustos 2013, ss.0-5
 18. **ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECTIVENESS OF MWCNT POLYESTER RESIN COMPOSITES IN X BAND** DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ., SANCAK E. INTERNATIONAL İSTANBUL TEXTILE CONGRESS 2013, İstanbul, Türkiye, 30 - 31 Mayıs 2013.
 19. **Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of MWCNT Polyester Resin Composites** DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ., SANCAK E. Conference on Value Addition and Innovation in Textile, Faisalabad, Pakistan, 18 - 19 Mart 2013.
 20. **Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Black Polyester Resin Composites**, DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ., SANCAK E., Conference on Value Addition and Innovation in Textile, Faisalabad, Pakistan, 18 - 19 Mart 2013.

Desteklenen Projeler

1. Demirel Gültekin N., Usta İ., Yalçın B., Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, GRAFEN OKSİT İLE KAPLANAN TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ÇEVRE DOSTU İNDİRGENMESİ, FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ, 2018 – 2020.
2. Demirel Gültekin N., Gültekin B. C. , Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, KARBON ESASLI NANOMALZEMELER KULLANILARAK BASKI YÖNTEMİYLE POLYESTER KUMAŞLARA ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA ÖZELLİĞİNİN KAZANDIRILMASI, 2016 – 2017.
3. Usta İ., Demirel Gültekin N., Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, Elektro Çekim Yöntemiyle Elektromanyetik Kalkanlama Özelliğine Sahip Nano Lif Üretim, 2011 – 2012.

Tez çalışmasından yayımlanan makale:

1. Gültekin, Nergis, Usta, İsmail, Yalçın, Bahattin; Green Reduction of Graphene Oxide Coated Polyamide Fabric Using Carob Extract, AATCC Journal of Research, 2020. 7(6): 33-40.

Tez çalışmasından hazırlanan ulusal ve uluslararası kongrelerde sunulan bildiriler:

1. Grafen Oksit Kaplanmış Poliamid Kumaşın Karanfil Ekstraktı ile Çevre Dostu İndirgenmesi, Demirel Gültekin N., Usta İ., Yalçın B., Gültekin B. C., 32. Uluslararası katılımlı Ulusal kimya Kongresi (Online), İstanbul, Türkiye, 17 - 19 Eylül 2020, ss.55
2. Green Reduction of Graphene Oxide Coated Polyamide Fabric Using Rosehip Extract, DEMİREL GÜLTEKİN N., USTA İ., YALÇIN B., 3rd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2020), Ankara, Türkiye, 19 Mart 2020