



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**UZAK KIZILÖTESİ IŞIN (FIR) YAYMA
ÖZELLİĞİNE SAHİP KUMAŞLARIN
GELİŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

İSMAİL YÜCE

DOKTORA TEZİ
Tekstil Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Suat CANOĞLU

EŞ-DANIŞMAN
Prof. Dr. Sevhan Müge YÜKSELOĞLU

İSTANBUL, 2022



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**UZAK KIZILÖTESİ IŞIN (FIR) YAYMA
ÖZELLİĞİNE SAHİP KUMAŞLARIN
GELİŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

İSMAİL YÜCE

(723414821)

DOKTORA TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Suat CANOĞLU

EŞ-DANIŞMAN

Prof. Dr. Sevhan Müge YÜKSELOĞLU

İSTANBUL, 2022

TEŞEKKÜR

Marmara Üniversitesi BAPKO FEN-C-DRP-150218-0056 numaralı projesi kapsamında yapılan bu doktora tez çalışması Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir.

Doktora eğitimim ve tez sürecimde, zamanını ve her daim desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini paylaşan ve birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum kıymetli hocalarım, tez danışmanım Prof. Dr. Suat CANOĞLU'na ve eş danışmanım Prof. Dr. Sevhan Müge YÜKSELOĞLU'na, tez izleme komitesi'nde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Rıza ATAV ve Prof. Dr. Hamit Özkan GÜLSOY hocama, kaplama, ağartma, ölçme, analiz v.b. gibi laboratuvar çalışmalarında yardımlarından dolayı değerli hocalarım; Arş. Gör. Onur ATAK'a, Dr. Öğr. Üyesi B. Cenkut GÜLTEKİN'e, Prof. Dr. Erhan SANCAK'a, Öğr. Gör. Dr. Meral AKKAYA ÖZOMAY'a, Öğr. Gör. Akay NEVCANOĞLU'na, ITAM'da yapılan testlerde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Metin YÜKSEK'e, Muzaffer KARAGÖZ'e, Mimar Sinan Üniversitesinde yapılan hava geçirgenlik testinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Engin AKÇAGÜN'e

Emisivite ölçümünde, İtalya/Roma Sapienza Üniversitesi bünyesinde görev yapan Doç. Dr. Larciprete Maria Cristina'ya, kumaşların dokunmasında yardımlarını esirgemeyen Tekirdağ/Çerkezköy OSB'de bulunan Uğur Tekstil A.Ş.'ye, Yünsa Tekstil bünyesinde çalışan ve iplik tedarikinde yardımlarını esirgenmeyen Şeyma SOYDAŞ'a, Erzurum DAYTAM'da yapılan FTIR analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Nihal ŞİMŞEK ÖZEK'e ve Öğr. Gör. Ahmet Emre KASAPOĞLU'na,

Sevgi ve desteklerini her zaman hissettiğim değerli annem Rukiye YÜCE ve babam Recep YÜCE'ye, sevgili eşim Harika KARAVİN YÜCE'ye

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İsmail YÜCE

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
YENİLİK BEYANI.....	x
SEMBOLLER	xii
KISALTMALAR	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xiv
TABLO LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kızılötesi Işımlar	3
2.2. Uzak Kızılötesi Işın (FIR) Nedir?	3
2.2.1. Uzak kızılötesi ışınların çalışma prensibi	4
2.2.2. Absorbans (α) ile emisivite arasındaki ilişki.....	7
2.2.3. Biyoseramik nanopartiküller	7
2.2.3.1. Titanyum dioksit (TiO_2)	9
2.2.3.2. Alüminyum oksit (Al_2O_3).....	9
2.2.3.3. Seryum oksit (CeO_2).....	9
2.2.3.4. Magnezyum oksit (MgO)	10
2.2.3.5. Silikon dioksit (Silisyum Dioksit, SiO_2)	10
2.2.3.6. Çinko oksit (ZnO).....	10
2.3. FIR Işımlarının Sağlığa Etkileri.....	10
2.4. FIR Işımlarının Kullanım Alanları.....	12
2.4.1. Uzak kızılötesi özellikli saunalar	13

2.4.2. Uzak kızılötesi özellikli lif ve kumaşlar	14
2.4.2.1. Uzak kızılötesi özellikli lifler	15
2.4.2.2. Uzak kızılötesi özellikli kumaşlar	16
2.4.3. Uzak kızılötesi özellikli termal battaniye ve yataklar	17
2.4.4. IR bölgesel lazer pedleri.....	18
2.4.5. FIR ısı lambaları.....	18
2.4.6. IR başlık	19
2.5. Uzak Kızılötesi Tekstil Ürünleri Üzerine Yapılan Örnek Çalışmalar	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Çalışmada kullanılan iplik ve kumaşlar	27
3.1.2. Biyoseramik ve kaplama kimyasalları	28
3.2. Yöntem.....	29
3.2.1. Kumaşları hidrofilleştirme işlemi.....	29
3.2.2. Kaplama işlemi.....	30
3.3. Test ve Analizler	31
3.3.1. Hava geçirgenlik testi.....	31
3.3.2. Kan akış testi	32
3.3.3. Isıl iletkenlik test cihazı (Shirley Togmeter).....	33
3.3.4. Uzak kızılötesi emisivite ölçümü	33
3.3.5. Absorbans ve reflektans ölçümleri (ATR FTIR).....	35
3.3.6. Isı tutma özelliklerinin test edilmesi	36
3.3.7. SEM görüntülerinin elde edilmesi.....	37
3.3.8. Hidrostatik basınç testi	37
3.3.9. Aşınma direnci testi (Martindale)	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39

4.1.	Kumaşların SEM Analizleri.....	39
4.2.	Emisivite Ölçüm Sonuçları.....	52
4.2.1.	IR kamera ile ölçülen emisivite sonuçları.....	53
4.2.1.1.	%100 Pamuklu kumaşların emisivite değerleri.....	57
4.2.1.2.	%100 Yün kumaşların emisivite değerleri.....	60
4.2.1.3.	%50/50 Pamuk/polyester kumaşların emisivite değerleri.....	62
4.2.1.4.	%100 Viskon kumaşların emisivite değerleri.....	63
4.2.1.5.	%100 Akriklik kumaşların emisivite değerleri.....	65
4.2.2.	ATR FTIR ile ölçülen emisivite sonuçları.....	69
4.2.2.1.	%100 Pamuklu kumaşların absorbands sonuçları.....	72
4.2.2.2.	%100 Yün kumaşların absorbands sonuçları.....	72
4.2.2.3.	%50/50 Pamuk/polyester kumaşların absorbands sonuçları.....	73
4.2.2.4.	%100 Viskon Kumaşların Absorbans Sonuçları.....	74
4.2.2.5.	%100 Akriklik Kumaşların Absorbans Sonuçları.....	74
4.3.	ATR-FTIR Analizleri.....	76
4.4.	Isı Tutma Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	79
4.4.1.	Kaplama çeşidine göre ısı tutma ölçüm sonuçları.....	80
4.4.2.	Kumaş çeşidine göre ısı tutma ölçüm sonuçları.....	81
4.5.	Termal İletkenlik Ölçüm Sonuçları.....	84
4.6.	Hava Geçirgenlik Sonuçları.....	85
4.7.	Hidrostatik Basınç Testi.....	87
4.8.	Aşınma Direnci Test Sonuçları.....	89
4.9.	Korelasyon Analizleri.....	91
4.9.1.	Emisivite Ölçüm Yöntemlerinin Korelasyonu.....	91
4.9.2.	Isı tutma ile emisivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu.....	94
4.10.	Kan Akış Test Değerlendirmesi.....	97

4.11. Biyoseramik Partikül Kaplı Kumaşların Bitki Büyüme Hızlarına Olan Etkisi	98
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	114
EKLER	126



ÖZET

UZAK KIZILÖTESİ IŞIN (FIR) YAYMA ÖZELLİĞİNE SAHİP KUMAŞLARIN GELİŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Kızılötesi (Kızılaltı, IR veya Infrared) ışınım, dalga boyu görünür ışıktan uzun, fakat terahertz (THz) ışınımından ve mikrodalgadan daha kısa olan elektromanyetik ışınımıdır. Uzak kızılötesi ışınım (FIR) 5.6-1000 μm aralığındaki ışınları kapsar ve bu ışınlar güneş ışınları, insan vücudu, metaller ve bazı mineraller tarafından saçılmaktadır. 4-14 μm aralığındaki FIR ışınları, hücre büyümesi için faydalı olarak kabul edilir ve insan vücudu da bu ışınları yaklaşık 9.5 μm dalga boyunda yayar. Çeşitli çalışmalar ile bu ışınların insan vücuduna faydalı olduğu ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında, aynı yapısal özelliklerde üretilen kumaşlara uzak kızılötesi özelliği kazandırmak, kumaşların emisivite/yayıcılık ve diğer analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Kumaşlara uzak kızılötesi ışın (FIR) yayma özelliği kazandırabilmek amacıyla uzak kızılötesi ışınları yayabilen biyoseramik nanopartiküller (tozlar) kullanılmıştır. Bu nanopartiküller, kumaş üzerine kaplama yöntemiyle applike edilmiştir. Çalışmada, beş farklı hammadden elde edilen kumaş tipi (%100 pamuk, %100 yün, %50-50 pamuk/polyester, %100 akrilik, %100 viskon) altı farklı biyoseramik (TiO_2 , CeO_2 , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , ZnO) nanopartikül ile kaplanmıştır. Uzak kızılötesi ışınları yayma değerlerinin daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için kaplama yapılan kumaşlar aynı iplik numarası (30 Tex) ve aynı dokuma konstrüksiyonunda (1/1 Bezayağı) üretilmiştir. Elde edilen tüm kumaşların uzak kızılötesi yayma değerleri ölçülmüş olup, uygulama alanı olarak tarım teknik tekstillerinde kullanımları incelenmiştir.

Kaplamalardaki biyoseramik nanopartikül mevcudiyeti SEM ile gözlenmiş ve değerlendirilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde partiküllerin agregasyon/kümeleşme oluşturduğu ve homojen dağılmadığı gözlenmiştir.

Elde edilen numunelerin uzak kızılötesi yayıcılıklarının etkisini belirlemek için emisivite ölçümü yapılmıştır. Emisivite ölçümleri iki farklı yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerden birincisinde, emisivite değerleri IR kamera kullanılarak ölçülmüştür. İkinci yöntemde ise zayıflatılmış toplam yansımali fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (ATR FTIR) cihazında, 8-14 μm dalga boyu aralığında ölçülen absorbans verileri kullanılarak Plank denklemi ile emisivite değerleri

hesaplanmıştır. Her iki yöntemde elde edilen sonuçlar incelendiğinde kaplama yapılmış kumaşlardaki nanopartikül varlığının emisivite değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. ATR FTIR ölçümleri ile aynı zamanda kumaşların iç bağlarının analizi yapılmış olup kumaş üzerindeki biyoseramik partiküllerin varlığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kumaşlara iki farklı termal test uygulanmıştır. Bu testlerden birisi, çalışmada elde edilen tüm kumaş yüzeylerine uygulanan ısı tutma testleri, diğeri ise kaplamaların termal iletkenliğe olan etkisinin incelenmesine yönelik uygulanan testlerdir. Isı tutma testleri sonucunda, kaplanmış kumaşların ısı tutma değerlerinin kaplanmamış kumaşlara göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan kumaşlara; hava geçirgenlik, aşındırma (martindale), hidrostatik su basıncı, kan akış testi, bitki yetiştirme testleri yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Yapılan tez çalışması ülkemizde bu alanda ilk olup, FIR tekstilleri ile ilgili bir farkındalık oluşturacağı düşünülmektedir. İlerleyen süreçte araştırmacılar tarafından daha fazla çalışma ortaya konulacağı kanaati ile bu alandaki çalışmaların yaygınlaşacağı ve aynı zamanda çalışmanın bundan sonraki çalışmalara yön vereceği de düşünülmektedir.

ABSTRACT

A STUDY ON DESIGNING FABRICS THAT HAS THE FEATURE OF EMITTING FAR INFRARED RAYS (FIR)

Infrared (IR) radiation is electromagnetic radiation with a wavelength longer than visible light but shorter than terahertz (THz) radiation and microwaves. Far infrared radiation (FIR) includes rays in the range of 5.6-1000 μm , and these rays are emitted by sun rays, human body, metals and some minerals. FIR rays in the 4-14 μm range are considered beneficial for cell growth, and the human body also emits these rays at a wavelength of about 9.5 μm . Various studies have shown that these rays are beneficial for the human body.

In this thesis, it is aimed to give far infrared properties to fabrics produced with the same structural properties and make emissivity and other analyzes of fabrics. Bioceramic nanoparticles (powders) that can emit far-infrared rays were used in order to impart FIR property to fabrics. These nanoparticles were applied on the fabric by coating method. In the study, fabric types obtained from five different raw materials (100% cotton, 100% wool, 50-50% Cotton/PES, 100% acrylic, 100% viscose) were used and coated with six different bioceramic (TiO_2 , CeO_2 , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , ZnO) nanoparticles. The coated fabrics were produced with the same yarn count (30 Tex) and the same weaving construction (1/1 Plain) in order to evaluate the far infrared rays emission values in a better way. Far infrared emission values of all obtained fabrics were measured, and their use in agricultural technical textiles was examined.

The presence of bioceramic nanoparticles in the coatings was observed and evaluated by SEM electron microscopy. When the SEM images were examined, it was observed that the particles formed aggregation and were not homogeneously dispersed.

Emissivity measurement was made to determine the effect of far infrared emissivity of the obtained samples. Emissivity measurements were carried out with two different methods. In the first of these methods, emissivity values were measured using an IR camera. In the second method, emissivity values were calculated with the Plank equation by using the absorbance data measured in the 8-14 μm wavelength range in an attenuated total reflection-fourier transform infrared spectrometer (ATR FTIR). When the results obtained in both methods were examined, it was observed that the presence

of nanoparticles in the coated fabrics increased the emissivity values. At the same time, with ATR FTIR measurements, the internal bonds of the fabrics were analyzed.

Within the scope of the study, two different thermal tests were performed on the fabrics. One of these tests is heat retention tests on all fabric surfaces obtained in the study, and the other is the examination of the effect of coatings on thermal conductivity. The thermal conductivity test was applied to a different fabric from the fabrics produced within the scope of the study. As a result of the heat retention tests, it was observed that the heat retention values of the coated fabrics were higher than the uncoated fabrics.

In addition to all fabric, air permeability, abrasion (martindale), blood flow test and plant growth tests were performed and evaluated.

The thesis study is the first study in this field in our country, and it is thought that this study will create an awareness about FIR textiles. It is also thought that the studies in this field will become widespread with the belief that more studies will be put forward by the researchers in the future, and it will also guide future studies.

YENİLİK BEYANI

UZAK KIZILÖTESİ IŞIN (FIR) YAYMA ÖZELLİĞİNE SAHİP KUMAŞLARIN GELİŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Bu doktora çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, tezde kullanılan bütün bilgileri, akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, farklı kaynaklardan alınan bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Bu doktora tez çalışmasında, farklı hammaddelerden oluşan, ancak aynı sıklık ve yapıda dokunan kumaşlar, uzak kızılötesi ışınları yayabilme özelliğine sahip biyoseramik nanopartiküller ile kaplanmıştır. Genel olarak bu kaplamaların uzak kızılötesi ışınları yayma değerleri ve etkileri incelenmiştir. Biyoseramik nanopartikül içeren kumaşların kızılötesi ışınları yayma değerlerinin nanopartikül içermeyenlere göre daha yüksek olduğu ölçülmüş ve yapılan diğer testlere (FTIR, ısı iletkenlik, v.s.) etkileri bakımından çalışmadaki test sonuçlarında farklar gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasının uzak kızılötesi ışınlar ve tekstil ürünleri üzerine Türkiye’de yapılmış ilk araştırma olma özelliği ile yenilikçi yönü oldukça fazladır. Ayrıca Türkiye’de daha önce kumaşların emisivite ölçümleri yapılmamış olup bu yönüyle de ilk olma özelliği taşımaktadır. Tezde kızılötesi kamera kullanılarak yapılan ısı tutma ölçüm yöntemi de araştırmanın özgünlüğünü arttırmaktadır. Bu nedenle yapılan ölçümler ve izlenen yöntemlerin bundan sonraki çalışmalara esin kaynağı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda uzak kızılötesi ışın özellikli tekstiller hakkında Türkçe yayınların neredeyse hiç olmaması nedeni ile bu tez çalışmasının literatüre ve araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan yayınlar aşağıdaki gibidir:

Yuce, I. (2017). Uzak Kızılötesi Işın Yayan Kumaş ve İplikler. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.

Yuce, I. (2018). Yarns Emitting Far Infrared Rays. International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESN), 4(3), 34-38.

Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M., Voti R. L., Cesarini G., Sibilia C., Larciprete M. (2022). Titanium and Silicon Dioxide Coated Fabrics for Managing and Tuning of Infrared Radiation. Sensors, 22, 3918. <https://doi.org/10.3390/s22103918>.

Temmuz, 2022

Prof. Dr. Suat CANOĞLU

İsmail YÜCE



SEMBOLLER

μm	: Mikrometre
nm	: Nanometre
kPa	: Kilo pascal
cP	: Santipoiz
s	: Saniye
dk.	: Dakika
α	: Absorbans
ε	: Emisivite
ρ	: Reflektans
τ	: Transmittans
W	: Emisyon enerjisi (W/cm)
σ	: Stefan Boltzmann sabiti
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
K	: Kelvin
THz	: Terahertz
V	: Volt
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
$\%$	: Yüzde
g	: Gram
h	: Planck sabiti
c	: Işık hızı
λ	: Dalga Boyu

KISALTMALAR

Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ATR FTIR	: Zayıflatılmış toplam yansımali fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi
BİK	: Biyoseramik İçermeyen Kaplama Yapılmış Kumaş
CeO₂	: Seryum Oksit
Co/PES	: Pamuk/Polyester
FIR	: Uzak Kızılötesi Radyasyon
IR	: Kızılötesi
İTAM	: İstanbul Tekstil Araştırmaları AR-GE ve İnovasyon Merkezi
KY	: Kaplama Yapılmamış Kumaş
LWIR	: Uzun dalga kızılötesi, 8–14 µm
MgO	: Magnezyum Oksit
NIR	: Orta Kızılötesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SiO₂	: Silikon Dioksit
TiO₂	: Titanyum Dioksit
TOG	: Shirley Togmeter
ZnO	: Çinko Oksit

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1. Uzak kızılötesi ışınların dalga boyu aralığının spektrumda gösterilişi.	4
Şekil 2. 2. Normal sıcaklıktaki bazı ürünlerin emisivite (ϵ) değerleri	6
Şekil 2. 3. Seramik partiküllerin 3-14 mikron aralığındaki ışınları emisivite (yayma) değerleri.	8
Şekil 2. 4. FIR özellikli ürünlerin kullanım alanları.	13
Şekil 2. 5. A) Kızılötesi sauna, B) Klasik sauna, C) FIR sauna kabini.	14
Şekil 2. 6. Seramik nanopartikül içeren polyester lifinin enine kesit görüntüsü.....	15
Şekil 2. 7. Piyasada satılan bazı FIR özellikli ürünler.....	17
Şekil 2. 8. a) Termal battaniye ile tedavi gören yatalak hasta, b) 14 adet disk içeren yatak ve 18 adet disk içeren battaniye	18
Şekil 2. 9. FIR Terapi Lambası, Model no: TY101N®	19
Şekil 3. 1. Bezayağı bağlantısıyla (1x1) dokunan kumaşın dokuma makinasındaki çözgü ipliklerinin sıralanışı ve atkı ipliklerinin verilmiş sırası.	28
Şekil 3. 2. Pamuk ve Pamuk/Polyester kumaşların hidrofilleştirme-ağartma reçetesi... 30	
Şekil 3. 3. Kaplama İşlem Adımları.	30
Şekil 3. 4. a) Kaplamaların yapıldığı numune kaplama makinesi, b) Kaplama kimyasalının karıştırıldığı mekanik karıştırıcı.....	31
Şekil 3. 5. Hava geçirgenlik test cihazı.	32
Şekil 3. 6. Mikrosirkülasyon kan akış test mikroskopu.	32
Şekil 3. 7. Isıl İletkenlik Test Cihazı (Shirley Togmeter).	33
Şekil 3. 8. Emisivite ölçüm düzeneği ve görseli.	35
Şekil 3. 9. Kızılötesi termografi deney düzeneğinin şematik çizimi (sol), numune ve termokupl telinin plaka üzerinde yerleşimi (sağ).	35
Şekil 3. 10. Bruker VERTEX 70v FTIR, ATR Spektrofotometresi.	36
Şekil 3. 11. Isı Tutma Özelliklerinin Ölçümü.	37
Şekil 3. 12. JEOL JSM-IT100 SEM analiz cihazı.....	37
Şekil 3. 13. Martindale aşınma test cihazı.....	38
Şekil 4. 1. %100 Pamuklu kumaşların SEM görüntüleri	41

Şekil 4. 2. %100 Yün kumaşların SEM görüntüleri.....	44
Şekil 4. 3. %50-50 Pamuk/Polyester kumaşların SEM görüntüleri	46
Şekil 4. 4. %100 Viskon kumaşların SEM görüntüleri.	49
Şekil 4. 5. %100 Akrilik kumaşların SEM görüntüleri	51
Şekil 4. 6. Alüminyum plakanın sıcaklığa bağlı emisivite değerleri.....	53
Şekil 4. 7. Kumaşın dört farklı yerinden alınan emisivite ölçüm görseli ve değişen sıcaklığa bağlı ölçülen emisivite değerleri (%100 Pamuk/MgO örneği).	54
Şekil 4. 8. Kaplama yapılmamış %100 pamuklu numunenin artan sıcaklıkta IR kamerada görünen sıcaklığı.	55
Şekil 4. 9. Termokuplda 45 °C sıcaklıkta ölçülen üç numunenin IR kameradaki görünüşleri ve emisivite haritaları.....	56
Şekil 4. 10. %100 Pamuklu kumaşın emisivite değerleri.....	58
Şekil 4. 11. %100 Pamuklu Kumaşların Histerizis Grafikleri.	59
Şekil 4. 12. Yünlü kumaşların emisivite değerleri.	60
Şekil 4. 13. %100 Yün kumaşların histerizis grafikleri.	61
Şekil 4. 14. %50/50 Co/PES kumaşların emisivite değerleri.....	62
Şekil 4. 15. %50/50 Co/PES kumaşların histerizis grafikleri.....	63
Şekil 4. 16. %100 Viskon kumaşların emisivite değerleri.	64
Şekil 4. 17. %100 Viskon kumaşların histerizis grafikleri.....	65
Şekil 4. 18. Akrilik kumaşların emisivite değerleri.....	66
Şekil 4. 19. %100 Akrilik kumaşların histerizis grafikleri.....	67
Şekil 4. 20. Kumaşların ATR-FTIR ve IR kamera kullanılarak ölçülen emisivite değerlerinin karşılaştırılması	71
Şekil 4. 21. %100 Pamuk kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri	72
Şekil 4. 22. %100 Yün kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri	73
Şekil 4. 23. %50/50 Pamuk/Polyester kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri	73
Şekil 4. 24. %100 Viskon kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri	74

Şekil 4. 25. %100 Akrilik kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbands grafikleri	75
Şekil 4. 26. İşlem görmemiş kumaşların 4-14 µm aralığında ATR-FTIR spektrumları.	76
Şekil 4. 27. Biyoseramik nanopartiküller ile kaplanmış ve kaplama yapılmamış kumaşların ATR-FTIR grafikleri.....	79
Şekil 4. 28. Numunelerin ısı tutma grafikleri.....	81
Şekil 4. 29. Numunelerin ısı tutma grafikleri.....	82
Şekil 4. 30. Kaplanmış ve kaplanmamış %100 Pamuklu kumaşların 4. dakikadaki IR termal kamera görüntüleri	83
Şekil 4. 31. Termal iletkenlik ve yalıtkanlık ölçüm grafiği.	85
Şekil 4. 32. Kumaş çeşitlerine göre hava geçirgenlik sonuçları.....	87
Şekil 4. 33. TiO ₂ ve BİK numunelerin su geçirmezlik grafiği.	88
Şekil 4. 34. Kaplama yapılmış kumaşlarda oluşan yüzde ağırlık kayıpları	91
Şekil 4. 35. %100 Pamuklu numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	92
Şekil 4. 36. %100 Yünlü numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	92
Şekil 4. 37. %50/50 Co/PES numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği. ..	93
Şekil 4. 38. %100 Viskon numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	93
Şekil 4. 39. %100 Akrilik numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	94
Şekil 4. 40. %100 Pamuk numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	95
Şekil 4. 41. %100 Yün numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	96
Şekil 4. 42. %50-50 Co/PES numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	96
Şekil 4. 43. %100 Viskon numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	97
Şekil 4. 44. %100 Akrilik numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.	97
Şekil 4. 45. Dokuz gün sonunda bitki boylarının karşılaştırılması	99
Şekil 4. 46. Akrilik/TiO ₂ ve Akrilik/KY kumaşların üstten ve önden görünüşleri	100
Şekil 4. 47. %100 Pamuklu kumaş ve plastik saksıda yetişen fasulye bitki büyümelerinin karşılaştırılması	100

Şekil 4. 48. %100 Akrilik ve %100 Pamuk kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması.....	101
Şekil 4. 49. Akrilik kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması	102
Şekil 4. 50. Plastik saksı ile kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması.....	103
Şekil 4. 51. Kaplama yapılmamış ve biyoseramik nanopartikül içeren %100 pamuklu kumaşlarda bitki büyümesinin karşılaştırılması	104
Şekil 4. 52. Polipropilen saksı ve %100 pamuklu kumaşlarda bitki büyümesinin karşılaştırılması.....	105
Şekil 4. 53. %100 Pamuk ve %100 Akrilik kumaşların bitki büyüme testi.	105
Şekil 4. 54. %100 Pamuklu kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması	106
Şekil 4. 55. %100 Akrilik kumaşların bitki büyüme karşılaştırılması	107

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1. Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun (CIE) belirlediği IR aralıkları	3
Tablo 3. 1. Çalışma için temin edilen tek kat ipliklerin ölçülen numara ve Uster değerleri	27
Tablo 3. 2. Dokuma sıklığı ve gramaj değerleri	28
Tablo 3. 3. Biyoseramik nanopartiküllerin saflık derecesi, partikül boyutları, CAS numaraları ve hazırlanan kaplama çözeltisinin viskozite değerleri	29
Tablo 4. 1. %100 Pamuklu kumaş kaplamaların morfolojik özellikleri	41
Tablo 4. 2. %100 Yünlü kumaş kaplamaların morfolojik özellikleri	44
Tablo 4. 3. %50/50 Co/PES kumaş kaplamaların morfolojik özellikleri	47
Tablo 4. 4. %100 Viskon kumaşların morfolojik özellikleri	49
Tablo 4. 5. %100 Akrilik kumaşların morfolojik özellikleri	52
Tablo 4. 6. IR Kamera ile ölçülen kumaş ve kaplamaların emisivite (ϵ) değerleri	57
Tablo 4. 7. Kaplama yapılmış kumaşlarda yüzdesel emisivite değişimleri	67
Tablo 4. 8. ATR FTIR ile ölçülen absorpsiyon, reflektans ve transmittans değerlerinden hesaplanan emisivite değerleri	70
Tablo 4. 9. Kaplama yapılmış kumaşların kaplama yapılmamış kumaşa göre dördüncü dakikadaki sıcaklık değerleri ve yüzdesel değişimi.	84
Tablo 4. 10. TOG metrede ölçülen termal iletkenlik ve termal direnç değerleri	85
Tablo 4. 11. Biyoseramik kaplı kumaşların hava geçirgenlik değerleri	86
Tablo 4. 12. 1000 mm su geçirmezlik test sonuçları.	88
Tablo 4. 13. Aşınma direnci test sonuçları.	90
Tablo 4. 14. İki ölçüm arasındaki emisivite değerlerinin korelasyonu	92
Tablo 4. 15. IR Kamerada ölçülen emisivite değerleri ile 4. dakikadaki ısı tutma ($^{\circ}\text{C}$) arasındaki korelasyon değerleri.	95
Tablo 4. 16. Kaplama yapılmış %100 akrilik, %100 pamuklu kumaşlarda ve plastik saksıda yetişen bitkilerin dokuz gün sonundaki boy uzunlukları.	99

1. GİRİŞ

İnsanlar, ilerleyen teknoloji ve artan yaşam standartlarının bir sonucu olarak sağlık hizmetleri konusunda farkındalık kazanmış ve bu da piyasada çok sayıda sağlık ürününün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle, tüketicilerin taleplerini karşılamak için çok çeşitli sağlık ürünleri hızla geliştirilmektedir. Tekstil ürünleri de sağlık teknik tekstillerinde oldukça önemli bir yere sahiptir.

Tüm canlı organizmalar, güneşten dünyaya ulaşan doğal elektromanyetik radyasyona maruz kalırlar ve hücre altı organellerden tüm vücuda kadar uzanarak güneş ışınlarının olumlu ve olumsuz etkilerini yaşarlar. Kızılötesi ışınlarda güneşten dünyaya ulaşan, dalga boyu aralığı görünür ışıktan daha uzun olan (750 nm-1 mm) elektromanyetik spektrumdaki bir enerji bandıdır ve binlerce yıldır belirli hastalıkları/rahatsızlıkları tedavi etmek/hafifletmek için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Kızılötesi ışınların bir çeşidi olan, dalga boyu 4-14 mikron (μm) aralığındaki uzak kızılötesi ışınların (FIR) sağlığa faydaları hakkında literatürde oldukça fazla çalışma vardır. Özellikle, uzak kızılötesi yayma özelliğine sahip ürünler yaygın olarak araştırılmış, kan dolaşımını hızlandırma yeteneğine sahip oldukları ve sağlık rejimine fayda sağladıkları vurgulanmıştır.

Uzak kızılötesi ışınların sağlığa faydaları neticesinde, tekstil ürünlerinin bu ışınları yayma özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Doğada bulunan bazı mineraller ve biyoseramik ürünler bu ışınları yayma özelliği gösterir. Bu minerallerin tekstil ürününe kazandırılması neticesinde kumaşlar uzak kızılötesi yayma özelliği kazanır. Biyoseramik nano partiküller kumaş üzerine; kaplama, laminasyon, baskı, püskürtme gibi yöntemlerle veya lif çekimi esnasında partiküllerin polimer matrislerine katılması neticesinde tekstil ürünlerine kazandırılır.

Uzak kızılötesi ışınların bir diğer avantajı da bitki yetiştiriciliğine olumlu katkı sağlamasıdır. Yapılan çalışmalarda, uzak kızılötesi ışınlara maruz bırakılan bitki hücrelerinin olumlu yönde etkilendiği gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, farklı hammaddeler ile aynı yapıda dokunmuş (iplik numarası, dokuma konstrüksiyonu, atkı-çözümlü sıklığı aynı olan) kumaşlara uzak kızılötesi özellik kazandırılmak istenmiş ve elde edilen kumaşların analizleri yapılmıştır. Çalışmada beş farklı hammaddeden oluşan ve numara değerleri aynı olan iplikler kullanılarak aynı yapısal özelliklere sahip dokuma kumaşlar elde edilmiştir. Bu kumaşlar, daha önce uzak

kızılötesi etkinlikleri ortaya konmuş altı farklı biyoseramik nanopartikül ile kaplanmıştır. Elde edilen kumaşların uzak kızılötesi yayıcılık değerleri iki farklı metotla ölçülmüş, biyoseramik partiküllerin ve kumaşların uzak kızılötesi yayma değerleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda elde edilen kumaşlara; taramalı elektron mikroskop (SEM), ATR FTIR, aşınma (Martindale), hava geçirgenlik, ısı tutma, termal iletkenlik, hidrostatik basınç, mikrosirkülasyon kan akış hızı analizleri yapılmıştır. Elde edilen kumaşların bitki yetiştiriciliğine olan etkilerini gözlemlemek için ise kumaşlar saksı şeklinde dikilmiş ve içine fasulye bitkisi ekilerek büyüme hızları gözlenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kızılötesi Işımlar

Kızılötesi (Kızılaltı, IR veya Infrared) ışınım, dalga boyu görünür ışıktan uzun, terahertz (THz) ışınımdan ve mikrodalgalarından daha kısa olan elektromanyetik ışınımdır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (CIE) belirlediği sınıflamaya göre kızılötesi; yakın, orta ve uzak kızılötesi olmak üzere üç alt bölüme ayrılmaktadır (Tablo 2.1) [1].

Tablo 2. 1. Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun (CIE) belirlediği IR aralıkları [2].

Kızılötesi Işın Adı	Dalga Boyu	Foton enerjisi (THz)
Yakın Kızılötesi/IR-A	0,7– 1,4 μm (700– 1400 nm)	215-430
Orta Kızılötesi/IR-B	1,4– 3,0 μm (1400– 3000 nm)	100-215
Uzak Kızılötesi/IR-C	3,0– 100 μm (3000 nm– 0,1 mm)	3-100

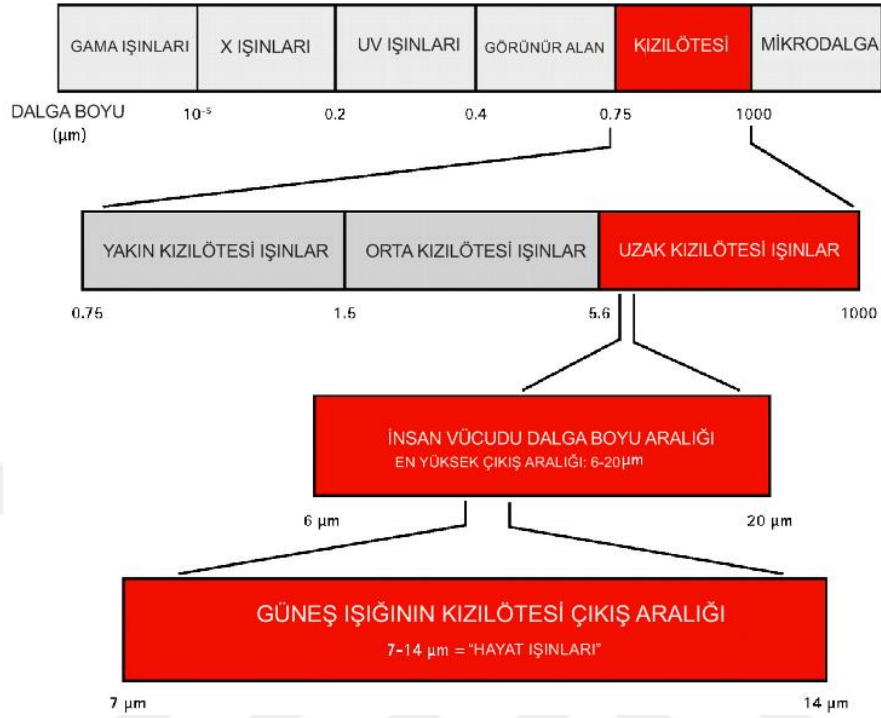
Kızılötesi ışınlar; astrofizikten, laboratuvar ve analiz cihazlarına, sıcaklık ölçümlerine (termometreler, termal görüntüleme kameraları, gece görüş gözlüğü, havadan yapılan araştırmalar), medikal ve güzellik alanlarına kadar bilimin tüm alanlarında kullanılabilir [3].

2.2. Uzak Kızılötesi Işın (FIR) Nedir?

Kızılötesi ışık, 750 nm-1 mm arasındaki dalga boylarına sahip ışınları kapsamaktadır. Uzak kızılötesi ışınlar da bu dalga aralığındaki kızılötesi ışınların bir çeşididir [1]. Mutlak sıfırın üzerinde her malzeme IR (kızılötesi) yaymaktadır. Oda sıcaklığındaki bu materyaller, spektrumun uzak kızılötesi alanında, genellikle 8-25 μm dalga boyu aralığında radyasyon yayar [4].

Güneş ışığının; %47'si kızılötesi, %46'sı görünür ışık ve %7'si morötesi ışınımdır [1]. Dalga boyu 7-14 μm aralığındaki FIR ışınları, hücre büyümesi için faydalı olarak kabul edilir ve bu dalga boyundaki radyasyon Şekil 2.1'de görüleceği üzere 'hayat ışınları' olarak adlandırılır. Bu ışınların tedavi amacıyla kullanımı Asya tıbbında gelişmiştir ve

FIR özelliğine sahip kumaşlar; sporcu giysilerinde, medikal tekstillerde, ev tekstillerinde, eldiven, çorap v.b. ürünlerde yüksek fiyatlara satılmaktadır [4, 5].



Şekil 2. 1. Uzak kızılötesi ışınların dalga boyu aralığının spektrumda gösterilişi [6].

2.2.1. Uzak kızılötesi ışınların çalışma prensibi

Emisivite terimi, Japon endüstriyel standardı (JIS Z 8117) tarafından "bir cismin radyant yayılımının, bu cisimle aynı sıcaklıkta bulunan siyah bir cismin radyant yayılımına oranı" olarak tanımlanmaktadır. 0 °K'den daha yüksek sıcaklıklarda bütün cisimler kızılötesi ışın yaymaktadır. Tüm nesneler üzerine düşen elektromanyetik radyasyonu bir dereceye kadar emerler. İdeal siyah cisimler ise tüm dalga boylarında üzerine düşen elektromanyetik radyasyonu tamamen absorblayabilirler [7]. Siyah cisim (Black Body) terimi ilk olarak 1860 yılında Gustav Kirchhoff tarafından kullanılmıştır. Üzerine düşen tüm radyasyonu emen nesneye (tüm dalga boylarında ve frekanslarda) siyah cisim (mükemmel emici) denir [2, 7]. Örneğin kara delikler, üzerlerine düşen tüm radyasyonu absorblayabildikleri için mükemmel yakın siyah cisimlerdir. Doğada gerçek (ideal) siyah cisim yoktur. Siyah cisim radyasyonu ayrıca; termal radyasyon, boşluk radyasyonu, tam radyasyon veya sıcaklık radyasyonu olarak da adlandırılırlar [8, 9].

Tüm nesneler belirli bir ısıda elektromanyetik dalga yaymaktadırlar. Oda sıcaklığında bu elektromanyetik dalgalar ‘infrared’ ($0,77 \sim 1000 \mu\text{m}$) ışınları olarak isimlendirilir. Stefan Boltzmann yasasına göre, cismin emisyon enerjisi mutlak sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılıdır ve aşağıda verilen denklem ile ifade edilir [10].

$$W = \sigma \cdot T^4$$

W: Emisyon enerjisi (W/cm)

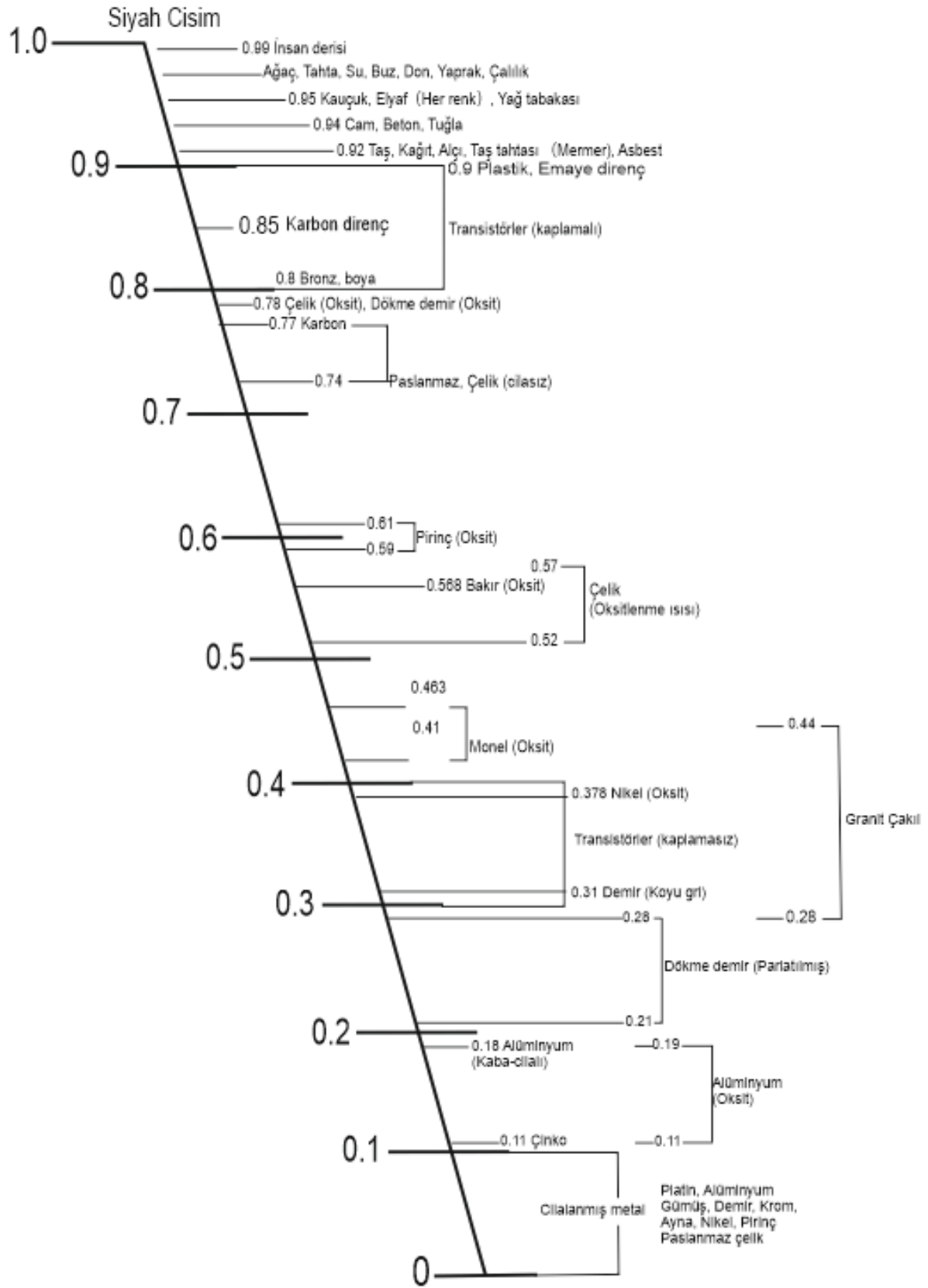
σ : Stefan Boltzmann sabiti

T: Mutlak sıcaklık (K)

Bu denklem, bir nesne tarafından yayılan çeşitli dalga boylarındaki radyasyonun toplam enerjisini göstermektedir. İdealize edilmiş siyah cismin emisivite değeri 1’dir ve geri kalan diğer cisimlerin aynı sıcaklıktaki emisivite değeri 1’in altındadır. Siyah cisim dışındaki tüm cisimler gri cisim olarak adlandırılır. Bir malzemenin emisivite faktörü, nesnenin emisyonunun (emiliminin/absorbsiyonun) bir ölçüsüdür ve Formül 1’de ki gibi verilmiştir:

$$\varepsilon = \frac{\text{Gri bir cisim tarafından yayılan tüm radyasyon enerjisi}}{\text{Aynı sıcaklıkta siyah bir cisim tarafından yayılan tüm radyasyon enerjisi}} \quad (\text{Formül 1})$$

Emisivite değeri, nesnenin cinsine, yüzey koşullarına, sıcaklığına ve yüzeydeki dalga boyuna göre değişir. Örneğin, insan derisi, ağaç, cam, taş, su, buz gibi malzemelerin emisivite değerleri 0,9 üzerinde gelirken, alüminyum, platin, gümüş gibi malzemelerin ise 0,2’nin altında gelmektedir. Bazı cisimlerin normal sıcaklıktaki emisivite değerleri Şekil 2.2’de verilmiştir [10].



Şekil 2. 2. Normal sıcaklıktaki bazı ürünlerin emisivite (ϵ) değerleri [10].

Uzak kızılötesi ışınlarının değerlendirilmesi için farklı standartlar getirilmiştir. Örneğin, Avrupa ve Amerika’da kıyafetlerdeki uzak kızılötesi ışınların etkinliği, genelde kişinin kanındaki oksijen içeriği veya problemlili bölgedeki kan akış hızının haftalar veya aylar süren denemeleriyle ortaya konmuştur. Asya’da ise, salım gücü ve sıcaklık farkı ilkesine dayanarak halihazırda çeşitli göreceli sistematik ve nicel değerlendirme standartları oluşturulmuştur. Örneğin; Japonya uzak kızılötesi ışın birliği (JIRA) FTTS-FA-010 kodlu standardı benimserken, Çin ise GB/T 30127-2013 kodlu standardı benimsemektedir [11].

2.2.2. Absorbans (α) ile emisivite arasındaki ilişki

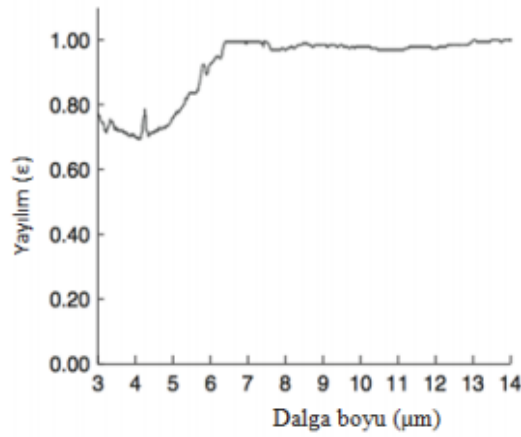
İdeal siyah cisim, her dalga boyunda radyasyonu mükemmel şekilde absorbe edebilen, idealize edilmiş bir nesnedir. Eşsiz bir kanun olan ışın yayma güç kanuna göre belirli bir sıcaklıktaki siyah cisim soğurduğu bu ışınları enerji olarak yaymaktadır. Unutulmamalıdır ki bu kanun bütün kusursuz kara cisimler için evrenseldir. Kirchhoff yasasına göre aynı sıcaklıktaki bir cismin absorpsiyonu emisivitesine eşittir ($\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$, α : absorpsiyon oranı, ε : emisivite değeri) [12, 13].

Bu çalışmada, Kirchhoff yasasından yola çıkılarak 8-14 mikron (μm) (LWIR) dalga boyu aralığında ölçülen absorbans ile emisivite değerleri karşılaştırılmıştır.

2.2.3. Biyoseramik nanopartiküller

Biyouyumluluk, bir biyomalzemenin en önemli özelliği olup, vücut ile uyuşabilirlik olarak tanımlanabilir. Biyoseramik ifadesi, biyolojik işlevselliğe sahip seramikler olarak tanımlanabilir. Araştırmacılar, “biyomalzeme” ve “biyouyumluluk” terimlerini, malzemelerin biyolojik performanslarını belirtmek için kullanmışlardır. Biyomalzemeler; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere dört gruba ayrılır. Biyomalzemeler, kendilerini çevreleyen dokuların normal değişimlerine engel olmayan ve dokuda istenmeyen tepkiler (iltihaplanma, pıhtı oluşumu vb.) oluşturmamayan malzemelerdir [14].

Tüm seramikler, sıcaklıklarına bağlı olarak IR radyasyonu yayma özelliğine sahiptir [2]. Biyoseramik malzemeler uzak kızılötesi ışınları yayabilir [4, 15, 16]. Şekil 2.3’ de görüldüğü üzere biyoseramik malzemeler 8-14 μm dalga boyu aralığındaki ışınları 0,9 ε üzerinde yayabilmektedirler [17].



Şekil 2. 3. Seramik partiküllerin 3-14 mikron aralığındaki ışınları emisivite (yayma) değerleri [17].

Seramikler, vücuttan yayılan FIR ışınlarını vücut yüzeyine geri yansıtarak ısı yalıtımını artırır. İnsan vücudundan yayılan FIR radyasyonu, “soğurucu” görevi gören bu seramik parçacıklarına gelir ve sonra FIR radyasyonunu tekrar vücuda geri yansır [16]. Tekstil ürünlerine katılan seramiklerin termal özelliklerini nasıl etkilediğini inceleyen araştırmacılar, seramiğin vücuttan yayılan FIR ışınlarını emdiği ve ısıyı muhafaza ettiği, böylece vücut ile giysi arasındaki sıcaklık farkının azaldığı, seramik içeren tekstil ürünlerinin vücudun ısınısını daha iyi koruduğu sonucuna varmışlardır [18].

Uzak kızılötesi özelliğin kazandırılması için tekstil yapısına katılabilen bazı biyoseramik partikül çeşitleri şunlardır: Magnezyum Oksit (MgO), Zirkonyum Dioksit (ZrO₂), Alüminyum Oksit (Al₂O₃), Demir III Oksit (Fe₂O₃), Silisyum Dioksit (SiO₂), Germanyum, Titanyum Dioksit (TiO₂) bileşikleri [4, 19, 20]. Aynı zamanda doğada bulunan; turmalin, yeşim, yılan, apatit taşı ve inci tozu gibi inorganik malzemeler de uzak kızılötesi ışınları absorblayıp yayabilme özelliğine sahiptir [21-24]. Yüz bölgesine turmalin ve yeşim partikülleri içeren kozmetik ürün kullanıldığında, bu bölgeden gelen radyasyon enerjisinin cilt sıcaklığını yükselttiği gözlenmiştir. Bu nedenle, turmalin ve yeşim taşının terapi özellikleri, onları kozmetik sektöründe potansiyel ürün sınıfına sokmaktadır [24]. Aşağıda, bu tez çalışmasında kullanılan biyoseramik partiküller hakkında bilgi verilmiştir.

2.2.3.1. Titanyum dioksit (TiO₂)

Titanyumun, biyomalzeme ürünlerinde kullanılmaya başlanması 1930'lu yılların sonlarındadır. Titanyum dioksit; güneş pillerinde, gaz sensörlerinde, beyaz pigment olarak kozmetik ve tekstil boyalarında, korozyon koruyucu kaplama olarak, ortopedik uygulamalarda ve seramiklerde kullanım alanı bulmaktadırlar [25].

Titanyum dioksit, kaplama metodu ile veya sentetik liflerin çekimi esnasında ekstrüdere katılarak tekstil ürünlerine kazandırılabilir [26, 27]. Aynı zamanda iyon implantasyon ve sol jel gibi yöntemlerle de tekstil yüzeylerine titanyum gibi elementler kazandırılabilir [28, 29]. Titanyum dioksitin sentetik lifler içine ilave edilmesiyle; fotokatalitik etki, UV absorblama, elektriksel iletkenlik, fotooksidasyon ve uzak kızılötesi yayma özellikleri liflere kazandırılabilir [27, 30, 31].

2.2.3.2. Alüminyum oksit (Al₂O₃)

Alüminyumun oksijen ile kolayca tepkimesiyle oluşmakta ve genellikle aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Alüminyum oksit; kaplama, lif içine hapsedme veya atomik katman biriktirme gibi yöntemlerle tekstil ürünlerine kazandırılabilir. Yapılan çalışmalarda Al₂O₃ içeren kumaşların termal iletkenliğinin, UV absorblama yeteneğinin ve hidrofobluk gibi özelliklerinin geliştiği gözlenmiştir [27, 32, 33]. Aynı zamanda alüminyum oksitin uzak kızılötesi ışın yayıcılığı arttırdığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [30, 31, 60].

2.2.3.3. Seryum oksit (CeO₂)

Seryum, nadir toprak metallerinin en fazla olanıdır ve Dünya kabuğunun yaklaşık % 0,0046'sı seryumdur. CeO₂ birçok uygulamaya sahiptir, en yaygın olanı katalizör veya katalizörler için aktif bir destektir [34]. Bunun yanında nem algılayıcı, katı oksit yakıt hücreleri, optik cihazlar ve cam parlatma malzemeleri gibi alanlarda da araştırmacılar tarafından değerlendirilmektedir [35]. Yapılan çalışmalarda tekstil atık boyaların ve kimyasalların temizlenmesinde ve tıbbi tekstiller için antimikrobiyel kumaş üretiminde başarı sağlanmıştır [36, 37]. Ayrıca seryum oksit minarellerinin uzak kızılötesi ışınları yaydığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur [38, 39].

2.2.3.4. Magnezyum oksit (MgO)

Magnezyum oksit ısıya dayanıklı bir malzemedir ve yüksek termal iletkenlik ile düşük elektrik iletkenliği gösterir. Magnezyum oksit iyi antibakteriyel özellikleri, yüksek ultraviyole koruma, kendi kendini temizleme, kumaşların renklendirilmesinde iyi haslık ve renk değerleri gibi özellikleri ile tekstil ürünlerinde kullanım alanı bulabilmektedirler [40, 41]. Magnezyum oksitin tekstil ürünlerine ilavesiyle uzak kızılötesi ışınları yaydığı ortaya konmuştur [4, 31].

2.2.3.5. Silikon dioksit (Silisyum Dioksit, SiO₂)

Silikon dioksit, oksijen ve silisyum içeren kimyasal bir bileşiktir. 16. yüzyıldan beri bilinmektedir ve cam, beton, fayans, porselen gibi birçok malzemede kullanım alanı bulmaktadır. Kumaşa kaplama yapıldığında su iticilik ve kendi kendini temizleme gibi bazı özellikler kazandırmıştır [42, 43].

Silikon dioksit (SiO₂), insan vücut sıcaklığına yakın derecelerde, elektro manyetik dalgaları 8-14 µm aralığında yayan seramik türüdür [30].

2.2.3.6. Çinko oksit (ZnO)

Saf çinko oksit beyazdır ve yarı iletken bir maddedir. Malzeme bilimi uygulamaları için çinko oksit; yüksek kırılma indisine, yüksek ısı iletkenliğine, bağlayıcılığa, antibakteriyel ve UV koruma özelliklerine sahiptir. Sonuç olarak; plastik, seramik, cam, çimento, kauçuk, yağlayıcılar, boyalar, merhemler, yapıştırıcı olarak, sızdırmazlık malzemeleri, beton imalatı, gıdalar, piller, yangın geciktirici gibi ürünlerde kullanım alanı bulmaktadır [44].

Yapılan çalışmalarda, kumaşlara çinko oksit kazandırılması neticesinde antibakteriyel ve uzak kızılötesi ışın yayma özellikleri olumlu yönde gelişmiştir [45, 46].

2.3. FIR Işınlmasının Sağlığa Etkileri

Uzak kızılötesi dalgaların canlı organizmaları olumlu olarak etkilediği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [47-49]. Dalga boyu aralığı 4-14 µm olan FIR ışınlarının

hücre büyümesi için faydalı olduğu belirtilmiş ve bu dalga boyundaki radyasyon “hayat ışınları” olarak adlandırmıştır [4].

FIR terapisi olarak da bilinen bu ışınların literatürde aşağıdaki etkilerinden söz edilmektedir [4, 50]:

- Kandaki oksijen miktarını artırır,
- Kas dokularını ve cildi gençleştirir,
- Doku yenilenmesini ve hızlı iyileşmeyi sağlar,
- Sinir sistemi fonksiyonunu geliştirir,
- Cilt dokusunda lipidleri azaltır,
- Metabolizmayı geliştirir,
- Kan sirkülasyonunu artırır,
- Oksijen dağıtımını ve yumuşak dokuya besini artırır,
- Biriken toksinlerin atılmasına yardımcı olur,
- Kasları rahatlatır ve uyku kalitesini artırır.

Uzak kızılötesi ışınların kullanımını sınırlayan yan etkileri ise şunlardır: gebelik, epilepsi, aktif tüberküloz, malignite, akut inflamasyon, şiddetli pıhtılaşma bozuklukları ve kaşeksidir [22].

Uzak kızılötesi dalga boyundaki ışınlar, vücuttaki su moleküllerini iyonize ve aktive ederek kan dolaşımına ve sağlık durumuna olumlu katkı sağlar. Vücuttaki su varlığı, FIR ışınları ile canlı organizmalar arasındaki etkileşimde kritik öneme sahiptir [2]. Uzak kızılötesi ışınlar deriye ve altta yatan dokulara nüfuz ederek, deri altı proteinlerin, kolajenlerin, yağların ve su moleküllerinin titremesine, doku sıcaklıklarının yükselmesine ve kan damarlarının genişlemesine neden olur. Bu ışınlar cildin 4 cm altına kadar nüfuz edebilmektedir. FIR ışınlarının hücresel düzeydeki etkileri, değişen hücre zarı potansiyelleri ve mitokondriyal metabolizma açısından çerçevelenebilir [2, 16]. Bilimsel çalışmalar, kan dolaşımındaki iyileşmenin dokulara daha fazla oksijen sağladığını ve çeşitli terapötik etkiler sağladığını göstermektedir [51, 52].

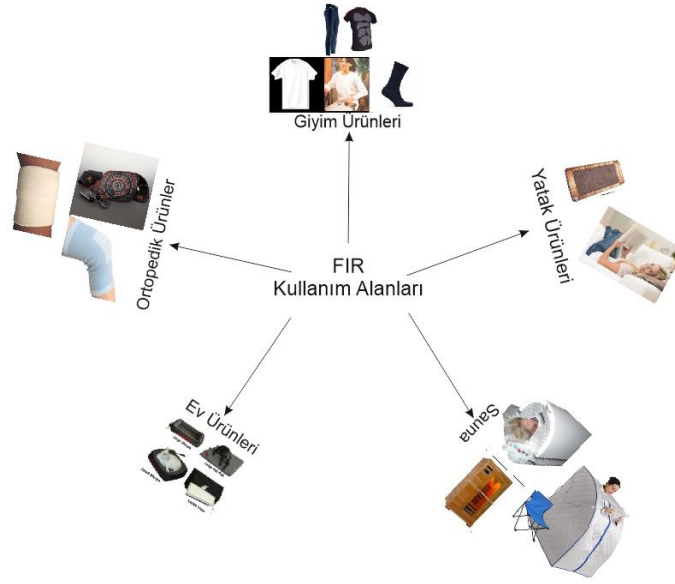
Uzak kızılötesi ısı tüm canlılar için tamamen sağlıklı ve güvenlidir. FIR ışınları ne kadar yoğunsa kişiyi o ölçüde zinde hissettirir ve hastalıkların üstesinden gelinebilir. Işığa maruz kalma yoğunluğu veya süresi azaldıkça da hastalığın iyileşme süreci uzayabilmektedir. Uzak kızılötesi tedavi, vücudun rejeneratif yeteneğini artıran ve sinir

sisteminin düzgün işlevini geri kazanmasına yardımcı olan hücresel metabolizmayı canlandırır. Vücuttaki herhangi bir doku FIR ışınlarına maruz kaldığında, vücudun iyileşme süreci başlar. Yapılan araştırmalar uzak kızılötesi enerjinin genel sağlığını korunmasına ve hastalıkların önlenmesine yardımcı olduğunu göstermektedir. Uzak kızılötesi ışınlar insan vücuduna derinlemesine nüfuz edebilir, kılcal damarları genişletebilir ve kan dolaşımını artırabilir. Saatlerce uzak kızılötesi ısıya maruz kalabiliriz ve cildimizin yanmasına neden olmaz. Böylece uzak kızılötesi ışınlar; yağların, kimyasalların, kanserojen ağır metallerin, gıda işlemlerinden kaynaklanan zehirli maddelerin, laktik asit, serbest yağ asitleri, yaşlanma ve halsizlikle ilişkili deri altı yağların, hipertansiyon ile ilişkili aşırı sodyum ve ağrıya neden olan ürik asit ve toksinlerin kandan atılmasına yardımcı olur [53].

Ayrıca uzak kızılötesi ışınların bitki büyümesi üzerinde de olumlu sonuçlar verdiği bazı çalışmalarla ortaya konmuştur [54, 55].

2.4. FIR Işınlarının Kullanım Alanları

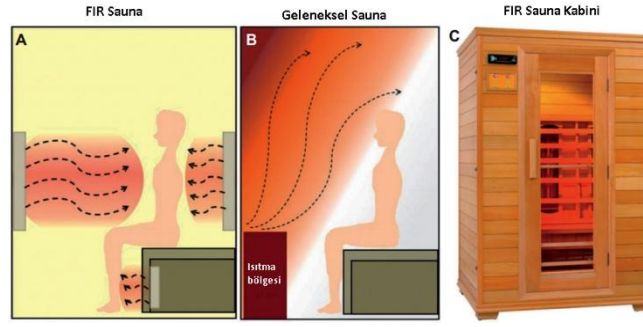
FIR ışınları özellikle Asya tıbbında uzun yıllardır terapi amacıyla kullanılmaktadır [5]. Bu ışınların tedavi edici özellikleri dikkate alınarak, piyasada çeşitli ürünler tasarlanmış ve satışı yapılmaktadır. Bunlar arasında masaj kilimleri, şilte, yatak örtüleri, ayak pedleri, çorap, eldiven, yatak, göz maskesi gibi tekstil ürünlerinin yanında, sauna, ısı lambaları ve IR başlık gibi ürünler bulunmaktadır (Şekil 2.4) [4].



Şekil 2. 4. FIR özellikli ürünlerin kullanım alanları.

2.4.1. Uzak kızılötesi özellikli saunalar

Modern kızılötesi saunaları ilk olarak 1965 yılında Tadashi Ishikawa icat etmiştir [56]. Geleneksel saunalarda havayı yaklaşık olarak 85 °C'ye ısıtmak için odun sobası veya 220-V ile çalışan ısıtıcı kullanılır. Uzak kızılötesi saunalarda geleneksel ısıtma yerine uzak kızılötesi ışınım ile ısıtma sağlanır. Bu ışınlar, geleneksel saunalar gibi deriyi ve solunum sistemini fazla ısıtmadan, daha konforlu bir sıcaklık sağlayarak vücudun derinlerine işler. Bu saunalar, uzak kızılötesi ışınların tedavi edici özellikleri kullanılarak geliştirilmişlerdir. Şekil 2.5'te FIR özellikli sauna ve geleneksel sauna resimleri verilmiştir. FIR özellikli saunada vücudun ısıtılması kızılötesi ışınların direkt vücuda yönelmesi ile gerçekleşirken klasik saunada ise her yer aynı oranda ısıtılır ve enerji gideri daha fazladır [6, 21].



Şekil 2. 5. A) Kızılötesi sauna, B) Klasik sauna, C) FIR sauna kabini [2].

Uzak kızılötesi saunaların; konjestif kalp yetmezliği, hipertansiyon, obezite, kilo kaybı, kan basıncının, kolesterolün ve bel çevresinin düşürülmesi, ağrı, stres ve yorgunluğun azaltılması gibi birçok sağlık sorununda faydalı olduğu ileri sürülmektedir [57]. Bu ışınlar, 7,5 cm'ye kadar cilde derinlemesine nüfuz etme kabiliyetinden dolayı hem tıbbi tedavilerde hem de estetik tedavilerde kullanılmaktadır. Uzak kızılötesi özellikli saunalar ile 30 dakikada 400-600 kalori yakılabilmektedir [58]. Ek olarak, sporcularda antrenman seanslarından sonra yorgunluk azaltma ve kas iyileşmesi üzerinde FIR saunalarının olumlu etkisi belirtilmiştir [59].

Uzak kızılötesi saunaların kabinlerdeki ısıtma elemanları yaklaşık olarak 300-400 °C'ye ısıtılır, ancak kabin sıcaklığı 40 °C veya daha altında olmaktadır. Geleneksel saunalara göre cildin FIR saunaları ile ısıtılması daha hızlıdır. Kızılötesi ısı konvansiyonel saunalara nazaran insan vücudunun daha derinine nüfuz ettikçe, kullanıcılar geleneksel saunalarda olduğundan daha düşük bir sıcaklıkta daha fazla terlerler [2]. Bu kabinler Japonya'da sıklıkla kullanılmaktadır ve Waon terapisi olarak adlandırılmaktadır. Waon tedavisi Japonya ve Kore'de kardiyovasküler durumlar ve hastalıklar, özellikle kronik kalp yetmezliği ve periferik arter hastalığı için yoğun olarak kullanılmaktadır. Kronik kalp yetmezliği olan hastalarda kalp ve damar fonksiyonlarını iyileştirmek ve oksidatif stresi azaltmak için FIR sauna terapisi kullanılmıştır [2, 6].

2.4.2. Uzak kızılötesi özellikli lif ve kumaşlar

İnsan vücudunun çevre ile ısı alışverişinin %40'ından fazlası kızılötesi termal radyasyondan kaynaklanmaktadır [60]. Yapılan çalışmalarda tekstil ürünlerine uzak kızılötesi özelliği iki farklı şekilde kazandırılmıştır. Birincisi, biyoseramik özellikli bir minerali veya doğadan elde edilen ve işlenen bir maddeyi (bambu kömürü) kumaşa

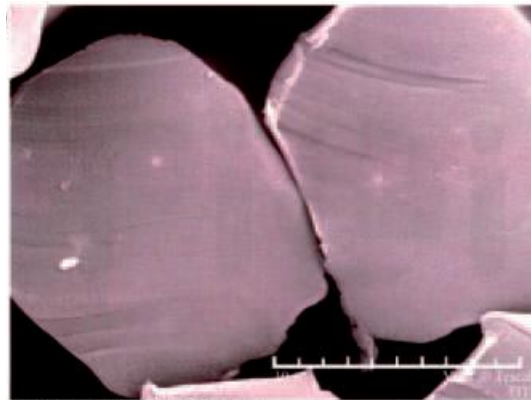
aktararak (kaplama, laminasyon, baskı, püskürtme v.b.), ikinci metot ise uzak kızılötesi özelliğine sahip malzemeyi lif çekimi sırasında polimer matrislerine katmak üzere yapılır [4, 61-65].

Bir malzemenin salınımı; sıcaklığına, dalga bandı-yönü, malzemenin şekli ve yüzeyi gibi birçok faktörden etkilendiğinden malzemenin yüzey salınımını doğru bir şekilde ölçmek zordur. Molekül zincirinde polar grup içeren lifler, içermeyen liflere oranla daha fazla enerji yayarlar ve polar grup sayısı arttıkça da yayılan enerji miktarı artar. Aynı şekilde lifin enine kesiti de yayılımı etkiler [11, 66]. Tekstil yüzeyini oluşturan lifler arasındaki sıklık/açıklık miktarı da geçirgenliği etkilediğinden kumaşlardaki IR yayılımı/emisivite değerleri farklılaşır [67].

Özellikle, halk sağlığı bilinci ve tüketim kapasitesinin gelişmesiyle birlikte FIR özellikli tekstil ürünlerinin yakın gelecekte oldukça popüler hale gelmesi ve ticari hacminin artacağı öngörülmektedir [11].

2.4.2.1. Uzak kızılötesi özellikli lifler

Lif çekimi sırasında biyoseramik nanopartiküllerin ekstrüdere katılması neticesinde liflere FIR özelliği kazandırılmaktadır [50, 68-74]. Şekil 2.6'da lif çekimi sırasında biyoseramik nanopartikül katılan liflerin enine kesiti görülebilir. Seramik nanopartikülleri ilk etapta polimer masterbach şeklinde hazırlanır ve daha sonra lif çekimi sırasında elyafın hammaddesi ile beraber ekstruderde filament olarak çekilir [11].



Şekil 2. 6. Seramik nanopartikül içeren polyester lifinin enine kesit görüntüsü [75].

FIR özellikli iplikler; Celliant®, Emana®, Nilit® gibi ticari isimlerle piyasada satılmaktadır. Bu iplikler yukarıda da bahsettiğimiz gibi partiküllerin lif içine katılması

ile elde edilmektedir [76-78]. Celliant® markasının FIR özellikli iplikleri, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından tıbbi bir cihaz ve genel sağlık ürünü olarak sınıflandırılmıştır [11].

Elyafın veya kumaşın içerdiği biyoseramik miktarları, termoregülasyon üzerinde oldukça büyük etkiye sahiptir ve bu nedenle ürünlerdeki biyoseramik miktarı arttıkça FIR yayma oranı da orantılı olarak yükselmektedir [79]. Ancak, lif çekim sırasında biyoseramik miktarının doğru ayarlanması gerekir. Partikül miktarının fazla olması bazı sakıncalara neden olabilmektedir. Seramik partiküllerinin lif içindeki miktarının artması ile elyaf mukavemetinde azalma olması bu sakıncalardan birisidir. Diğer bir sakınca ise, bu partiküllerin düzelerle zarar vermesi (aşındırması) ve düzeleri tıkaması şeklinde meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, biyoseramik partikül konsantrasyonunun %5 üzerine çıkılmaması tavsiye edilmiştir [80].

Ayrıca; biyoseramik partikül boyutu, elyaf inceliği ve enine kesiti, FIR özellikli lif üretiminde göz önüne alınması gereken parametrelerdendir. Biyoseramik partikül boyutu çok büyükse veya elyafın enine kesiti çok ince ise partikül elyaf içine sıkıca gömülemez ve bir süre kullandıktan sonra elyafın FIR özelliği kaybolabilmektedir. Lifin enine kesit şeklinin, FIR yayılımı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Enine kesiti üçgen olan lifin yuvarlak olana göre daha iyi FIR özelliği gösterdiği tespit edilmiştir [11].

2.4.2.2. Uzak kızılötesi özellikli kumaşlar

Uzak kızılötesi yayma özellikli kumaşların üretimi, FIR özellikli bir ipliğin dokuma veya örgü ile kumaş haline getirilmesi şeklinde veya biyoseramik içeren bir kimyasalın kumaş üzerine aplikasyonu ile olabilmektedir [4, 80].

Tişört, ayak ve bilek sargısı, çorap, eldiven, iç çamaşırı v.b. uzak kızılötesi özellikli tekstil ürünleri ticari olarak satılmaktadır (Şekil 2.7). Nikken®, Energear® ve Gold Reflect'Line® piyasada bulunan bazı FIR özellikli kumaşların ticari isimleridir [81-84]. Lin ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada, FIR özellikli nonwoven yüzey elde edilmiştir [68].



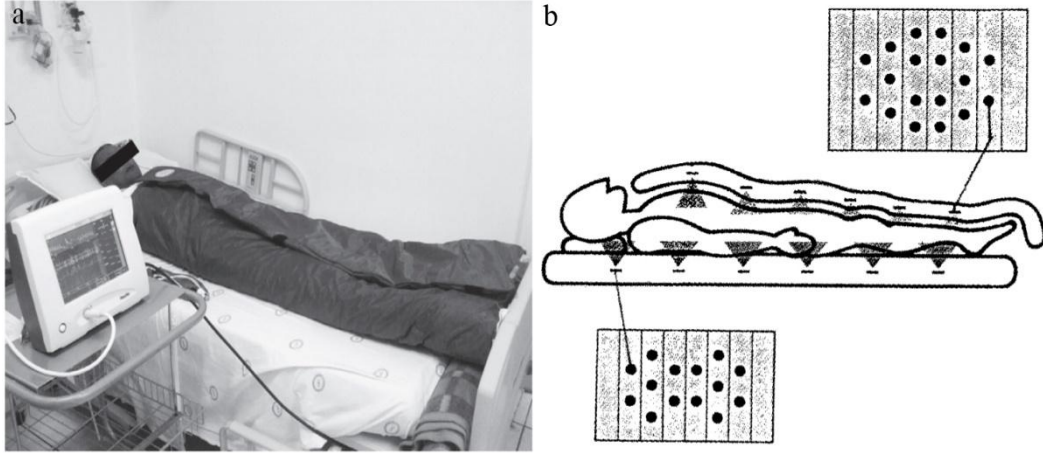
Şekil 2. 7. Piyasada satılan bazı FIR özellikli ürünler [5].

2.4.3. Uzak kızılötesi özellikli termal battaniye ve yataklar

Klasik bir battaniye insan vücudunu, havanın ısıtılması ile cildin dışından konveksiyonel ve iletkenlikle ısıtmaktadır. Uzak kızılötesi özellikli battaniyenin mekanizması ise radyasyona ve ışınların su molekülleri tarafından emilimine bağlı olarak deride ve deri altı dokularda ısı oluşumuna dayanmaktadır. Ek olarak, ılık hava cildin içine birkaç milimetre nüfuz edebilirken, IR ısı cilde yaklaşık 2 cm ile 7 cm arasında nüfuz edebilir ve penetrasyon derinliği dalga boylarına bağlı olarak değişir. Dalga boyunun artmasıyla penetrasyon derinliği azalır [22].

Uzak kızılötesi özellikli bu battaniler özellikle kalp yetmezliği gibi yatalak hastalarda tercih edilir. Hastanın dinlenmesi gerektiği ve uzak kızılötesi sauna veya buna benzer bir yere giremediği durumlarda kullanılabilir (Şekil 2.8, a) [56].

Şekil 2.8, b’de seramik disk içeren yatak ve yatak örtüsü (battaniye) görülmektedir. Uzak kızılötesi ışın yayan seramik diskler kullanılarak hazırlanan yatak ve yatak örtüsünü kullanan kişilerle yapılan görüşmelerde, öznel olarak çoğunluğun pozitif etkilendiği belirtilmiştir [85].



Şekil 2. 8. a) Termal battaniye ile tedavi gören yatalak hasta [56], b) 14 adet disk içeren yatak ve 18 adet disk içeren battaniye [85].

2.4.4. IR bölgesel lazer pedleri

Yumuşak lazer olarak da bilinen bu cihaz, estetik uygulamalarda ve fototerapide yaygın olarak kullanılmaktadır. Etki mekanizması, düşük seviye ışık terapisi olarak adlandırılan foto biyositümulasyona dayanır. Uzman terapistler tarafından zayıflama merkezlerinde kullanılabilir. Ayrıca selülit tedavisi, vücut şekillendirme, vücut onarımı ve belirli bölgelerdeki yağ birikintilerinin giderilmesi için kullanılmaktadırlar. Cihazın üzerinde 635-680 nm veya 760-1200 nm (NIR) arasında kırmızı ışık yayan padler bulunmaktadır [22].

2.4.5. FIR ısı lambaları

Bu lambalar tedavi edici amaçlı kullanım alanı bulmaktadır. Sadece FIR bölgede ışın yayan lambalar pahalı olduğundan karışık emisyonu (orta, yakın ve görünür bölge dalga boyunda) sahip ışık yayan lambalar kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir FIR ısı lambası 2-25 μm aralığında salınım yapar [2].

Bu cihazlarda kullanılan lambalar klasik ampul şeklinde olabildiği gibi sarmal ve doğrusal şekilde olanları da vardır. Yüzün ve derinin ısıtılmasında yaygın olarak kullanılırlar. Ayrıca, cilde uygulanan kozmetik ürünlerin emilimini arttırmak, yerel kan dolaşımını iyileştirmek, kas ve eklem ağrısını hafifletmek, saçlarda kalıcı dalga efekti ve saç rengini korumak için de kullanılmaktadırlar (Şekil 2.9) [22].



Şekil 2. 9. FIR Terapi Lambası, Model no: TY101N® [86].

2.4.6. IR başlık

Bu başlıklar aynı zamanda termo-uyarıcı olarak ta adlandırılır. Bu cihazlar genelde günde 20 dakika, haftada iki kez, 12-26 hafta kullanılan ve saçın üzerinde rahatça tutulabilen bir kask şeklindedir. Bu cihaz erkek ve kadınlarda saç derisine etki ederek, kellik tedavisi, alın açıklığı, ince saç problemi gibi tedavilerde kullanılabilir [22].

2.5. Uzak Kızılötesi Tekstil Ürünleri Üzerine Yapılan Örnek Çalışmalar

Uzak kızılötesi ışın yayma özellikli ürünler ile ilgili çalışmalar literatürde oldukça fazladır. Özellikle bu ışınların insan sağlığına olan etkisi nedeniyle sağlık alanında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Tekstil ürünlerine uzak kızılötesi özellik kazandırılması ile ilgili insan sağlığının geliştirilmesi üzerine çalışmalar yoğunudur. Aynı zamanda biyoseramik ve bambu kömür tozu gibi partiküllerin FIR ışınlarının yayılımını arttırıcı etkisi üzerine de oldukça fazla çalışma literatürde bulunmaktadır. Uzak kızılötesi ışın yayma özelliğine sahip tekstil ürünleri üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Futbolcular üzerine yapılan bir çalışmada FIR özellikli giysilerin (külotlu çorap) etkinlikleri değerlendirilmiştir. Pliometrik antremandan (yüksek şiddetli egzersizler) sonra futbolcuların egzersiz kaynaklı kas hasarı ve fiziksel performans iyileşmesinin dolaylı belirteçleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma, 21 adet futbolcu üzerinde uygulanmış ve antremandan 6 saat sonra 11 adet futbolcu FIR özellikli külotlu çorabı

giyerken diğer 10 kişi ise FIR özelliği olmayan normal külotlu çorap (plasebo) giymiştir. Futbolcular bu elbiseleri akşam 10:00 ile sabah 08:00 arasında (10 saat) giymişlerdir. Futbolculara; antreman öncesi, hemen sonrası ve 24-48-72 saat aralıkları ile bazı sporcu testleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda FIR özellikli külotlu çorap giymiş futbolcuların kas ağrılarının plasebo olanlara göre daha hızlı iyileştiği gözlenmiştir. Bu nedenle ağır antremanlardan sonra kas ağrılarının iyileştirilmesi için FIR özellikli giysilerin giyilebileceği çalışmanın yazarları tarafından önerilmiştir [87].

- İnsan sağlığı üzerine yapılan başka bir çalışmada, FIR özellikli iplikle elde edilmiş külotlu çorabın, selülit ve yerel adipozite kusurlarının kapatılmasında dermatolojik olarak faydaları test edilmiştir. Çalışma, 18-60 yaşları arasında selülit ve lokal adipozite sorunu olan 40 adet kadın üzerinde yapılmıştır. Kadınların yarısı FIR özellikli külotlu çorabı giyerken, diğer yarısı aynı yapı ve görünüşte olan normal (FIR özelliği içermeyen) külotlu çorabı test etmiştir. Test edilen külotlu çoraplar, ard arda 56 gün boyunca, günde 8 saat olacak şekilde denekler tarafından giyilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlara göre, FIR özellikli külotlu çorabı giyen kullanıcıların, selülit ve lokal adipozite kusurlarında azalma olduğu, ayrıca cildin; esneklik, pürüzsüzlük ve sıkılığını iyileştirdiği yazarlar tarafından belirtilmiştir [88].

- Conrado ve Munin'in yaptıkları bir çalışmada [51], seramik partikül katkılı sentetik lifler ve elastan kullanılarak örülmüş, FIR özelliğine sahip bir giysinin kadınların vücut ölçülerinde değişime neden olup olmadığı araştırılmıştır. İlgili çalışma için piyasadan tedarik edilen giysi, kadınların göğüs altından diz kapağının üzerine kadar olan bölgeyi örtmektedir. Giysi, %90 polyamid, %10 elastan içermekte ve kumaş yapısında yer alan FIR özelliğine sahip polyamid lifi; magnezyum oksit, titanyum dioksit, alüminyum ve silika biyoseramik nanopartikülleri içermektedir. Çalışmada 20-60 yaşları arasındaki 42 gönüllü kadın, aktif (22) ve plasebo (20) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Gönüllüler, seramik partikül emdirilmiş ve emdirilmemiş giysileri en az 8 saat / 30 gün boyunca kullanmışlardır. Deneysel veriler sonucunda, uzak kızılötesi özellikli giysiyi giyen kadınların mikrosirkülasyon ve büyük kan dolaşımında bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle vücut oranlarında (ölçülerinde) azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Araştırmacılar, bu sonuca dayanarak, biyoseramik partikül katkılı giysilerin genel insan sağlığına faydalı olduğu sonucuna varmışlardır.

- Lin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [62], %3 bambu kömür tozu katılarak elde edilmiş naylon, polietilen teraftalat (PET) ve paslanmaz çelik lifleri birlikte kullanılmış ve sonuçta 3 farklı konstrüksiyona sahip çözgülü örme kompozit elastik kumaşlar elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu kumaşların uzak kızılötesi yayma (emisivite) özellikleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, çözgü ipliklerinde daha fazla elastan kullanımının emisivite değerlerini yükselttiği gözlenmiş ve elde edilen yüzeyin uzak kızılötesi değerlerinin 0,85 ϵ üzerinde olduğu belirtilmiştir. Emisivite değeri 0,8 ϵ üzerinde gözleendiğinden dolayı elde edilen kumaşların sağlık teknik tekstil ürünlerinde kullanım alanı bulabileceği tespit edilmiştir.
- Lin ve arkadaşlarının yaptıkları bir başka çalışmada [69], %1,2 oranında bambu kömür partikülü içeren polyester, paslanmaz çelik tel (40 μm) ve antibakteriyel naylon lifleri birlikte bükülerek hibrit iplik elde edilmiştir. Çalışmada paslanmaz çelik tel çekirdek iplik olarak kullanılmış ve üzeri uzak kızılötesi özellikli polyester ve antimikrobiyel nylon ile 8, 11 ve 14 tur/cm büküme sahip olacak 3 farklı şekilde ayrı ayrı üretilmiştir. Hibrit iplik atkı ipliği, multifilament PET ise çözgü ipliği olarak kullanılmış ve üç çeşit dokuma kumaş elde edilmiştir. Kumaşların farklılıkları hibrit ipliğin büküm sayısına (8, 11, 14 tur/cm) göre değişmektedir. Çalışmada elde edilen kumaşların emisivite sonuçlarına göre büküm sayısı artan hibrit ipliğin uzak kızılötesi ışığı yayma oranlarının da arttığı tespit edilmiştir.
- Tao ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada [11], lifin enine kesitinin FIR yayma değerlerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, biyoseramik partikül içermeyen enine kesitleri farklı (üçgen ve dairesel), 44 dtex/34 filament içeren iki polyamid lif çeşidi FIR özellikleri bakımından teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu iki farklı lif örme makinesinde örülerek kumaş elde edilmiştir ve testler kumaş üzerinden gerçekleştirilmiştir. Üçgen enine kesitli polyamid elyafı ile örülen kumaşlarda, %91,85'lik güçlü bir emisyon değeri ve 2,11 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkı elde edilmiştir. Dairesel kesitli polyamid elyafta (referans) ise %86,72 emisyon değeri ve 1,52 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkı tespit edilmiştir. Bu durum, enine kesiti üçgen lifli ipliğin ışığı daha fazla saçması ve bunun neticesinde genel absorpsiyon artışının dairesel olana kıyasla daha fazla olması şeklinde açıklanmıştır. Herhangi bir katkı maddesi içermeyen üçgen enine kesite sahip polyamid elyafının; düşük maliyetli, kolay üretilebilen ve çevre dostu olması göz önüne

alındığında, gelecekte yüksek performanslı ve uygun maliyetli FIR tekstilleri için büyük bir potansiyele sahip olduğu çalışma sonunda belirtilmiştir.

- Zhang ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışmada [66], farklı hammaddelerden üretilen kumaşların 8-14 μm dalga boyu aralığında emisivite/yayılım değerleri ölçülmüştür. Kumaşların; hammadde, renk, yüzey özellikleri ve kaplama farklılıklarının emisiviteye olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada emisivite ölçümü yapılırken siyah cismin sıcaklık farkına göre yayılım değerleri belirlenmiştir. Emisivite ölçümleri sonucunda farklı hammadeler içeren kumaşların emisivite değerleri büyükten küçüğe doğru şu şekilde gerçekleşmiştir: PA>PET>wool>cotton>kaplama yapılmış kumaşlar. Kumaşların renk farklılıklarının yayılım üzerinde fark yaratmadığı tespit edilmiş ve kara cismin yüzey sıcaklığının da 200 °C'ye kadar etkili olmadığı gözlenmiştir.

- Lima ve arkadaşları [56], ortalama yaşları 56,9 ve kalp yetmezliği olan 38 adet hastada IR termal battaniye ile ısı tedavisi yöntemini denemişlerdir (Bkz. Sayfa 18, Şekil 2.8. a). Hastalar iki gruba ayrılmış olup, 23 adet hastaya termal battaniye ile terapi uygulanırken (Grup T), 15 adet hastaya ise normal battaniye kullanarak (Grup C) testler gerçekleştirilmiştir. Termal battaniye, 44 adet kızılötesi ped aracılığıyla 4-14 μm dalga boyu aralığında kızılötesi ışın yayan su geçirmez kumaştan imal edilmiştir. Termal battaniye tedavisi Grup T hastalarına 50 °C'de 40 dakika boyunca uygulanmış, Grup C hastalarına ise normal battaniye ile ısı verilmeden yine 40 dakika boyunca uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonunda, termoterapinin kalp hastaları için destekleyici bir tedavi olduğu sonucuna varılmıştır.

- Cian ve arkadaşları [16], biyoseramik içeren FIR özellikli kumaşların postüral duruş üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Birinci test, normal ayakta duruş, ikinci test ise eller üzerinde amuda kalkarak yapılan duruş olmak üzere iki farklı duruş çeşidi FIR özellikli ve plasebo olmak üzere iki farklı elbise giydirilerek yapılmıştır. İlk deneyde, yaş ortalaması 28,5 olan altı erkek altı kadın toplamda on iki katılımcı kullanılmıştır. İkinci denemede ise, yaşları ortalaması 21,5 olan, dokuz erkek beş kadın toplamda on dört jimnastikçi teste katılmıştır. Elde edilen sonuçlar, FIR özellikli elbise giyen katılımcıların, ayakta ve el üzerinde duruşta postüral kontrol üzerinde etkinin olumlu yönde arttığını ve postürel stabilitelerini geliştirmelerine yardımcı olduğunu göstermiştir.

- Ah Kim ve Jin Kim [89], bir çalışmada zirkonyum karbür (ZrC) içeren lif çekimi yapmışlardır. Elde edilen lifin çekirdek kısmı ZrC gömülü yüksek viskoziteli PET içerirken, dış tabaka ise düşük viskoziteli PET içermektedir. Bu lifler ile iki farklı örme kumaş yüzeyi elde edilmiştir. Çalışmada, ZrC gömülü PET polyester ve klasik PET polyester lifleri ile elde edilen örme kumaşların uzak kızılötesi yayılımları ve termal özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ZrC içeren PET liflerinin, içermeyen PET liflerine oranla uzak kızılötesi ışın yayılım gücünün (emisivite) daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda, ZrC içeren kumaşların ısı tutma ve hızlı kuruma özelliklerinin ZrC içermeyen kumaşlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.
- Shim ve arkadaşları [31], seramik içeren ısınma giysisi üzerine çalışmışlar, çeşitli oranlarda biyoseramik içeren ve içermeyen kumaşların termal davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada seramik partiküller içeren iki farklı poliüretan film kaplama elde edilmiştir. Elde edilen poliüretan filmlerin biri (MU-4N); SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve Na_2O biyoseramik partikülleri içerirken, diğer poliüretan film (RT-3) ise; Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , MgO , CaO , Fe_2O_3 ve ZrO_2 biyoseramik partikülleri içermektedir. Elde edilen bu biyoseramik içeren poliüretan filmler %100 polyester dokuma kumaşlara kaplanmıştır. Elde edilen kaplama yapılmış kumaşların ve biyoseramik partikül içermeyen dört farklı kumaşın emisivite değerleri incelendiğinde en yüksek emisivite değeri RT-3 ile kaplı kumaşta görülmüş, ikinci en yüksek emisivite değeri ise MU-4N ile kaplanmış kumaşta ölçülmüştür. Genel olarak bakıldığında biyoseramik içeren kumaşların uzak kızılötesi yayıcılık değerlerinin biyoseramik içermeyen kumaşlara oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda, biyoseramik içeren kumaşların daha sıcak tuttuğu, ısı yalıtımını arttırdığı ve su buharı geçişini ise düşürdüğü gözlenmiştir.
- Chung ve Lee'nin yaptıkları çalışmada [30], germanyum (Ge) ve silikon dioksit (SiO_2) nanopartikülleri poli(vinilalkol) (PVA) nanofiberlere çeşitli oranlarda dahil edilmiş olup elde edilen yüzeylerin uzak kızılötesi ışın yayıcılık değerleri ve antimikrobiyel özellikleri incelenmiştir. Ge ve SiO_2 nanopartiküller içeren PVA kompozit lifler, elektro-eğirme cihazı kullanılarak çeşitli Ge ve/veya SiO_2 konsantrasyonlarında üretilmiş ve polipropilen nonwoven kumaş üzerine katmanlanmıştır. Elde edilen kompozit yüzeylerin uzak kızılötesi emisyon değerleri ve emisyon gücü 5-20 μm dalga boyu aralığında 37 °C'de incelenmiştir. Emisivite ölçüm

sonuçları neticesinde en yüksek emisivite değeri, ağırlıkça %0,5 Ge ve %1 SiO₂ nanoparçacıkları içeren kompozit yüzeylerde gözlenmiştir. Çalışma sonucunda, Ge ve SiO₂ içeren PVA nanofiber zarların; yara iyileştirici sargılar, cilt bakım maskeleri, tıbbi tekstil ürünleri gibi tıbbi ve sağlık uygulamalarında potansiyel kullanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

- Bitkiler üzerine yapılan bir çalışmada [54], seramik partikülleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan seramik partikülleri 10x20 cm boyutlarındaki plastik çantalara applike edilmişlerdir. Aynı zamanda kontrol grubu içinde seramik partikülleri içermeyen plastik çantalar tedarik edilmiştir. Çalışmada elde edilen FIR özelliğe sahip olan ve olmayan çantalar ile havuç özütlerindeki H₂O₂ konsantrasyonlarının zamanla değişimleri ölçülmüştür. Çalışma sonunda FIR ışınlarının, hem doğrudan hem de dolaylı olarak bitkiler üzerindeki hidrojen peroksit (H₂O₂) değerini önemli ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir. Ayrıca FIR ışınlarının hücre canlılığını etkili bir şekilde arttırdığı da tespit edilmiştir.

- Pirinç kabuğu üzerine yapılan bir çalışmada, FIR ışınlarını yayan bir ısıtıcının etkileri incelenmiştir. Çalışmada, pirinç kabuklarının bir kısmı 2-14 µm dalga boyu aralığında FIR yayan ısıtıcıya tabi tutulmuş (FRH), diğer kısmı ise herhangi bir işleme tabi tutulmamıştır (IRH). FIR ışınları uygulanacak pirinç kabukları (5g) ahşap kutunun içine konulmuş ve 2-14 µm dalga boyu aralığında ışın veren ısıtıcıya tabi tutulmuştur. Diğer (IRH) pirinç kabukları ise 100 °C'lik fırında işleme tabi tutulmuştur. Çalışma sonunda, endüstriyel ölçeklerde pirinç kabuğu gibi tarım yan ürünlerinden antioksidan bileşiklerin salınmasında FIR radyasyonunun daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır [55].

- Sankauskaitė ve arkadaşları [18], PET, biyoseramik katkılı ve üç boyutlu örülmüş (spacer) kumaşların termoregülasyon özelliklerini araştırmışlardır. Farklı biyoseramik malzemeler, oranları ve uygulama/kaplama yöntemleri karşılaştırılmıştır. Analizler sonucu, titanyum (Ti) içeren kumaşların emisivite değerinin germanyum (Ge) içeren kumaşlara göre daha yüksek olduğu ve aynı zamanda termal davranışlarının ve ısı biriktirme özelliklerinin de daha yüksek olduğu ölçülmüştür.

- Larciprete ve arkadaşları 3,5-5,1 µm dalga boyu aralığında ölçüm yapan bir termal kamerada, 700 °C'ye dayanıklı paslanmaz çelik liflerinden, dokuma, örme ve nonwoven şeklinde üretilen tekstil ürünlerinin emisivite değerlerini ölçmüşlerdir. Elde edilen

sonuçlara göre dokuma kumaşların emisivite değerlerinin örme ve nonwoven yüzeylere göre daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır [98].

- Park ve Shin yaptıkları bir çalışmada, faz değiştiren materyaller ve silikon karbür ile kaplanmış kışlık kumaşların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen kumaşların emisivite ölçümleri sonucunda en yüksek değerin silikon karbür + faz değiştiren materyal içeren kumaşlarda olduğu ve aynı zamanda tek başına faz değiştiren materyal içeren kumaşın da kontrol kumaşından daha yüksek emisiviteye sahip olduğu gözlenmiştir [65].

- Ren ve arkadaşları, karbon nanotüp içeren filament iplikleri kullanarak kompozit kumaşlar elde etmişlerdir. Çözgü ipliği olarak 300 D, atkı ipliği olarak ise 150 D filament iplik kullanılarak dokuma kumaş elde edilmiştir. Elde edilen kumaş; yelek olarak dikilmiş, aynı zamanda 5 V mobil güç kaynağı ile desteklenmiş ve kalınlığı daha fazla olan polar kumaşla sıcak tutma özellikleri kıyaslanmıştır. Termal kamera altında, 5 V'luk ve karbon nanotüplü yeleğin belli bölgeleri insan vücut sıcaklığına yakın değerlerde ısı üretmiştir. Ayrıca karbon nanotüp içeren kumaşın, elektrik enerjisini uzak kızılötesi ışığa dönüştürmede oldukça verimli olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonunda karbon nanotüpler ve 5 V mobil güç içeren uzak kızılötesi ısıtma etkisine sahip kompozit kumaşlarının özellikle soğuk bölgelerde giyilen giysiler için uygun olduğu sonucuna varılmıştır [129].

- K.Y. Fang ve F. Fang'ın yaptıkları bir çalışmada, altın (Au) elementinin lifli membranlarda kızılötesi emisiviteyi azaltıcı etkisi üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla, poliviniliden florür (PVDF) ve tek duvarlı karbon nanotüplü poliviniliden florür (SWNT) lifleri elektrospining cihazında membran olarak elde edilmiş ve daha sonra Au elementi membran yüzeyine bağlanmıştır. Elde edilen membranların 2-22 µm dalga boyu aralığındaki emisivite değerleri ölçülmüştür. Au elementi içeren membranların emisiviteyi düşürdüğü ve bu membranları içeren kumaşların kızılötesi kameralardan kamuflaj giysisi olarak kullanımının değerlendirilebileceği belirtilmiştir [130].

- Silva ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada FIR ışınlarının diz ekstansör nöromüsküler performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma, yaşları 20-28, kiloları 71-93 ve boyları da 172-180 cm arasında olan on dört erkeğe uygulanmıştır. Erkeklerin yarısı FIR özellikli eşofman diğer yarısı (plasebo) ise aynı görüntü, renk ve özellikte (FIR ışınları yaymayan) olan normal eşofman giymişlerdir. Çalışma sonunda

FIR özellikli eşofman kullanımının (en az 82 ± 19 saat) diz ekstansörlerinin nöromüsküler performansını iyileştirmek için bir alternatif olabileceği bildirilmiştir [131].

- Tian ve arkadaşları kızılötesi ısıtma özellikli karbon kumaşlar üzerinde çalışmışlardır. Karbon liflerinden oluşan kumaş, nanopartiküller ile kaplanmış, termal ve uzak kızılötesi yayıcılık (emisivite) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen kumaşın, karbon lifleri ile iletkenliğinin arttığı, aynı zamanda nanopartiküller sayesinde termal koruma sağladığı ve 10 dakikada 10 V elektriksel akım ile oda sıcaklığını $58,3-60^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar arttırabileceği gözlenmiştir. Elde edilen kompozit kumaşın boyun koruyucu ve endüstriyel halı gibi birçok alanda umut vaat ettiği bildirilmiştir [132].



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada kullanılan iplik ve kumaşlar

Bu tez çalışmasında beş farklı iplik türü ile çalışılmıştır. Bu iplikler: %100 pamuk, %100 Akrilik, %100 Viskon, %100 Yün ve %50/50 Pamuk/Polyester şeklindedir. İpliklerin tedariki, Yünsa A.Ş. ve Akren İplik Sanayi Ticaret A.Ş. firmaları tarafından sağlanmıştır. İpliklerin numara değerleri 30 tex olup, daha sonra bu iplikler katlama-büküm makinesinde çift kat iplik haline getirilmiştir. İpliklerin çift kat yapılmasının nedeni, dokuma sırasında çözgü iplik kopuşlarının önüne geçmektir. Tek kat ipliklerin ölçülen numara ve Uster değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

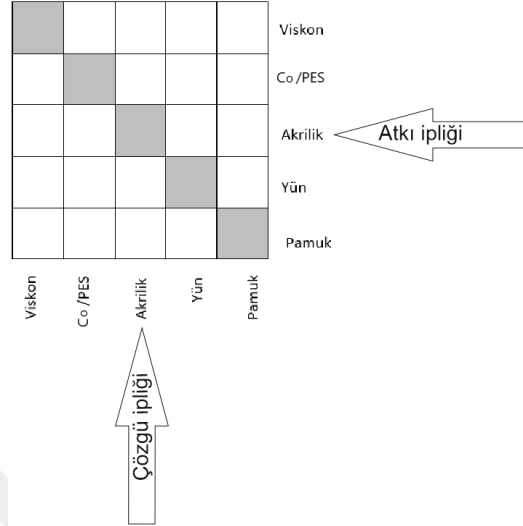
Tüm iplik numaralarının aynı seçilmesinin nedeni, aynı yapısal özelliklere sahip (iplik numarası, kumaş sıklığı, dokuma konstrüksiyonu) dokuma kumaş elde etmek içindir. Aynı yapısal özelliklere sahip kumaş elde edilmesinin sebebi ise, daha önce yapılan çalışmalarda farklı yapısal özelliklere sahip kumaş çeşitlerinin emisivite değerlerini değiştirmesidir [11, 62]. Bu çalışmada ki amaç, farklı biyoseramik nanopartiküllerin ve çeşitli elyaf tiplerinden üretilen kumaşların emisivite üzerindeki etkisini değerlendirmek olduğu için, aynı yapısal özelliklerde kumaş elde edilmiştir.

Tablo 3. 1. Çalışma için temin edilen tek kat ipliklerin ölçülen numara ve Uster değerleri.

İplik Türü	Numara Değeri (tex)	CVm (%)	İnce Yer (%50)	Kalın Yer (%50)	Neps (%200)	H (Tüylülük)
%100 Pamuk	30,1	14,1	7/km	128/km	180/km	7,3
%100 Yün	27,6	16,4	80/km	43/km	8/km	5,9
%100 Akrilik	30,1	12,8	3/km	3/km	8/km	9
%50/50 Co/PES	29,9	13,4	2/km	94/km	173/km	7,3
%100 Viskon	30,1	8,6	0/km	1/km	6/km	7,3

Çalışmada elde edilen ipliklerden bezayağı bağlantısıyla (1/1) kumaş dokunmuştur. Dokuma işlemi Uğur Tekstil A.Ş. bünyesindeki geniş en numune dokuma tezgahında yapılmış ve çözgü ipliklerinin yan yana çözgü leventine sarımı ve atkı ipliklerinin aynı sırayla verilerek kumaşın tek seferde dokunması gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de çözgü

ve atkı ipliklerinin sıralaması ve kumaşın oluşumu verilmiştir. Çalışmada, aynı çözgü ve atkı ipliklerinin (Şekil 3.1'deki gri alan) oluşturduğu kumaşlar kullanılmıştır. Elde edilen kumaşların dokuma sıklığı ve gramaj değerleri Tablo 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Bezayağı bağlantısıyla (1/1) dokunan kumaşın dokuma makinasındaki çözgü ipliklerinin sıralanışı ve atkı ipliklerinin verililiş sırası.

Tablo 3. 2. Dokuma sıklığı ve gramaj değerleri.

Kumaş türü	Dokuma sıklığı (adet/cm)		Gramaj değerleri (g/m ²)
	Atkı Sıklığı	Çözgü sıklığı	
%100 Pamuk	13	14	227
%100 Yün	14	15	194
%100 Akrilik	14	16	176
%100 Viskon	14	15	170
%50/50 Co/PES	14	15	212

3.1.2. Biyoseramik ve kaplama kimyasalları

Çalışmada altı farklı biyoseramik nanopartikül kullanılmıştır. Partiküller, Sigma-Aldrich firmasından tedarik edilmiş ve satın alımı Marmara Üniversitesi BAPKO FEN-C-DRP-150218-0056 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Partikül özellikleri, CAS (Chemical Abstracts Service) numaraları ve kaplama patının viskozite değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Kaplama kimyasalları Rudolf Duraner firmasından temin edilip kullanılmıştır. Bu kimyasallar; Anyonik binder-akrilat (AC 111), Anyonik çapraz bağlayıcı/fiksator (RUCO-COAT FX 8011), Dispergator (AD 719) ve Anyonik

kıvamlaştırıcıdır (RUCO-COAT TH 5020). Kaplama patı hazırlarken kullanılan kimyasalların oranları aşağıda verilmiştir:

- Anyonik binder-akrilat (AC 111): % 20,
- Anyonik çapraz bağlayıcı/fiksator (RUCO-COAT FX 8011): % 1.5,
- Dispergator (AD 719): % 0.5
- Anyonik kıvamlaştırıcıdır (RUCO-COAT TH 5020): % 1.5
- Su: %75.5
- Biyoseramik partikül: %1

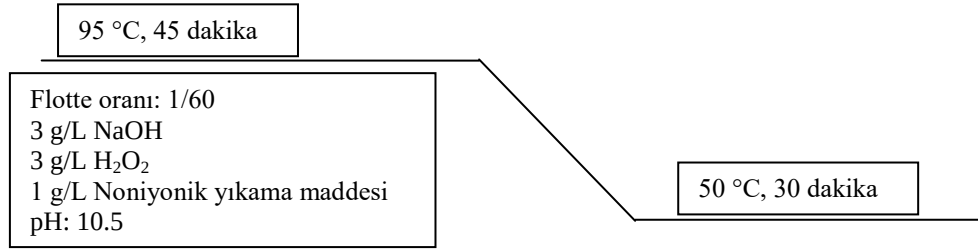
Tablo 3. 3. Biyoseramik nanopartiküllerin saflık derecesi, partikül boyutları, CAS numaraları ve hazırlanan kaplama çözeltisinin viskozite değerleri.

Biyoseramik Partikül Çeşidi	Saflık derecesi (%)	Partikül boyutu (nm)	Sigma Aldrich CAS Numarası	Viskozite (cP)
Seryum Oksit (CeO_2)	99,9	<25	1306-38-3	3280
Titanyum Dioksit (TiO_2)	99,9	21	13463-67-7	6200
Magnesium oksit (MgO)	99,5	<50	1309-48-4	1050
Alüminyum Oksit (Al_2O_3)	99,5	<50	1344-28-1	10800
Silikon Dioksit (SiO_2)	98,5	30	7631-86-9	9300
Çinko oksit (ZnO)	99,5	<100	1314-13-2	3260
Biyoseramik partikül içermeyen (BİK)				2200

3.2. Yöntem

3.2.1. Kumaşları hidrofilleştirme işlemi

Pamuk ve pamuk/polyester kumaşlar ham iplikten dokundukları için hidrofilleştirme ve ağartma (ön terbiye) işlemi yapılmıştır. Bu işlem, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği, Terbiye laboratuvarında bulunan Roaches marka laboratuvar tipi haspel makinasında gerçekleştirilmiştir. Pamuk ve pamuk/polyesterin hidrofilleştirme işlemi 95 °C’de 45 dakika ve 50 °C’de 30 dakika olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2’de ön terbiye şartları ve kullanılan kimyasalların oranları verilmiştir.



Şekil 3. 2. Pamuk ve Pamuk/Polyester kumaşların hidrofilleştirme-ağartma reçetesi.

Yünlü kumaşlar ham iplik kullanılarak dokundukları için bu kumaşlara da yıkama işlemi yapılmıştır. Bu işlem, 45 °C’de 4 saatte gerçekleştirilmiş ve reçete değerleri: H₂O₂ (%35): 30 ml/L, Sodyum silikat: 7 g/L, pH:8,5-9 şeklindedir.

3.2.2. Kaplama işlemi

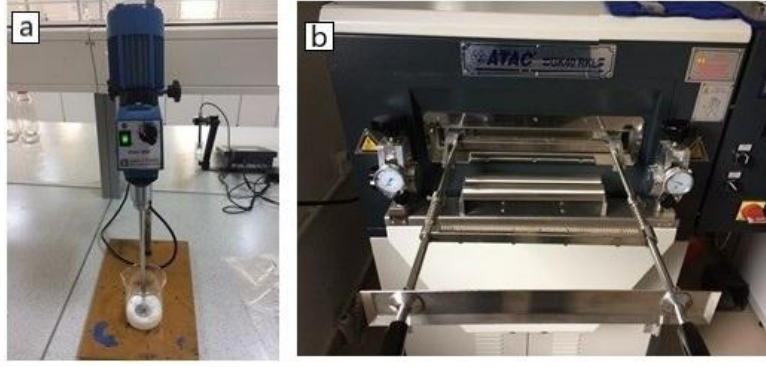
Kaplama işlem adımları Şekil 3.3’te verilmiştir. Kaplama reçinesi hazırlanırken kullanılan kimyasallar Janke Kunkel marka karıştırma cihazı ile karıştırılmıştır (Şekil 3.4-a). Hazırlanan kaplama reçinesinin viskozite değerleri, Brookfield DV-E Viscometer cihazında, Sp6 ucu ile 50 rpm hızında ölçülmüş ve Tablo 3.3’te viskozite değerleri verilmiştir.



Şekil 3. 3. Kaplama İşlem Adımları.

Kaplama prosesinin başlangıcında, kaplama reçinesini kumaş üzerine yayarak süren sıyırma bıçağı ile kumaş arasındaki mesafe 0,5 mm olacak şekilde ayarlanmış ve kaplama reçinesi kumaş üzerine sürülmüştür. Daha sonra kumaşlara 165 °C’de 2 dakika süresince kurutma ve termal fikse işlemi uygulanmıştır.

Kaplama prosesi, Şekil 3.4-b’de görülen ve Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Terbiye laboratuvarında bulunan Ataç GK40 RKL cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 4. a) Kaplamaların yapıldığı numune kaplama makinesi, b) Kaplama kimyasalının karıştırıldığı mekanik karıştırıcı.

3.3. Test ve Analizler

3.3.1. Hava geçirgenlik testi

Havanın; lif, iplik ve kumaş yapısı içerisinde geçebilme yeteneğine hava geçirgenliği denir. Hava geçirgenliği, birim basınçta, birim alanda, belli zamanda geçen havanın miktarını ifade etmektedir. Hava geçirgenliği genellikle kumaşın nefes alabilirliğini değerlendirmek için kullanılır [90]. Hava geçirgenliği, kumaşın/giysinin termal iletkenlik davranışını etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek hava geçirgenliği, termal iletkenliği daha yüksek ve nefes alabilen kumaş demektir. Ancak soğuk hava koşullarında bu aranan bir özellik değildir. Kışlık kumaşlarda termal yalıtım istenirken, yazlık kumaşlarda ise hava geçirgenliğinin fazla olması tercih edilir.

Hava geçirgenlik testi, Mimar Sinan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Giyim Üretim Teknolojisi bünyesinde bulunan Prowhite Airtest II/K008 marka/model cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Testler; ISO 9237 standartına göre, 100 Pa basınç, 20 cm² numune ölçüm alanı ve 27 °C oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 3. 5. Hava geçirgenlik test cihazı.

3.3.2. Kan akış testi

Bu test için, Marmara Üniversitesi BAPKO FEN-C-DRP-150218-0056 projesi kapsamında satın alımı gerçekleştirilen Biobase marka, mikrosirkülasyon tırnak mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 3.6). Görüntü elde edebilmek için sol yüzük parmağı kullanılmış ve test öncesinde bu parmağın üzerine (tırnak ile etin kesiştiği kısma) sedir ağacı yağı sürülmüştür. Test sırasında mikroskop ekranında çıkan görüntüyü kaydedebilmek için mikrosirkülasyon cihazı bilgisayara bağlanmıştır. Test, biyoseramik içeren ve içermeyen kumaşlar ile gerçekleştirilmiş, kan akış videoları subjektif olarak değerlendirilmiştir. Test sırasında kumaşlar sol kola sarılmış ve 5 dakika bekledikten sonra kan akış görüntüleri monitörden takip edilmiştir. Alınan görüntüler kaydedilerek tekrar izlenmiş ve değerlendirmeler subjektif olarak yapılmıştır.



Şekil 3. 6. Mikrosirkülasyon kan akış test mikroskobu.

3.3.3. Isıl iletkenlik test cihazı (Shirley Togmeter)

TOG, tekstil malzemesinin iki yüzü arasındaki Celsius ($^{\circ}\text{C}$) cinsinden sıcaklık farkının ısı akışına oranının 1/10'udur. Shirley Togmeter, tekstil malzemelerinin termal direncini ve iletkenliğini ölçmek amacıyla kullanılan ısı iletkenlik test cihazıdır (Şekil 3.7). Giysilik kumaşların sıcak tutma kapasiteleri TOG ile değerlendirilir. Bir kumaştaki termal yalıtım arttıkça TOG değeri de yükselir. Örneğin, tipik gömleklik kumaşların termal direnci 0.1 TOG, takım elbise, süveter veya kazak gibi elbiselik kumaşların termal direnci ise 1 TOG olarak belirtilmektedir [91].

Bu test, Marmara Üniversitesi İTAM laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kumaşlar 33 cm çapında kesilerek togmeter cihazına yerleştirilmiş ve iki saat sonra test sonuçları alınmıştır. Bu çalışmanın yapılma amacı, çalışmada kullanılan farklı biyoseramik nanopartiküllerin termal iletkenliği ne oranda etkilediğinin tespit edilmesidir. Buna yönelik olarak biyoseramik partiküllerin iletkenliğe etkisinin değerlendirilebilmesi için çalışmada tek tip %100 pamuklu numuneler kullanılmıştır.



Şekil 3. 7. Isıl İletkenlik Test Cihazı (Shirley Togmeter).

3.3.4. Uzak kızılötesi emisivite ölçümü

Emisivite ölçümlerinde iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde IR kamera kullanılarak cisimlerin belirli sıcaklıklarda ki emisivite değerleri ölçülmüştür. Diğer yöntemde ise zayıflatılmış toplam yansımali Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre (ATR FTIR) kullanılarak elde edilen absorbans (α), reflektans (ρ) ve transmitans (τ) değerleri ile emisivite verileri hesaplanmıştır.

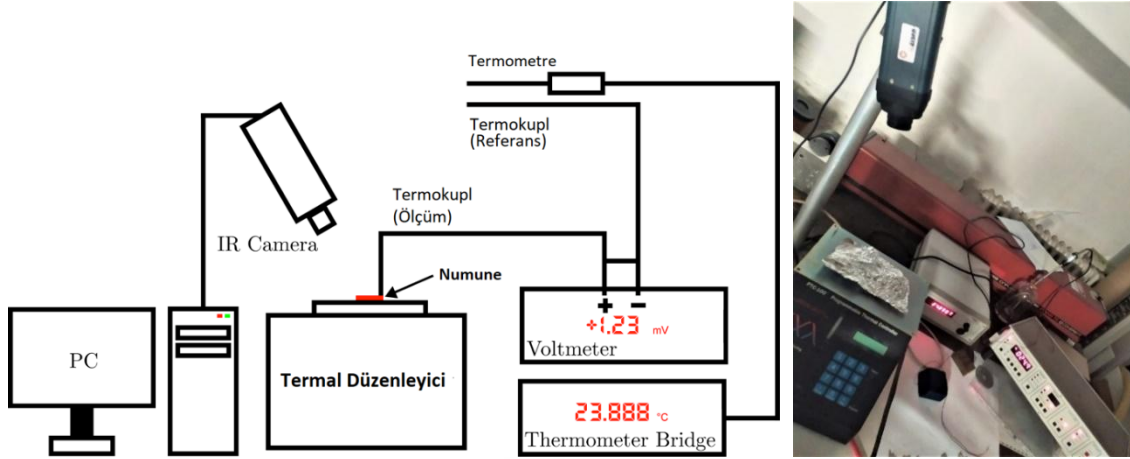
IR kamera ile gerçekleştirilen emisivite ölçümleri, İtalya'nın Roma şehrinde bulunan Sapienza Üniversitesi Mühendislik Temel ve Uygulamalı Bilimler bünyesinde yapılmıştır. Şekil 3.8'de ölçüm düzeneği ve görseli verilmiş olup, bu düzenek; kızılötesi kamera (COX CX320), termokupl (ısıl çift), termal düzenleyici, voltmeter ve bilgisayardan oluşur. Referans olarak ise siyah cisim/grafit (Bonderite L-GP 386 Acheson, $\epsilon \approx 0,98$) kullanılmış ve ASTM E1933-99a standartlarına göre ölçümler gerçekleştirilmiştir [92]. Isıtma ve termoelektrik (peltier) soğutucu modülü ile donatılmış, sıcaklığı 10 °C'den maksimum +150 °C'ye kadar ayarlanabilen bir termal düzenleyici ile doğrudan temas halinde numuneler cihaza yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, ölçüm çalışması sırasında gerçek sıcaklıklarını doğru bir şekilde gözlemlemek için iki kontak termometre (T tipi termokupl) kullanılmıştır.

Ölçüm güvenilirliğini test etmek için kumaş ölçümlerinden önce alüminyum levhanın emisivitesi ölçülmüştür. Alüminyum levhanın emisivite ölçüm sonuçlarından elde edilen verilere göre ölçüm güvenilirliği onaylanmıştır.

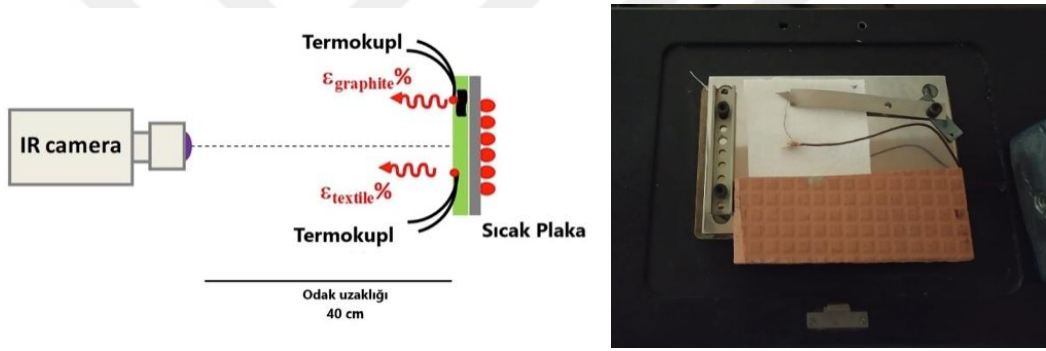
Kumaş numuneleri ısı plakası ile doğrudan temas halinde olacak şekilde yerleştirilmiş, termal kameranın açısı da 5° olacak şekilde kumaş üzerine konumlandırılmış ve uzak kızılötesi emisivite değerleri ölçülmüştür. Gerçek sıcaklıkların doğru bir şekilde okunması amacıyla iki temaslı termometre (T tipi termokupl) sırasıyla hem numune hem de plaka yüzeyi (referans/siyah cisim) ile doğrudan temas ettirilmiştir. Ölçümün gerçekleştirildiği alan, dışarıdaki ışıktan ve olası emisivite değişimlerinden etkilenmemesi amacıyla siyah opak bariyerler ile kapatılmıştır. Bu konfigürasyonda (Şekil 3.9, sol) kızılötesi kamera ile ölçülen sıcaklık değeri, referans boyadan (grafit) okunan gerçek sıcaklıkla eşleştirilir ve emisivite değeri alınır. Ölçüm, 8-14 mikron dalga boyu aralığında ve 23,8 °C oda şartlarında yapılmış olup, plakanın sıcaklığı sırasıyla 50 °C, 70 °C ve 90 °C ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 3 kez tekrar edilerek ortalama değer alınmıştır. Kumaşın plakaya temas etmesi için kumaş bir tuğla ile sabitlenmiş ve termokupl telini kumaş üzerinde sabit tutmak için klips kullanılmıştır (Şekil 3.9, sağ).

Çalışmaya, plaka/termal düzenleyiciyi (numuneye temas etmeli) 50 °C'ye ısıtarak başlanmış ve plakanın eşit şekilde ısınması ve ayarlanan sıcaklığa ulaşması için 5 dakika beklenmiştir. Beşinci dakikadan sonra, bir ölçüm ile diğeri arasında 1 dakika

beklenerek 5 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ölçümlere 70 ve 90 °C’de aynı işlem sırasıyla devam edilmiştir.



Şekil 3. 8. Emisivite ölçüm düzeneği ve görseli.

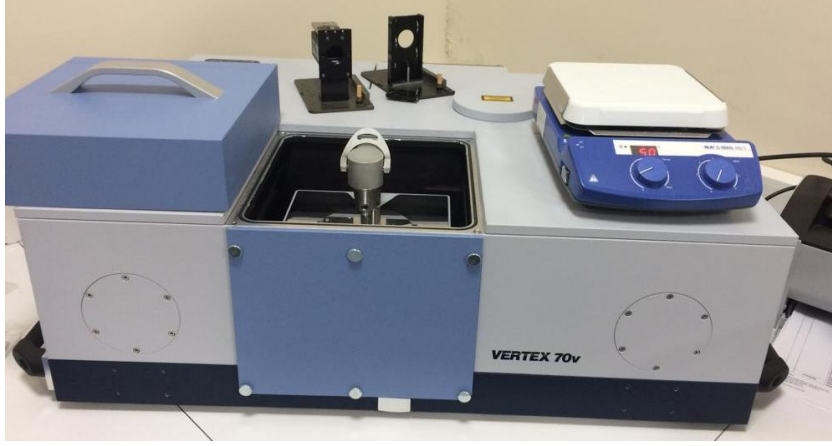


Şekil 3. 9. Kızılötesi termografi deney düzeneğinin şematik çizimi (sol), numune ve termokupl telinin plaka üzerinde yerleşimi (sağ).

3.3.5. Absorbans ve reflektans ölçümleri (ATR FTIR)

Absorbans ve reflektans değerleri, Erzurum Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM) laboratuvarında bulunan Bruker VERTEX 70v marka, zayıflatılmış toplam yansıma özellikli ATR FTIR cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.10). Ölçüm sırasında kumaş ile aynı sıcaklıkta (oda sıcaklığı) olan bir siyah cisim referans alınarak, her numunenin absorbans ve reflektans ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

FTIR analizleri iki farklı amaç için yapılmıştır. Bunlardan biri, emisivite değerlerini hesaplamak için gerekli olan absorbans, reflektans ve transmittans verilerini elde etmek, diğeri ise numunelerin moleküler yapılarını analiz etmek için yapılmıştır.



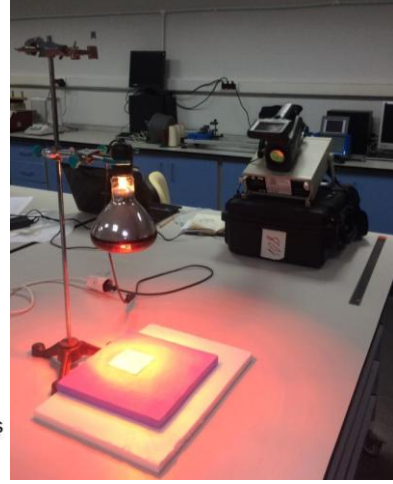
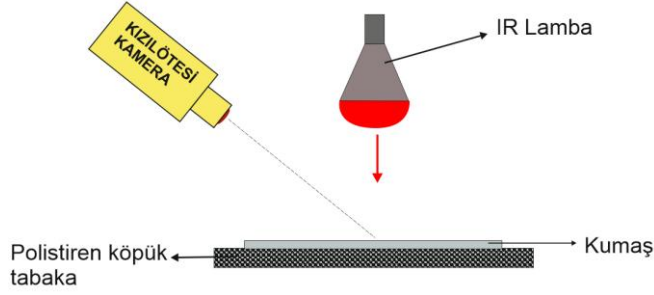
Şekil 3. 10. Bruker VERTEX 70v FTIR, ATR Spektrofotometresi.

3.3.6. Isı tutma özelliklerinin test edilmesi

Çalışmada kullanılan kumaşların ısı tutma özelliklerini ölçmek için kumaş üzerine kızılötesi özellikli bir lamba (250 Watt, Tungstam marka) sabitlenmiş ve kumaşın zamanla sıcaklık değişimi termal kamera ile ölçülmüştür. Yapılan bir çalışmada uzak kızılötesi ışın yayan kumaşlara yapılan ısı tutma testlerinde biyoseramik nanopartikül miktarındaki artışın, ısı tutma değerlerini de yükselttiği ifade edilmiştir [79].

Bu test, Marmara Üniversitesi İTAM laboratuvarında bulunan kondisyon odasında gerçekleştirilmiştir. Kumaş polistiren köpük (strafor) üzerine konulmuş, 250 W kızılötesi ışık yayan ampul 25 cm mesafede kumaş üzerinde sabitlenmiş ve FLIR P45 IR kızılötesi termal kamera (7-15 μm) ile sıcaklık değişimleri ölçülmüştür (Şekil 3.11).

Testin Yapılışı: Kızılötesi özellikli ampul açılmış ve dört dakika boyunca, her 15 saniyede bir kamera ile kumaşın üzerindeki sıcaklık ölçülmüştür. Dört dakika sonunda ampul kapatılmış ve kapalıyken de kumaş üzerindeki sıcaklık dört dakika boyunca her 15 saniyede bir olacak şekilde ölçüme devam edilmiştir. Toplamda test süresi 8 dakika sürmüş ve tüm numunelerin ısı tutma özellikleri test edilmiştir. Test, her numune için üçer defa tekrarlanmış ve ısı tutma grafiği çizilmiştir. Elde edilen ısı tutma değerleri ile ölçülen emisivite değerleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır.



Şekil 3. 11. Isı Tutma Özelliklerinin Ölçümü.

3.3.7. SEM görüntülerinin elde edilmesi

Kaplama yapılan kumaşların Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Konservasyon Laboratuvarında bulunan JEOL JSM-IT100 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3. 12. JEOL JSM-IT100 SEM analiz cihazı.

3.3.8. Hidrostatik basınç testi

Hidrostatik basınç testi, kumaşların suya karşı koruma sağlayabilme ölçüsünü değerlendirmek için yapılır. Kumaşın altından su basıncının gittikçe artmasına karşı ıslanma dayanımı esas alınarak ölçüm verisi alınır.

Çalışmada elde edilen uzak kızılötesi ışın yayma özelliğine sahip kumaşların tarım teknik tekstillerinde kullanılma potansiyelinden dolayı su penetrasyonuna karşı dayanım

testi gerçekleştirilmiştir. Buna yönelik olarak kurgulanan yöntem 4.11’de (sayfa 112) verilmiştir.

İlgili test, TS EN ISO 811:2018 standartına göre, Prowhite/K007 marka/model su geçirmezlik cihazında, Bursa Teknoloji Koordinasyon ve AR-GE Merkezinde (BUTEKOM) yapılmıştır. Testin kondisyon şartları; 20 ± 2 °C, 65 ± 4 %RH ve test parametreleri; su sıcaklığı: 26,5 °C, su basınç artış oranı: 60 cm H₂O/dakika şeklindedir. Test, titanyum dioksit ile kaplanmış ve biyoseramik partikül içermeyen (BİK) kaplamalara yapılmıştır. Ölçümler her kumaş numunesi için üç defa tekrar edilmiştir. Kaplamada kullanılan kimyasalların aynı olması ve diğer biyoseramik nanopartikül boyutlarının birbirine yakın olmasından dolayı ölçümler sadece titanyum dioksit içeren ve biyoseramik partikül içermeyen kumaşlara uygulanmıştır.

3.3.9. Aşınma direnci testi (Martindale)

Aşınma direnci testi, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Fiziksel Testler Laboratuvarında bulunan Martindale aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13). Bu test, yukarıda tez içerisinde açıklanan kaplamaların kalıcılığını değerlendirmek için TSE EN ISO 12947-1 standartına göre yapılmıştır. Ölçüme esas olan kumaşlar 38 mm dairesel şekilde ve her numuneden 3 adet olacak şekilde kesilmiştir. Numunelere, 12 kPa’lık (795 ± 7 g) basınç altında, 5000 ve 10000 tur aşınma/sürtme gerçekleştirilmiştir. Kesilen numuneler; test başlangıcında, 5000 ve 10000 tur sonrasında hassas terazide tartılarak % ağırlık kaybı değerleri hesaplanmıştır.



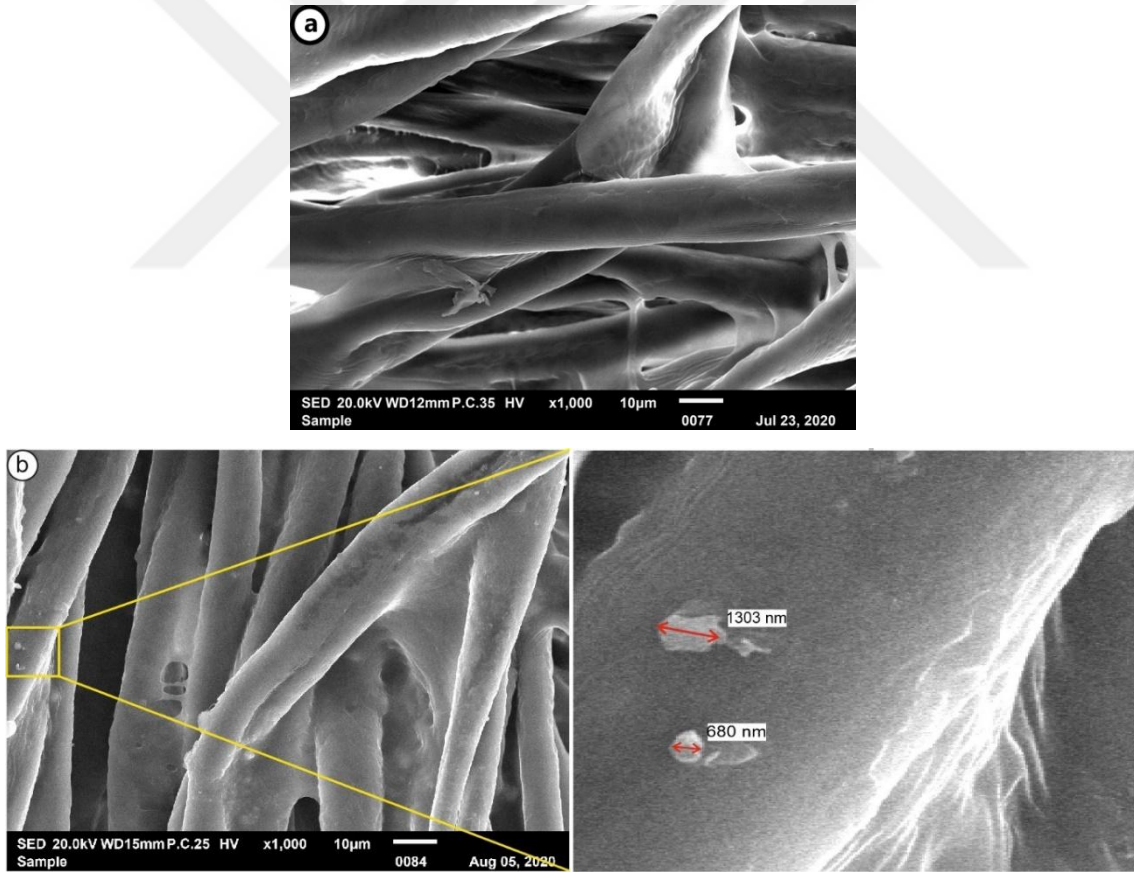
Şekil 3. 13. Martindale aşınma test cihazı.

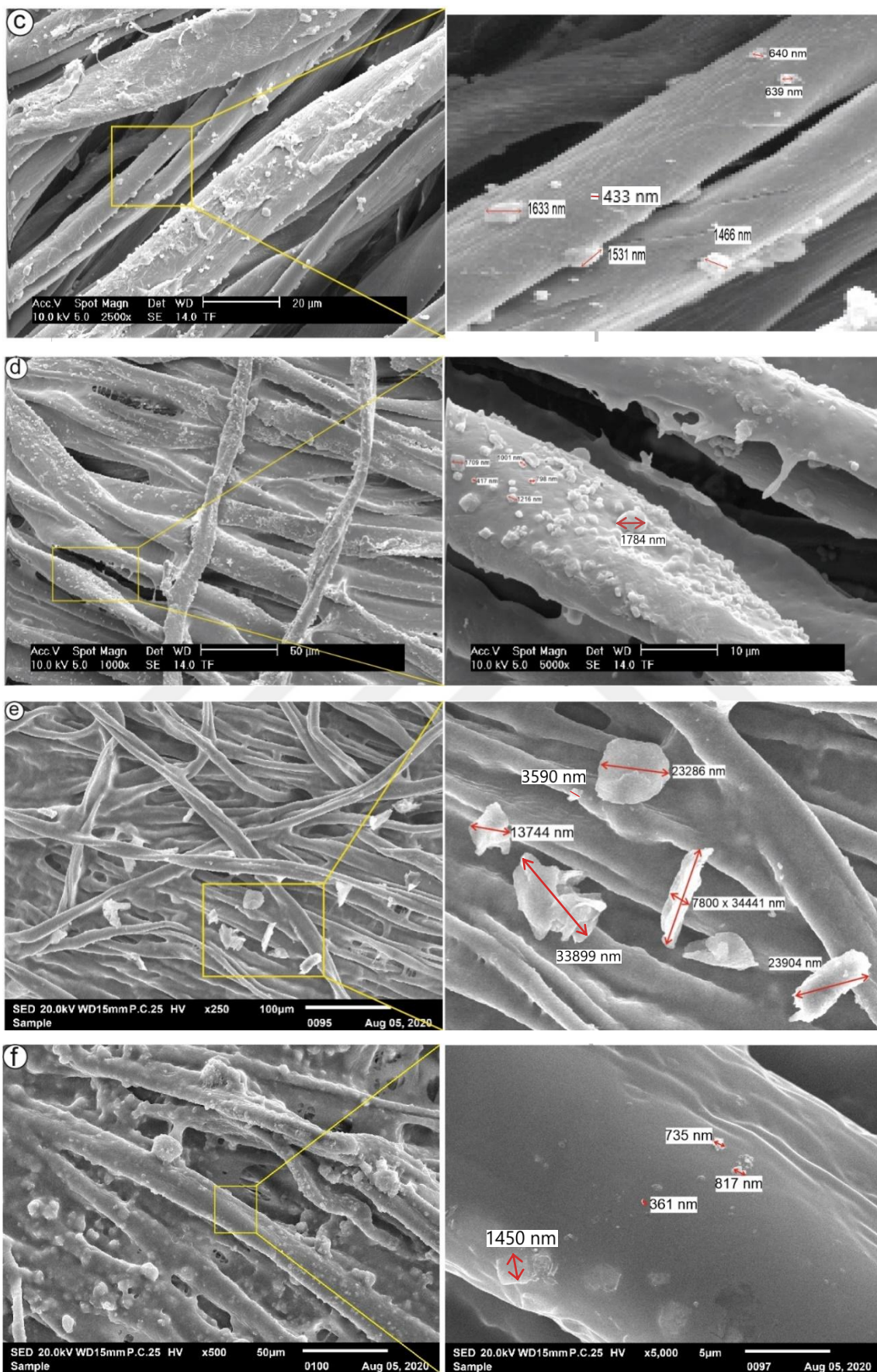
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

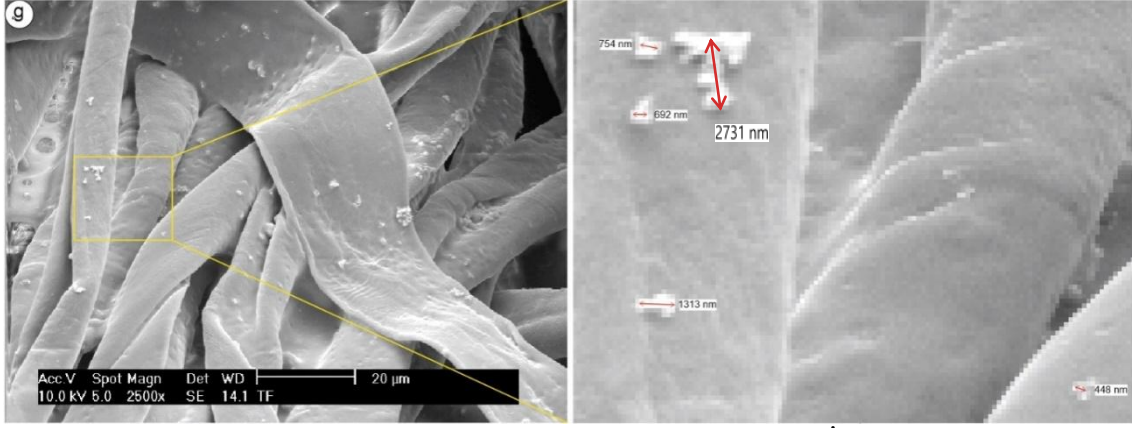
4.1. Kumaşların SEM Analizleri

Kaplama yapılan tüm kumaşların biyoseramik nanopartikül varlığı SEM analizleri ile gözlenmiş ve değerlendirilmiştir. Her numuneden dört farklı yakınlaştırma derecesinde görüntü alınmış ve elde edilen optimum görüntüler, Şekil 4.1-4.5 arasında çalışmaya eklenmiştir. Biyoseramik partikül içeren kumaşların görüntüleri iki büyütme derecesinde verilmiştir.

Tüm şekiller incelendiğinde lifler üzerinde görülen tanecikler biyoseramik partiküllerin varlığını göstermektedir. Partikül boyutları şekiller üzerinde ImageJ yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen partikül boyutlarının en büyük ve en küçük değerleri Tablo 4.1-4.5'te verilmiş ve değerlendirilmiştir.



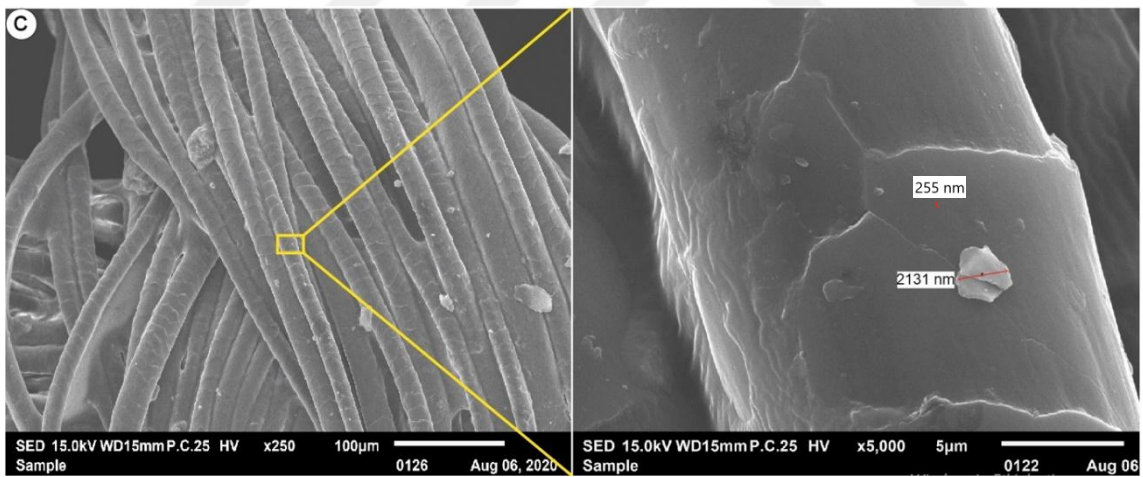
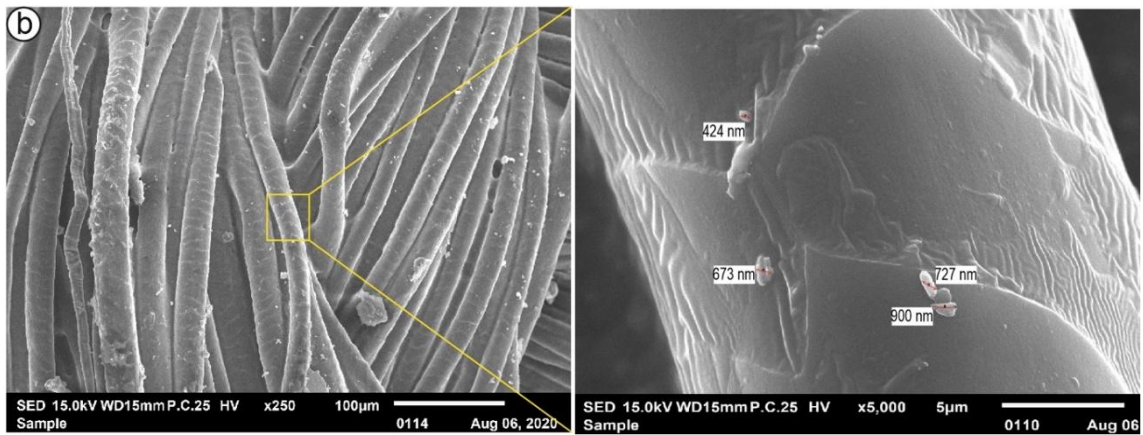
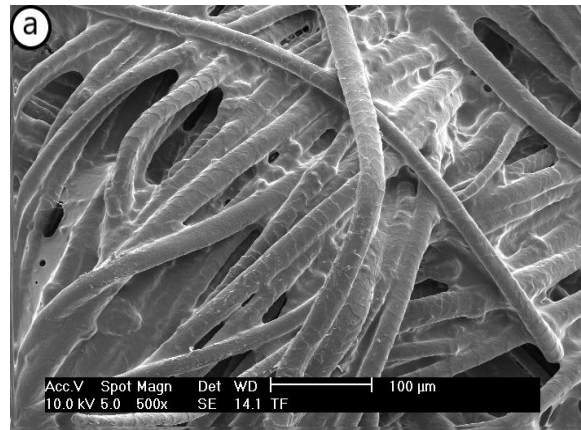


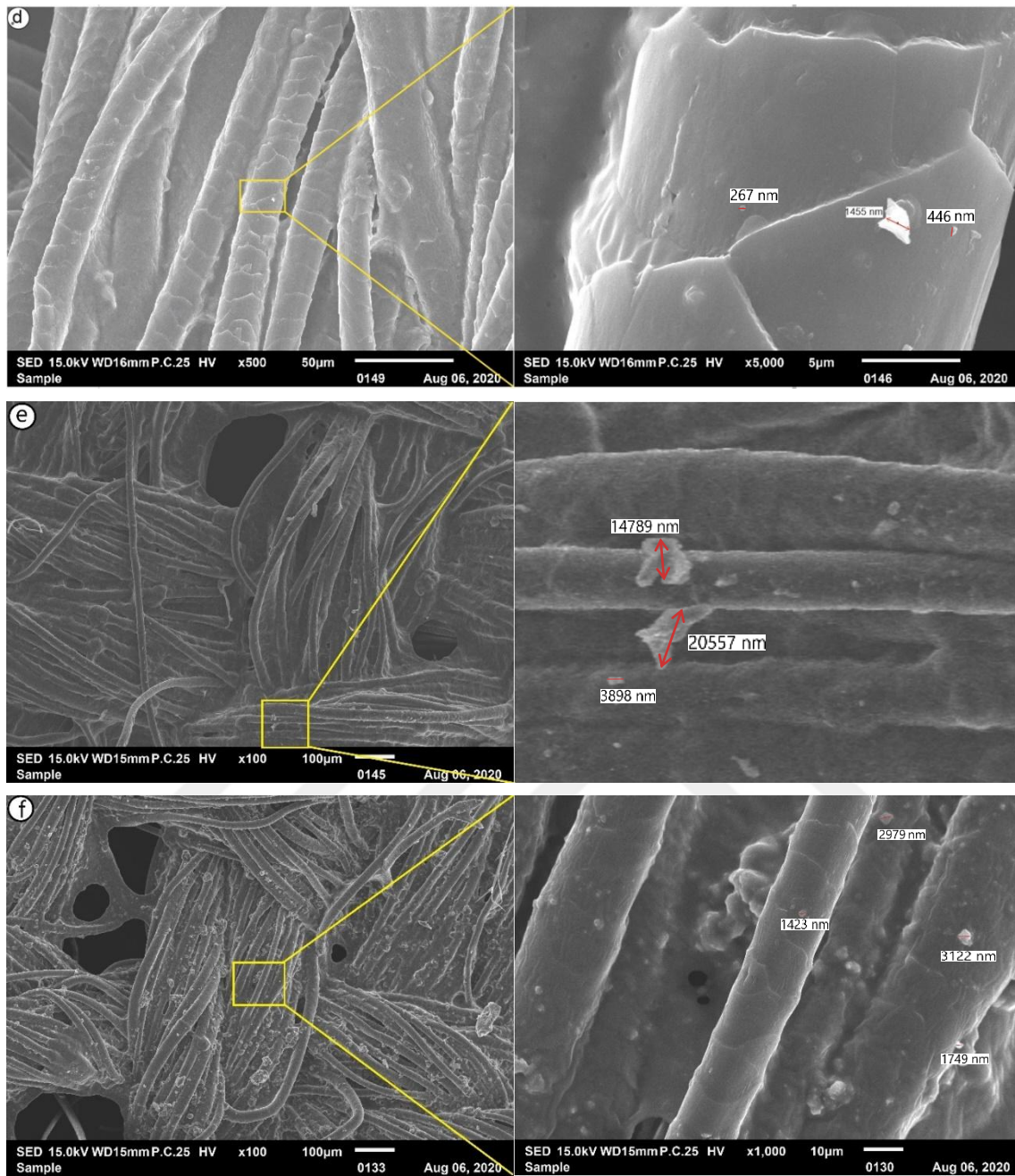


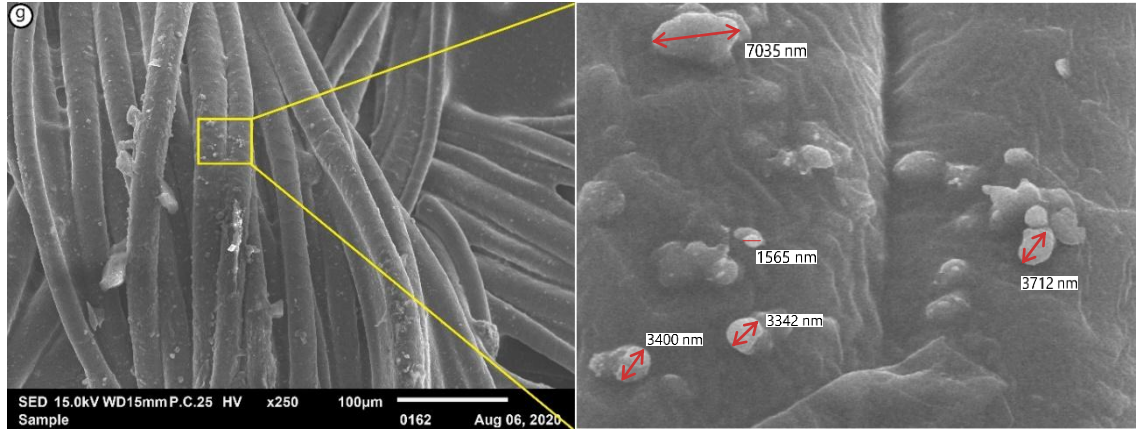
Şekil 4. 1. %100 Pamuklu kumaşların SEM görüntüleri. a-BİK, b-TiO₂, c-CeO₂, d-MgO, e-Al₂O₃, f-SiO₂, g-ZnO.

Tablo 4. 1. %100 Pamuklu kumaş kaplamaların morfolojik özellikleri

Kaplama Türü	Biyoseramik Partikül Boyutlarının (kümeleşmiş) En Küçük ve En Büyük Sayısal Değerleri (nm)	Dağılım Şekli
TiO ₂	680 - 1303	Homojen olmayan değişken büyüklükler
CeO ₂	433 - 1633	Homojen olmayan değişken büyüklükler
MgO	417 - 3784	Homojen olmayan değişken büyüklükler
Al ₂ O ₃	3590 - 33899	Homojen olmayan değişken büyüklükler
SiO ₂	361 - 1450	Homojen olmayan değişken büyüklükler
ZnO	448 - 2731	Homojen olmayan değişken büyüklükler



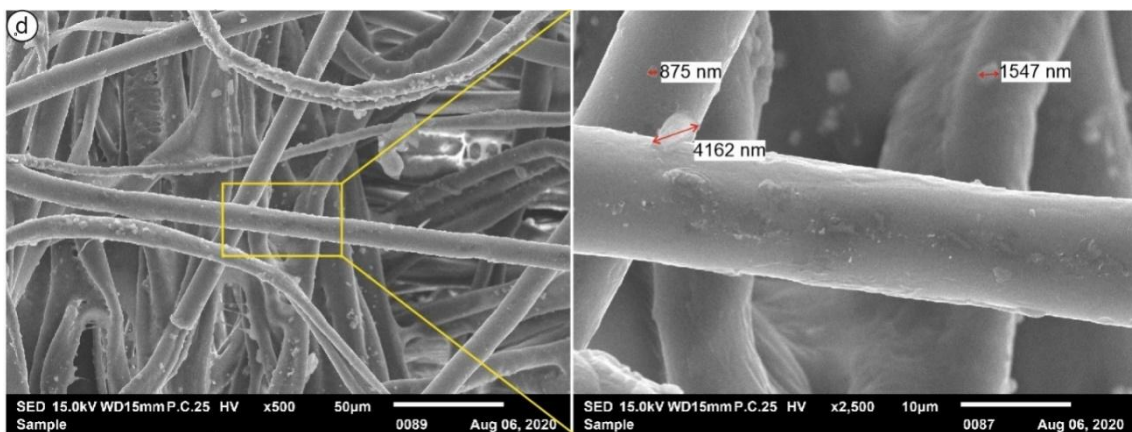
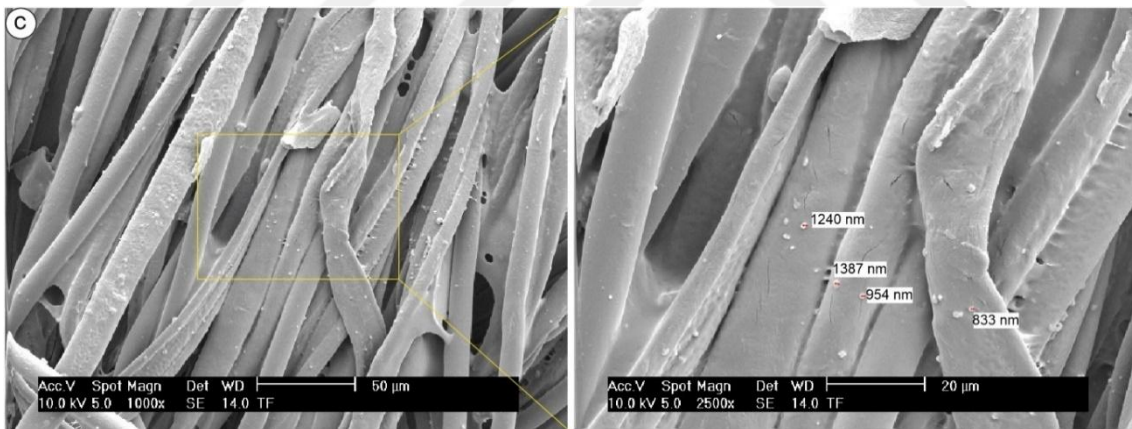
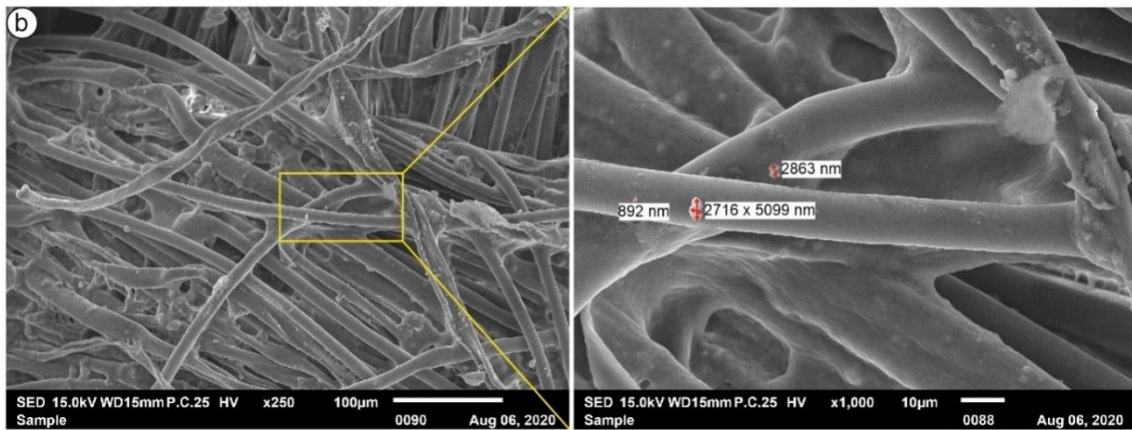
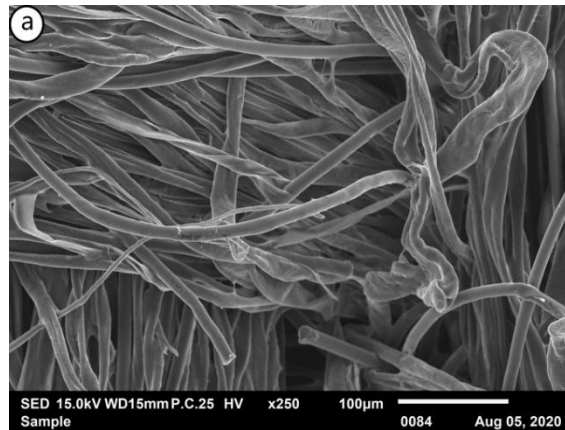


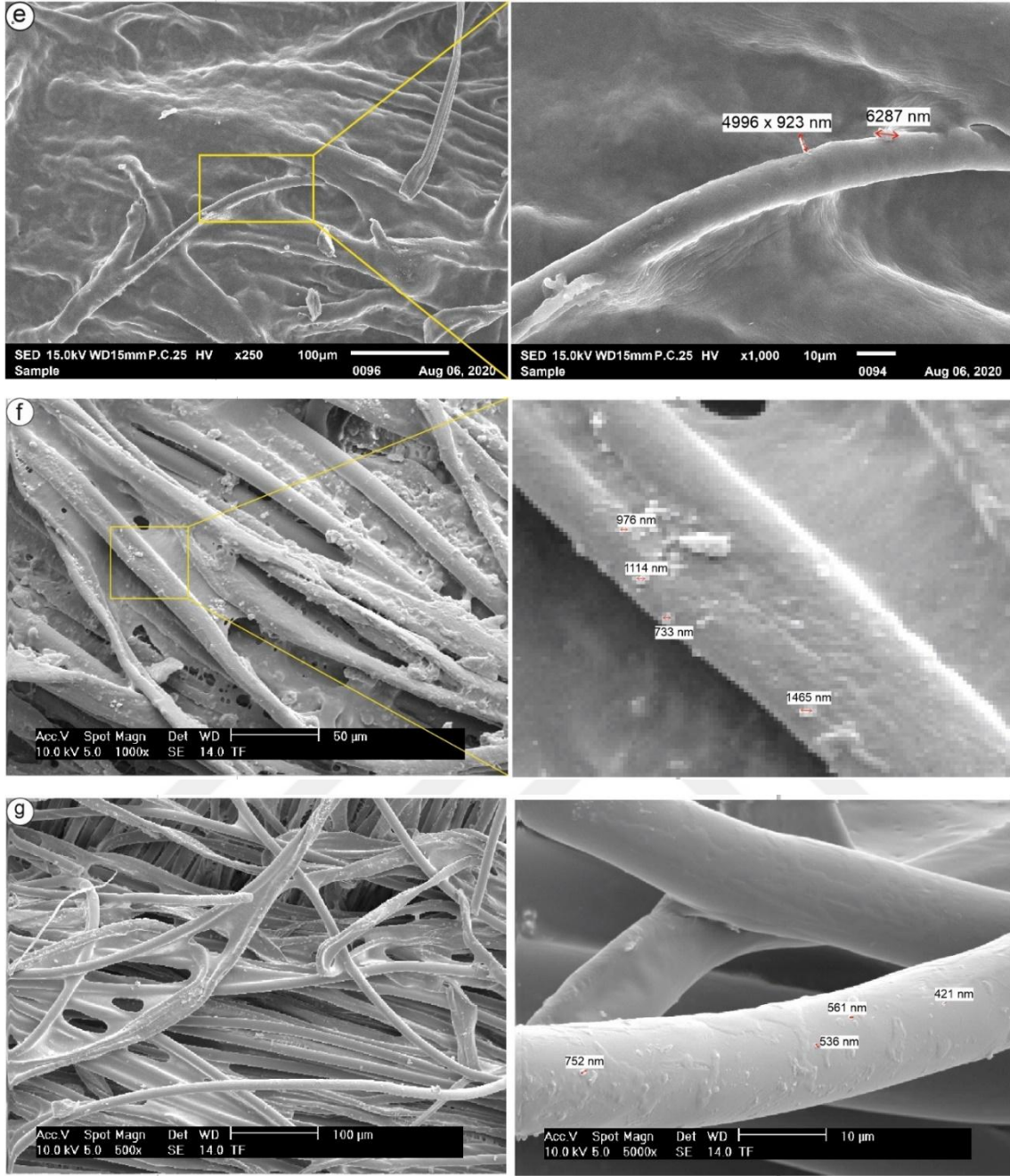


Şekil 4. 2. %100 Yün kumaşların SEM görüntüleri. a-BİK, b-TiO₂, c-CeO₂, d-MgO, e-Al₂O₃, f-SiO₂, g-ZnO.

Tablo 4. 2. %100 Yünlü kumaş kaplamaların morfolojik özellikleri

Kaplama Türü	Biyoseramik Partikül Boyutlarının (kümeleşmiş) En Küçük ve En Büyük Sayısal Değerleri (nm)	Dağılım Şekli
TiO ₂	424 - 900	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
CeO ₂	255 - 2131	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
MgO	446 - 1455	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
Al ₂ O ₃	3898 - 20557	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
SiO ₂	1423 - 3122	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
ZnO	1565- 7035	Homojen olmayan, değişken büyüklükler

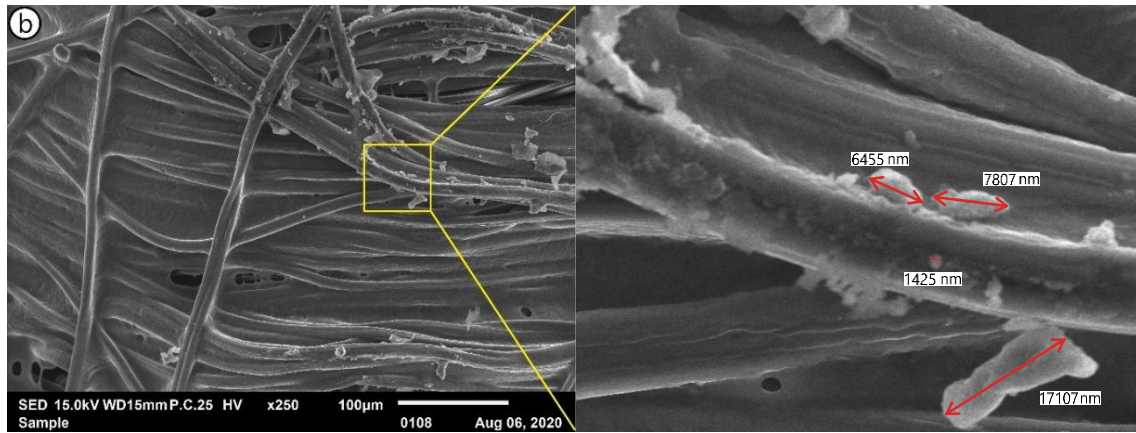


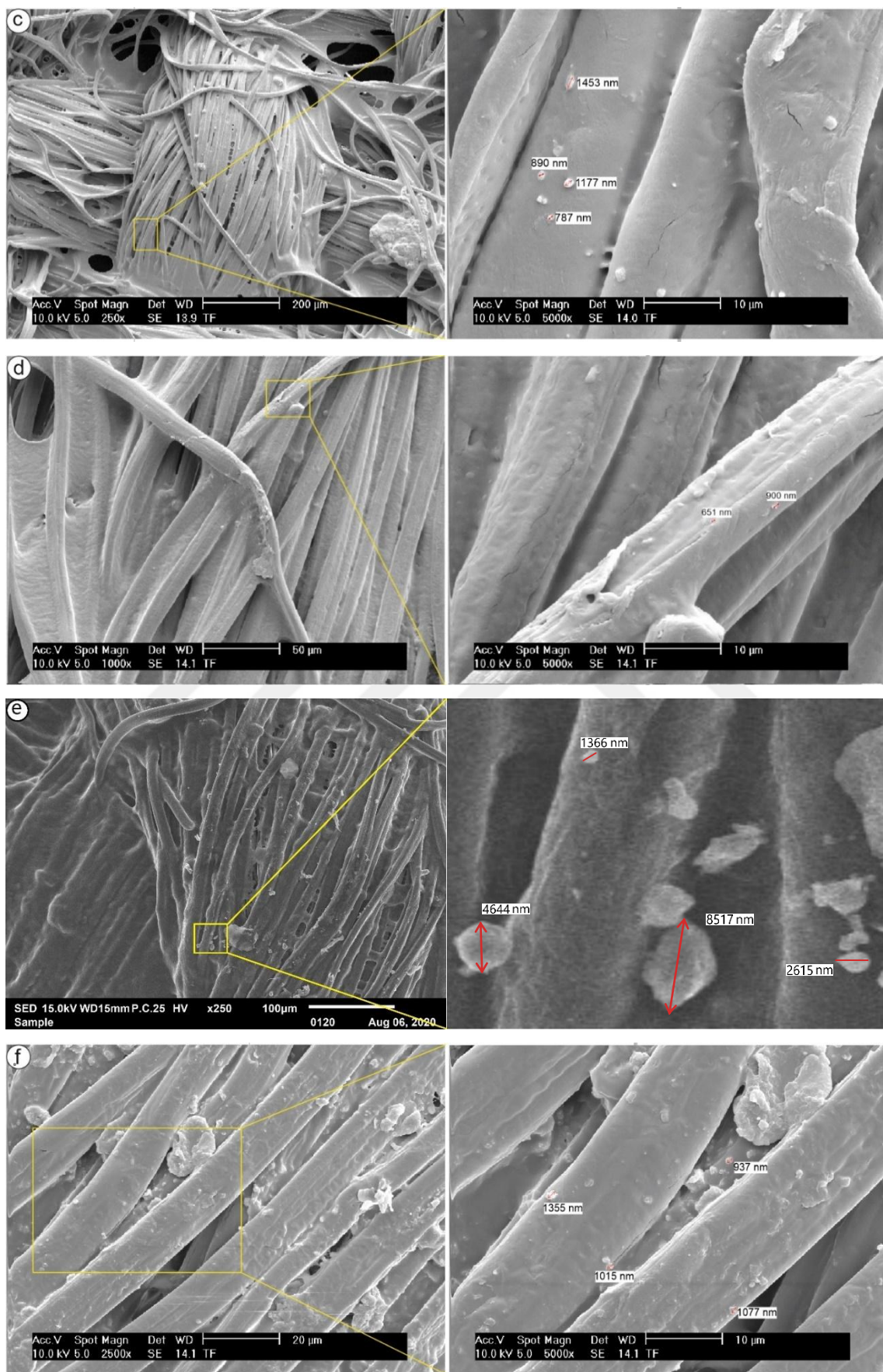


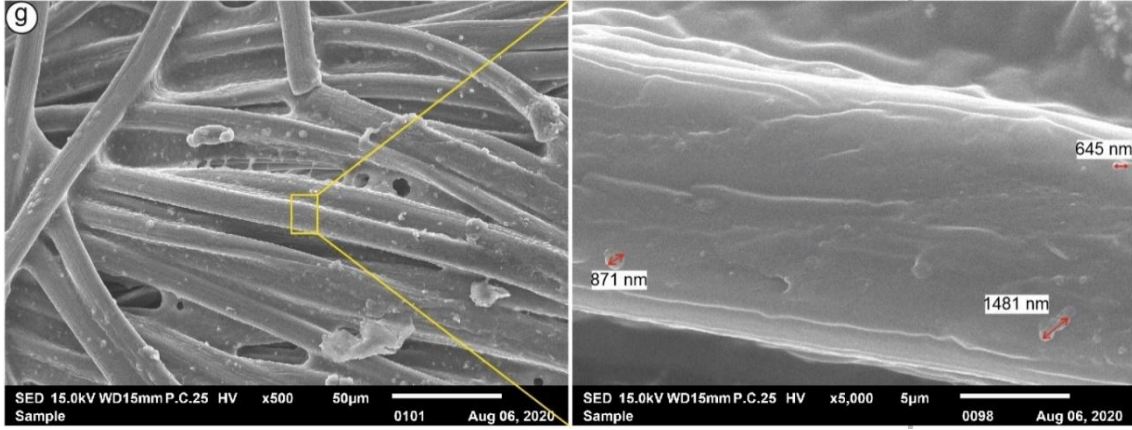
Şekil 4. 3. %50-50 Pamuk/Polyester kumaşların SEM görüntüleri. a-BİK, b- TiO_2 , c- CeO_2 , d- MgO , e- Al_2O_3 , f- SiO_2 , g- ZnO .

Tablo 4. 3. %50/50 Co/PES kumaş kaplamaların morfolojik özellikleri

Kaplama Türü	Biyoseramik Partikül Boyutlarının (kümeleşmiş) En Küçük ve En Büyük Sayısal Değerleri (nm)	Dağılım Şekli
TiO ₂	892 - 5099	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
CeO ₂	833 - 1387	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
MgO	875 - 4162	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
Al ₂ O ₃	923 - 6287	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
SiO ₂	733 - 1465	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
ZnO	421- 752	Homojen olmayan, değişken büyüklükler



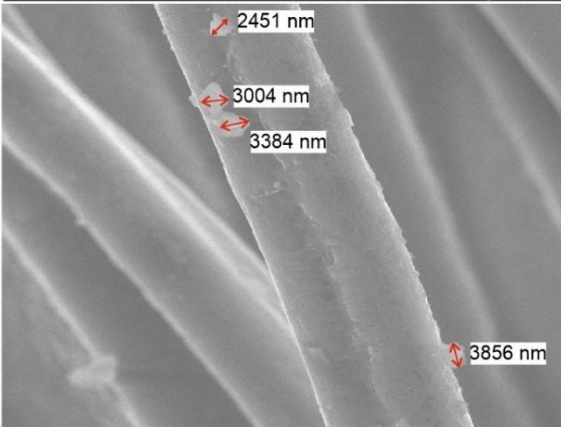
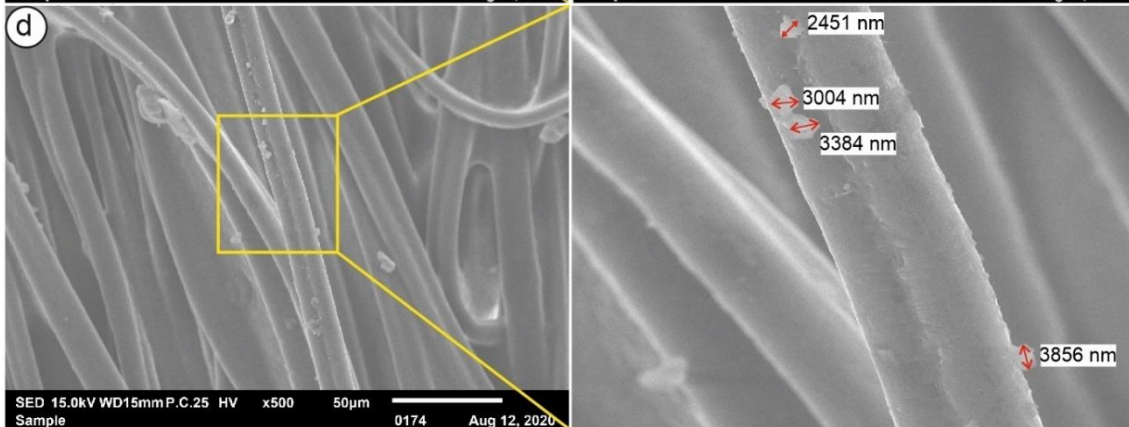
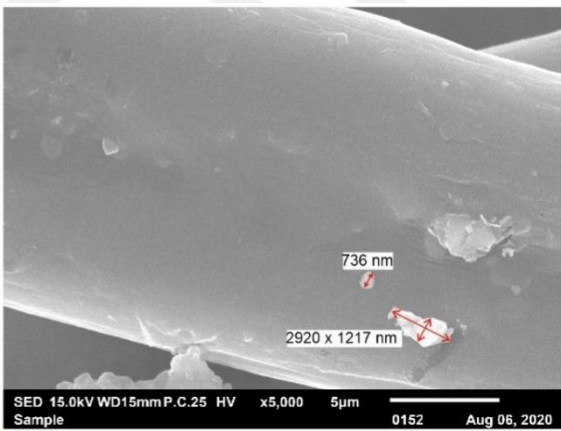
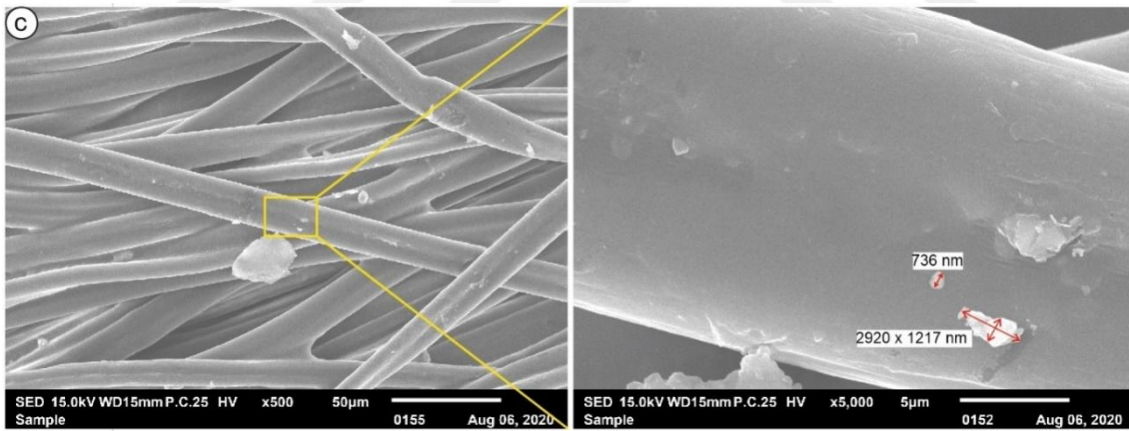
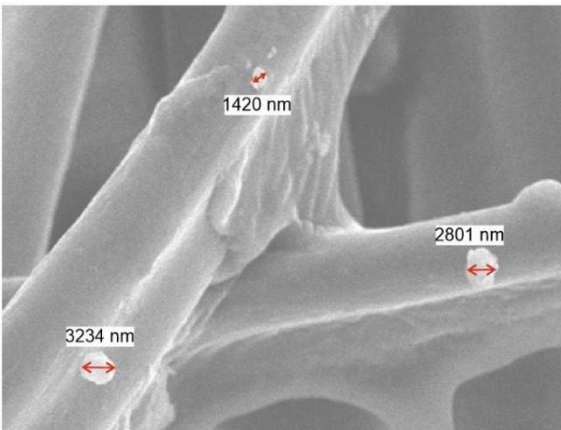
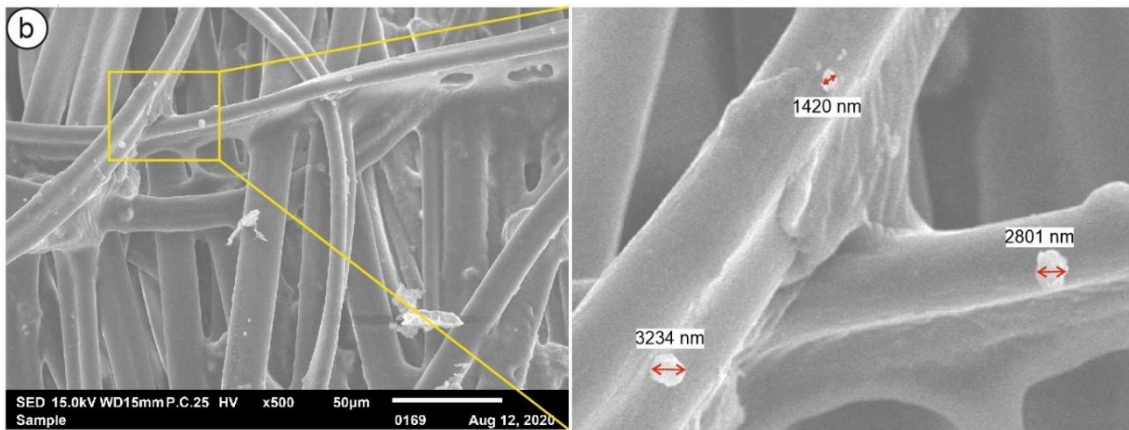
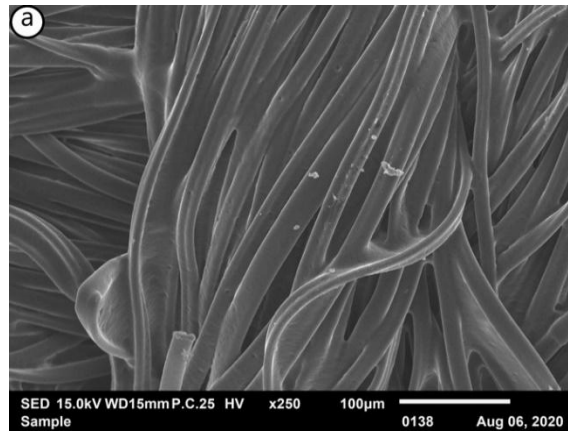


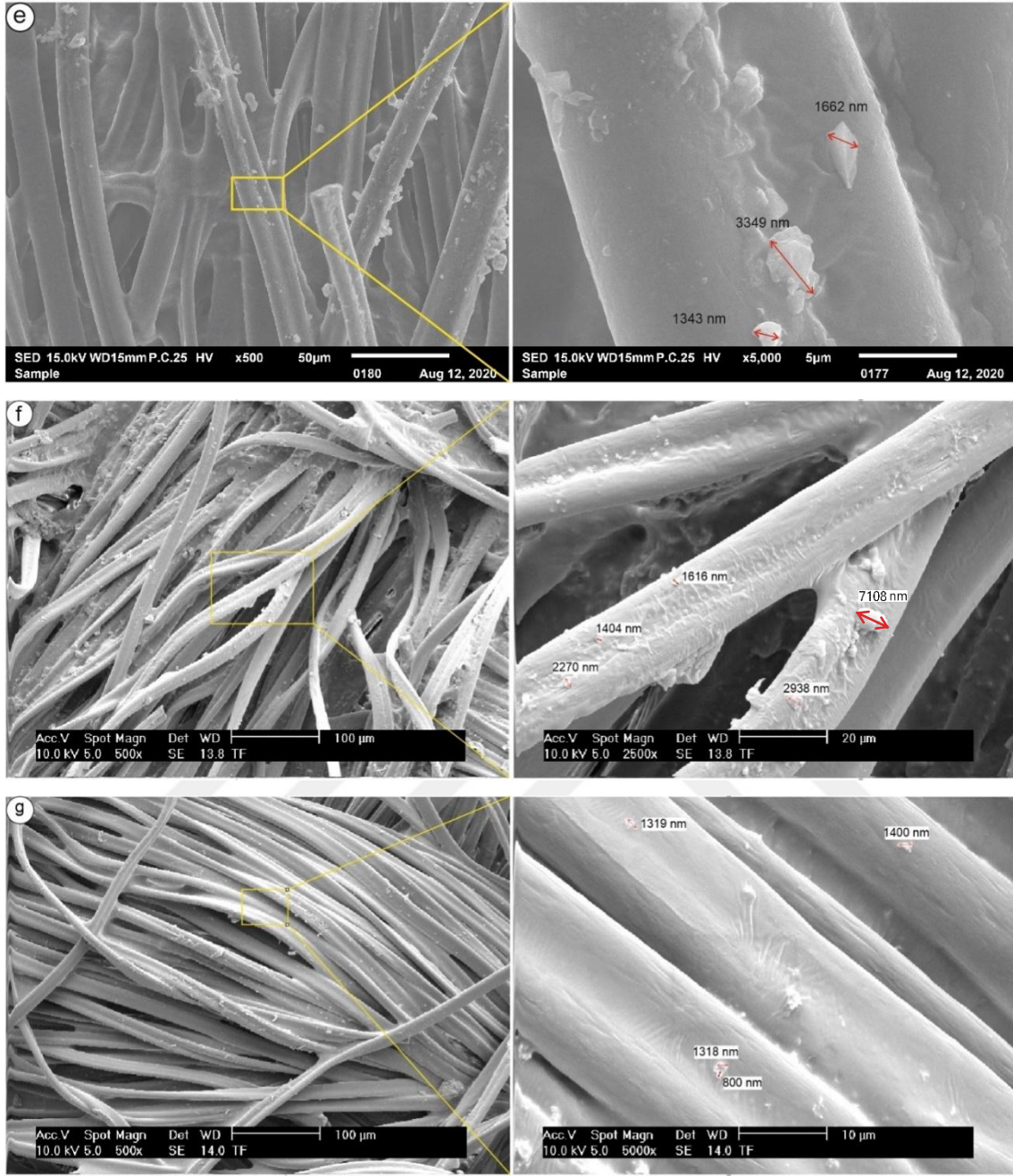


Şekil 4. 4. %100 Viskon kumaşların SEM görüntüleri. a-BİK, b- TiO_2 , c- CeO_2 , d- MgO , e- Al_2O_3 , f- SiO_2 , g- ZnO .

Tablo 4. 4. %100 Viskon kumaşların morfolojik özellikleri

Kaplama Türü	Biyoseramik Partikül Boyutlarının (kümeleşmiş) En Küçük ve En Büyük Sayısal Değerleri (nm)	Dağılım Şekli
TiO_2	1425 - 17107	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
CeO_2	787 - 1453	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
MgO	651 - 900	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
Al_2O_3	1366 - 8517	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
SiO_2	937 - 1355	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
ZnO	645 - 1481	Homojen olmayan, değişken büyüklükler





Şekil 4. 5. %100 Akrilik kumaşların SEM görüntüleri. a-BİK, b- TiO₂, c- CeO₂, d- MgO, e- Al₂O₃, f- SiO₂, g- ZnO.

Tablo 4. 5. %100 Akrilik kumaşların morfolojik özellikleri

Kaplama Türü	Biyoseramik Partikül Boyutlarının (kümeleşmiş) En Küçük ve En Büyük Sayısal Değerleri (nm)	Dağılım şekli
TiO ₂	1420 - 3234	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
CeO ₂	736 - 2920	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
MgO	2451 - 3856	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
Al ₂ O ₃	1343 - 3349	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
SiO ₂	1404 - 7108	Homojen olmayan, değişken büyüklükler
ZnO	800 - 1400	Homojen olmayan, değişken büyüklükler

Tüm numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde partiküllerin agregasyon (kümeleşme) oluşturduğu ve homojen dağılmadığı gözlenmiştir. Biyoseramik partiküllerin tanecik boyutlarının katalog değerleri (Bkz. Tablo 3.3) ile SEM görüntülerinden ölçülen tanecik boyutları karşılaştırıldığında kaplama yapıldıktan sonra partikül boyutlarının arttığı gözlenmiştir. Bu farklılığın kaplama reçinesinin su içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Su kullanılarak hazırlanan kaplama reçinesinde biyoseramik partiküller kümeleşme/agregasyon eğilimi göstermiştir. Bunun nedenini, suyun yüksek polaritesi nedeniyle seramik partiküllerin topaklanma eğilimi göstermesi şeklinde açıklayabiliriz [93]. Aynı zamanda kaplama reçinesi hazırlanırken karıştırma işlemi mekanik karıştırıcı/mikser ile yapılmıştır. Karıştırma işleminin mekanik karıştırıcı ile yapılması da agregasyon oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir [94, 95]. Bu nedenle, biyoseramik partikül dağılımı ve büyüklüklerin homojen olmadığı tüm kaplanmış kumaşlarda tespit edilmiştir.

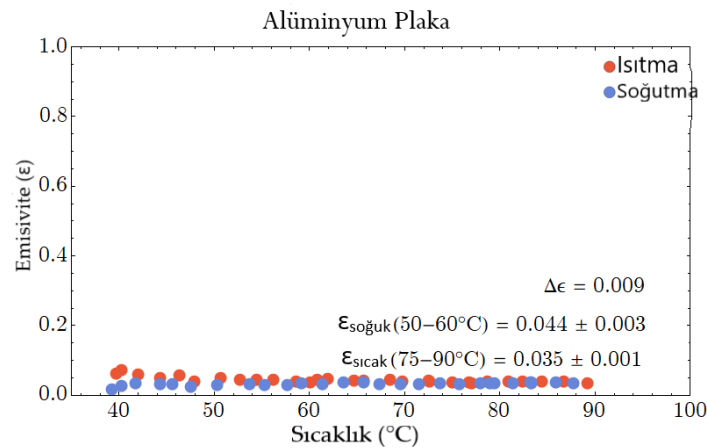
4.2. Emisivite Ölçüm Sonuçları

Emisivite ölçümleri, IR kamera ve ATR FTIR kullanılarak iki farklı yöntemle yapılmıştır. IR kamera ölçümleri İtalya'nın Roma şehrinde bulunan Sapienze Üniversitesi Mühendislik Temel ve Uygulamalı Bilimler bünyesinde

gerçekleştirilmiştir. Diğer yöntemde, ATR FTIR kullanılarak ölçülen absorptans, reflektans ve transmittans verileri mathematica yazılımı ile Plank denklemi kullanılarak numunelerin emisivite değerleri hesaplanmıştır. ATR FTIR ölçümleri de Erzurum Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM) bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. IR kamera ile ölçülen emisivite sonuçları

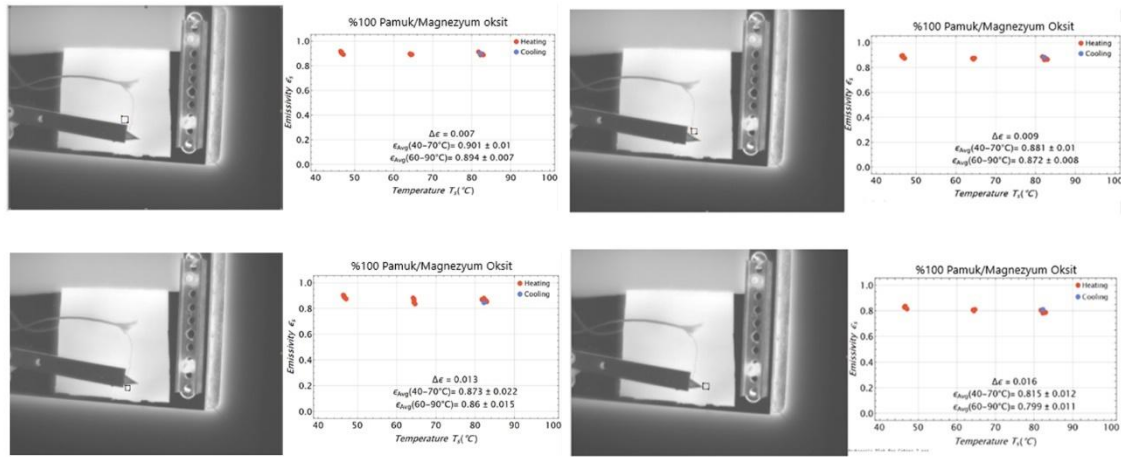
Kumaşların emisivite değerlerinin ölçümünden önce, ölçüm aletinin güvenilirliğini değerlendirmek için cihaz kalibrasyonuna yönelik olarak ilk etapta cihazda yer alan parlak alüminyum plakanın emisivitesi ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda elde edilen değerler literatürdeki değerler ile uyumlu olup, bu değerler 0,035-0,044 ϵ aralığındadır [10, 96]. Şekil 4.6'da alüminyum plakanın sıcak ve soğuk ortamda ölçülen emisivite değerleri verilmiş olup, ölçüm sonuçlarına göre 50-60 °C'de (soğuk ortam) ölçülen emisivite değerleri, 75-90 °C (sıcak ortam) ölçülen emisivite değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak iki değer arasındaki fark düşük olduğu için ($\Delta\epsilon=0,009$) bu sonuç veya aradaki fark göz ardı edilebilir. Bu değerler göz önüne alındığında sıcaklık farkının emisivite değerlerini etkilemediği söylenebilir. Daha önce yapılan çalışmalarda da, 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, sıcaklık farkının emisivite üzerinde kayda değer bir fark oluşturmadığı belirtilmiştir [66].



Şekil 4. 6. Alüminyum plakanın sıcaklığa bağlı emisivite değerleri.

Kumaşların termografik görüntüleri Mathematica© yazılımı kullanılarak elde edilmiş olup, böylece ortalama emisyonun hesaplanacağı alanı seçebilecek görünür bir sıcaklık haritası elde edilmiştir. Görünür sıcaklık haritasında kumaş üzerinde bir nokta seçilmiş

ve ardından yazılım iki sıcaklık aralığında (40-70 °C ve 60-90 °C) seçilen alana göre ortalama emisyonu gösteren bir histerezis grafiği mathematica yazılım programı tarafından üretilmiştir. Bu proses cihazda bulunan sıcaklık ölçer (termokupl) yakınındaki alanda dört kez uygulanmış ve her seferinde daha düşük standart sapmaya sahip en uygun emisivite alanı tespit edilerek değerler bu bölgeden alınmıştır. Buna istinaden Şekil 4.7’de örnek olarak, %100 pamuk/magnezyum oksit ile kaplı kumaşın dört farklı yerinden görseli alınmış ve elde edilen emisivite değerleri aşağıda verilmiştir.



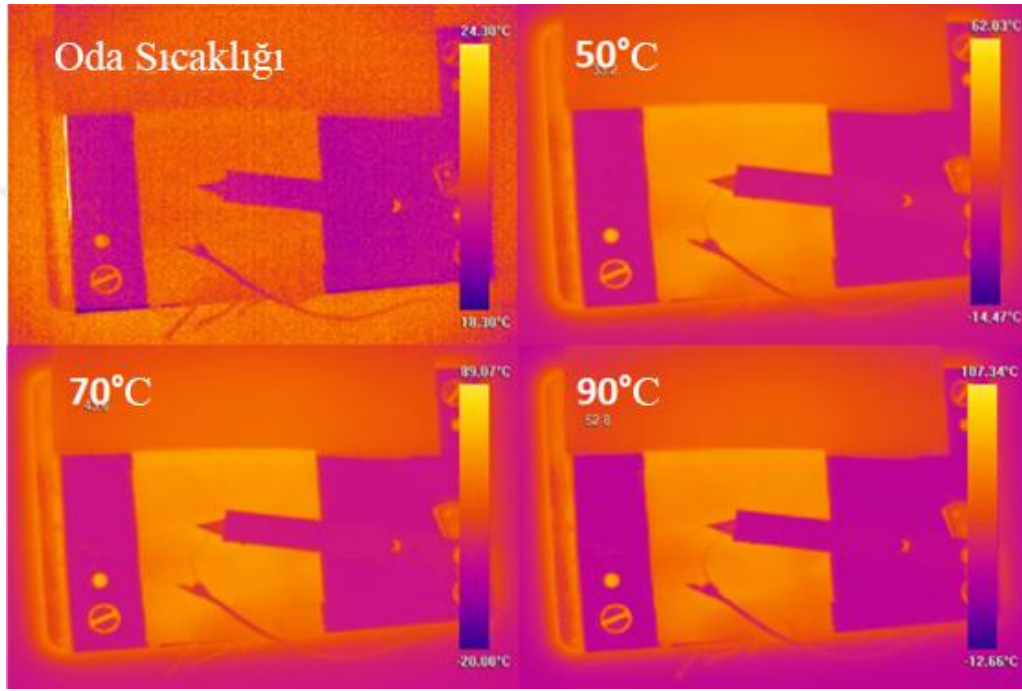
Şekil 4. 7. Kumaşın dört farklı yerinden alınan emisivite ölçüm görseli ve değişen sıcaklığa bağlı ölçülen emisivite değerleri (%100 Pamuk/MgO örneği).

Numune, ilk etapta mevcut oda sıcaklığında (23,8 °C) bulunan ölçüm cihazına yerleştirilir ve ölçümler, sırasıyla 50 °C, 70 °C ve 90 °C’de ısıtma plakasının artan sıcaklığında termografik görüntüler kaydedilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8). Plaka ilk etapta 50 °C’ye ısıtılır ve ayarlanan sıcaklığa kumaşın da ulaşması için 5 dakika beklenir. Beşinci dakika sonunda ilk ölçüm yapılır ve iki ölçüm arasında 1 dakika olacak şekilde beş farklı ölçüm gerçekleştirilir.

Ölçüm sıcaklığının oda sıcaklığının üzerinde yapılmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Numune ısıtıldığında yayılan IR radyasyonu numune ve çevreden olmak üzere iki ana kaynaktan gelmektedir. Numunenin sıcaklığı oda sıcaklığından daha yüksekse çevreden gelen ihmal edilebilir ve sonuç olarak çevrenin emisyon ölçümündeki etkisi azalır [92].
- Numune ve oda sıcaklıkları arasındaki fark en az 20 °C olduğunda emisivite ölçümünün doğruluğu artar [97].

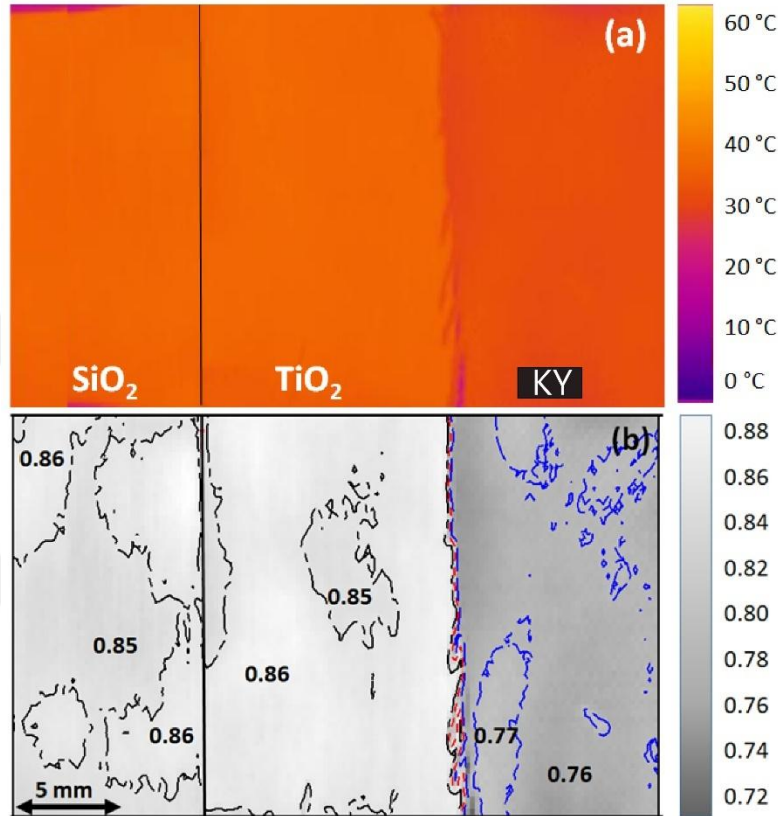
- Standart tekstil emisyonunun, 20 °C ila 80 °C aralığındaki sıcaklıkta ve düşük nemli koşullarda sabit olması beklenir. Bu nedenle, oda sıcaklığına göre nispeten yüksek sıcaklıklarda ısıtılmış numunelerden gelen IR sinyallerini ölçerek numune emisyonunu tahmin etmek uygundur.
- Metal bazlı tekstiller [98, 99], termokromik veya faz değiştiren malzeme içeren tekstiller [100] ve düzenli yapıli metayüzey malzemeler, sıcaklığa bağıli değışken emisyon sergileyebilir [101].



Şekil 4. 8. Kaplama yapılmamış %100 pamuklu numunenin artan sıcaklıkta IR kamerada görünen sıcaklığı.

Termokupl ve IR kamerada ölçülen sıcaklık farklılıklarını vurgulamak için birbirine yakın yerleştirilmiş üç akrilik kumaş numunesi (SiO_2 , TiO_2 ve KY) arasındaki karşılaştırma Şekil 4. 9’da verilmiştir. Şekil 4.9 (a), termokupl tarafından ölçülen gerçek sıcaklığın 45 °C olduğu üç tekstilin IR kamerada görünen sıcaklığını göstermektedir. Aynı sıcaklıkta olmalarına rağmen kaplama yapılmamış (KY) akrilik kumaşın kaplanmış kumaşlardan daha düşük görünen bir sıcaklığa karşılık gelen koyu turuncu bir renk sergilediğı skaladan görülebilir. Gerçek sıcaklıkları (45 °C) aynı olmalarına rağmen kaplama yapılmamış akrilik kumaşın IR kamerada görünen sıcaklık değeri daha düşük olması, bu kumaşın TiO_2 ve SiO_2 ile kaplama yapılmış akrilik kumaştan daha düşük emisiviteye sahip olduğunun göstergesidir [98]. Veri işlemeden sonra

(Mathematica©) Şekil 4.9 (a)'da görünen sıcaklık haritası Şekil 4.9 (b)'deki salım gücü haritasına dönüştürülmüştür. Haritalardan görüldüğü üzere, SiO_2 ve TiO_2 biyoseramik partikül varlığının emisivite değerlerini yükselttiği ölçülmüş ve kumaş üzerinde farklı bölgelerden elde edilen emisivite verilerinin de birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Buradan hareketle, çalışmada elde edilen emisivite verilerinin güvenilirliğinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. 9. Termokuplda 45 °C sıcaklıkta ölçülen üç numunenin IR kameradaki görünüşleri ve emisivite haritaları. (a) Aynı sıcaklıktaki üç numunenin IR kamera altında görüntüleri, (b) Üç numunenin dönüştürülmüş emisivite haritaları.

Kumaş üzerinde dört farklı alanda ölçüm yapıldıktan sonra standart sapma değeri en düşük olan kumaş alanı seçilmiş ve 40-90 °C aralığındaki ortalama emisivite değerleri ölçülmüştür. Bu şekilde; 40-90 °C aralığındaki her sıcaklık için bir emisivite haritası elde edilmiştir. İncelenen 40 adet numunenin, sırasıyla 50-70-90 °C değerleri arasındaki bağıl renk skalasını içeren emisivite haritaları Ek-1'de (Bkz. Syf:121-131) verilmiştir.

Kumaşların seçilen bölgedeki emisivite haritaları incelendiğinde, biyoseramik partikül içeren kumaşların açık renkli bölge oranı, kaplanmamış veya biyoseramik partikül

içermeyen kaplama yapılmış (BİK) kumaşlara oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Renk skalaları incelendiğinde ise açık renge doğru gidildikçe emisivite değerleri artmaktadır. Bu nedenle biyoseramik partikül içeriğinin kumaşların emisivite değerlerini yükselttiği söylenebilir.

Çalışmada incelenen tüm numunelerin ölçülen ortalama emisivite değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir. Tablo incelendiğinde, biyoseramik partiküllerin kumaşlara eklenmesiyle 8-14 μm dalga boyu aralığında numunelerin %90’ında emisivite değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

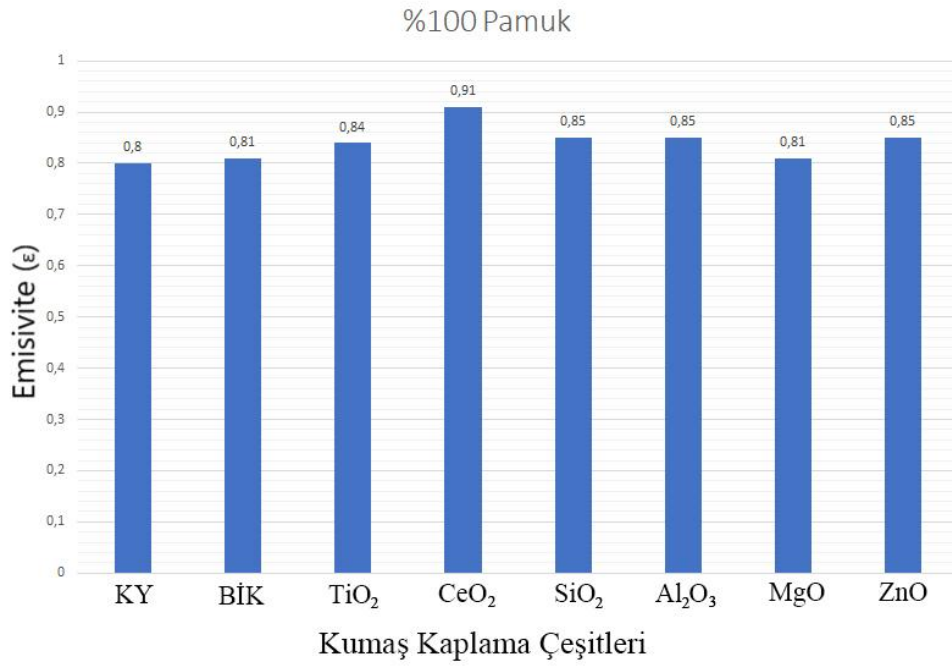
Tablo 4. 6. IR Kamera ile ölçülen kumaş ve kaplamaların emisivite (ϵ) değerleri

	KY	BİK	TiO ₂	CeO ₂
%100 Pamuk	0,80	0,81	0,84	0,91
%100 Wool	0,75	0,84	0,83	0,88
%50-50 Pamuk-PES	0,84	0,85	0,83	0,84
%100Viskon	0,84	0,86	0,86	0,91
%100 Akrilik	0,76	0,76	0,86	0,85
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	ZnO
%100 Pamuk	0,85	0,85	0,81	0,85
%100 Wool	0,81	0,84	0,83	0,86
%50-50 Pamuk-PES	0,83	0,90	0,87	0,86
%100 Viskon	0,88	0,93	0,88	0,91
%100 Akrilik	0,85	0,83	0,84	0,84

4.2.1.1. %100 Pamuklu kumaşların emisivite değerleri

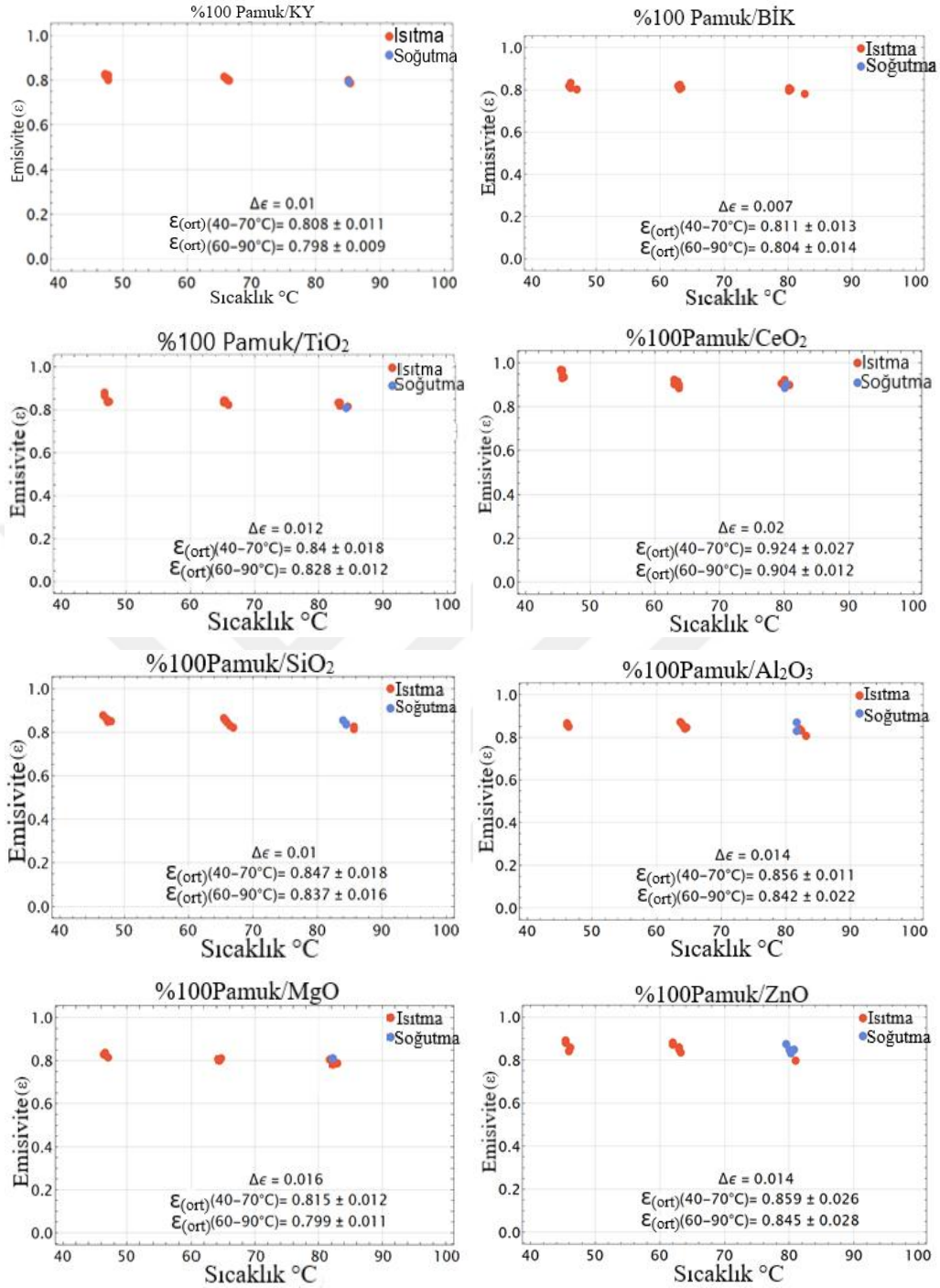
Pamuklu kumaşların emisivite değerleri karşılaştırıldığında en yüksek emisivite değerinin CeO₂ ile kaplanmış kumaşlarda, en düşük emisivite değerlerinin ise kaplama yapılmamış kumaşlarda olduğu görülmüştür (Şekil 4.10).

Kaplama yapılmamış ve biyoseramik nanopartikül içermeyen kaplanmış kumaşların en düşük emisivite değerine sahip olması neticesinde biyoseramik toz içeriğinin pamuklu kumaşlarda uzak kızılötesi yayıcılığı (FIR) arttırdığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. 10. %100 Pamuklu kumaşın emisivite değerleri.

Tüm numunelerin emisivite değerleri ölçülürken iki farklı sıcaklık aralığında üç ölçüm verisi elde edilmiştir. %100 Pamuklu numunelerin ortalaması alınırken 40-70 °C (soğukta) ve 60-90 °C’lerde (sıcakta) iki sıcaklık aralığında histerezis grafiği elde edilmiş ve Şekil 4.11’de bu grafikler verilmiştir. Burada sıcak ve soğuk kavramından kastedilen ölçümü yapılan kumaşın sıcaklık değeridir.



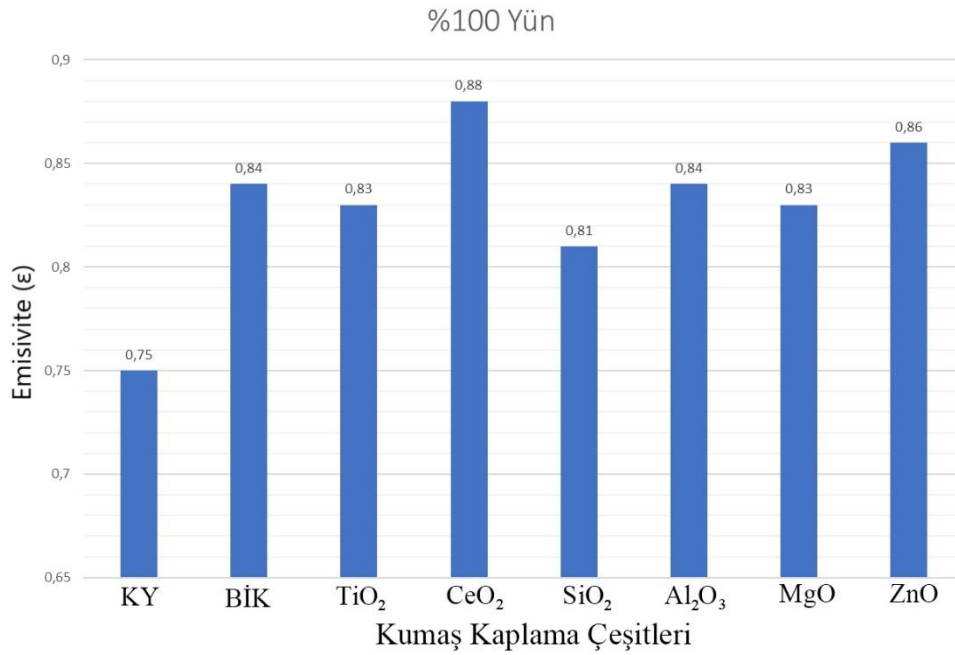
Şekil 4. 11. %100 Pamuklu Kumaşların Histerizis Grafikleri.

Şekil 4.11’de verilen histerizis grafikleri incelendiğinde, ölçümlerin tümünde 40-70 °C aralığındaki emisivite değerlerinin 60-90 °C aralığından yüksek olduğu görülmüştür. Ancak bu farkın ($\Delta\epsilon$) çok düşük olduğu ve pamuklu kumaşlarda sıcaklık farkının emisivite değerleri üzerinde önemli bir fark yaratmadığı söylenebilir. Sıcaklık farkının

emisivite üzerinde etkisinin düşük olduğu daha önceki çalışmalarda da ortaya konmuştur [66, 74].

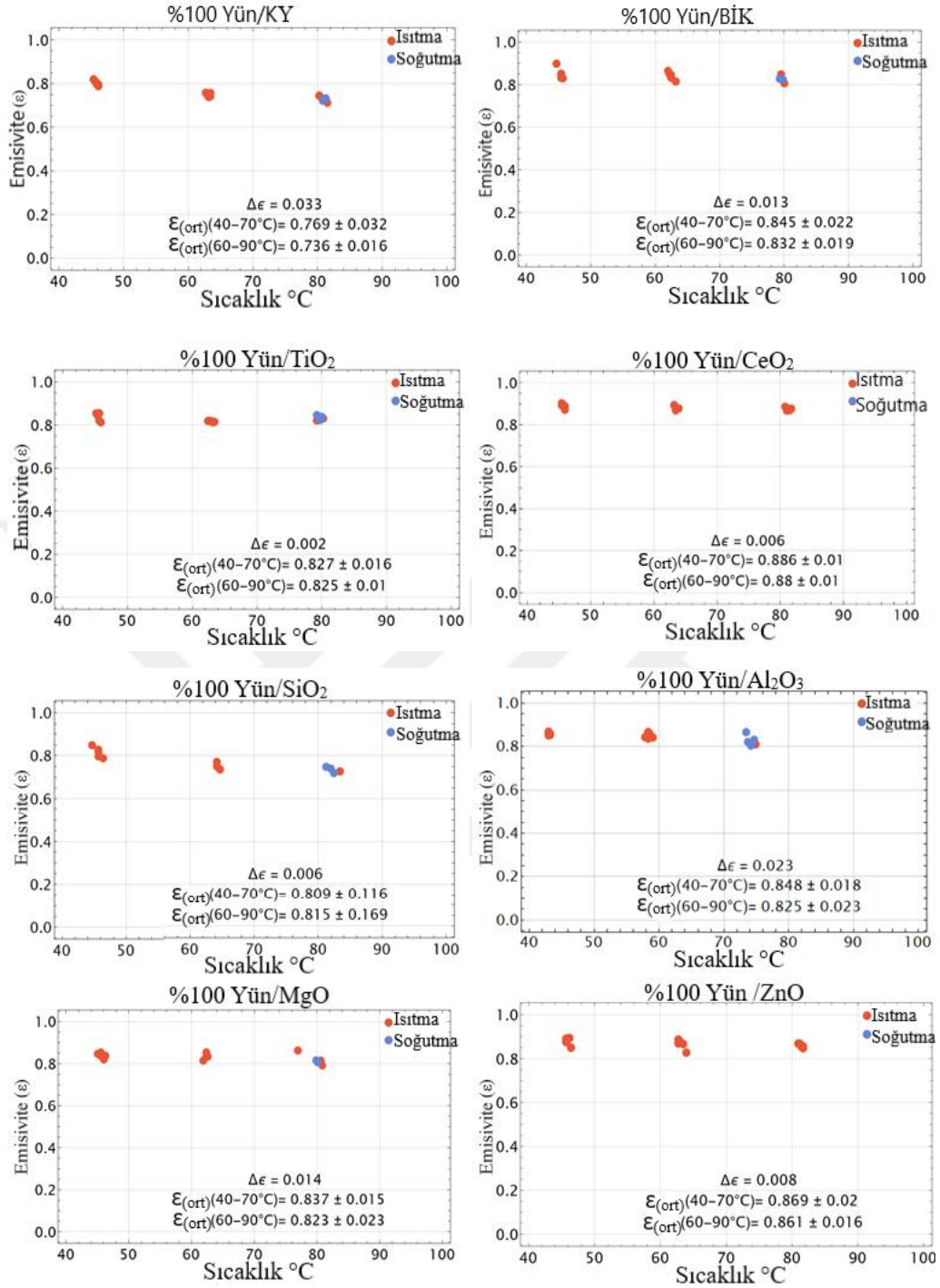
4.2.1.2. %100 Yün kumaşların emisivite değerleri

Yün kumaşlar incelendiğinde en yüksek emisivite değerinin CeO_2 ile kaplı numunelerde, en düşük değer ise kaplama yapılmamış kumaşlarda olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.12). Ayrıca, emisivitenin en fazla değişim gösterdiği kaplamaların yünlü kumaşlar olduğu hesaplanmıştır (Kaplama yapılmamış kumaşa göre ortalama yüzdesel değişim miktarı: %12). Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre nem içeriği artan toprağın emisivite değerleri de yüksek çıkmıştır [133]. Bu nedenle, yünlü kaplanmış kumaşların emisivite değişimlerinin diğer lif türlerine göre yüksek çıkması, yün liflerinin yüksek nem çekme yeteneğine sahip olması ile açıklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4. 12. Yünlü kumaşların emisivite değerleri.

Yünlü numunelerin sıcaklığa bağlı emisivitelerinin histerizis grafikleri Şekil 4.13’de verilmiştir.



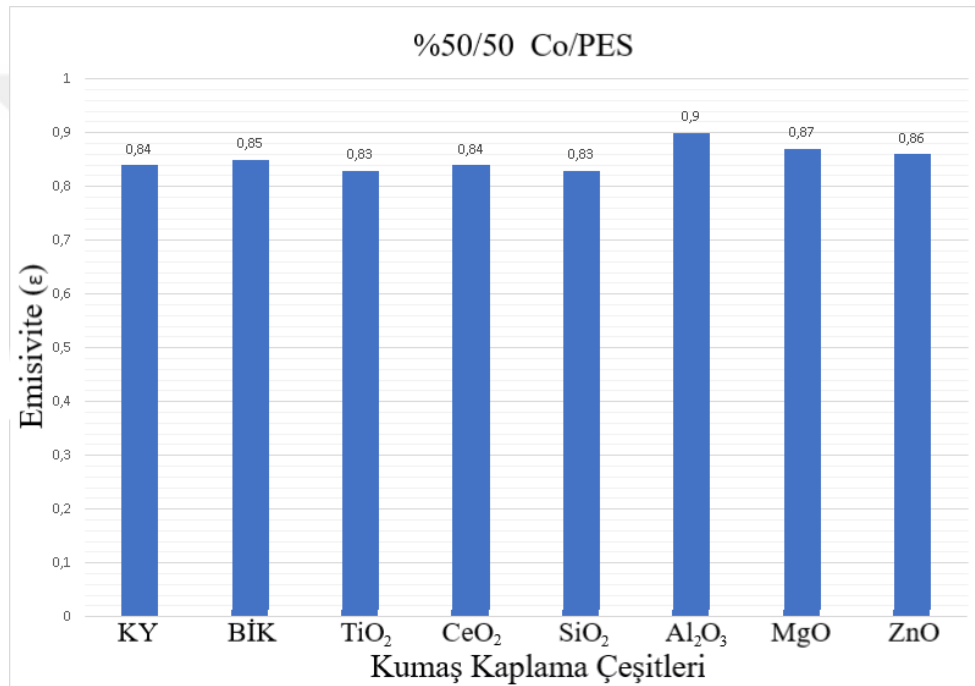
Şekil 4. 13. %100 Yün kumaşların histerizis grafikleri.

Yünlü numunelerin histerizis grafikleri incelendiğinde, 40-70 °C aralığındaki emisivite değerlerinin, 60-90 °C aralığından yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum Yün/SiO₂ kaplı kumaşa ise 60-90 °C aralığında 40-70 °C'ye göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak aradaki emisivite farklarının düşük değerlerde ($\Delta\epsilon_{(max)}=0,023$) olmasından dolayı

sıcaklık değişimlerinin yünlü kumaş kaplamalarında da fark yaratmadığı sonucuna varılabilir.

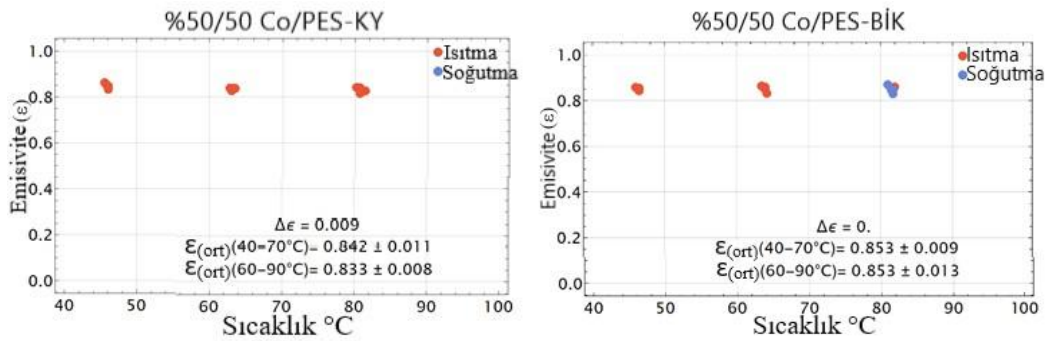
4.2.1.3. %50/50 Pamuk/polyester kumaşların emisivite değerleri

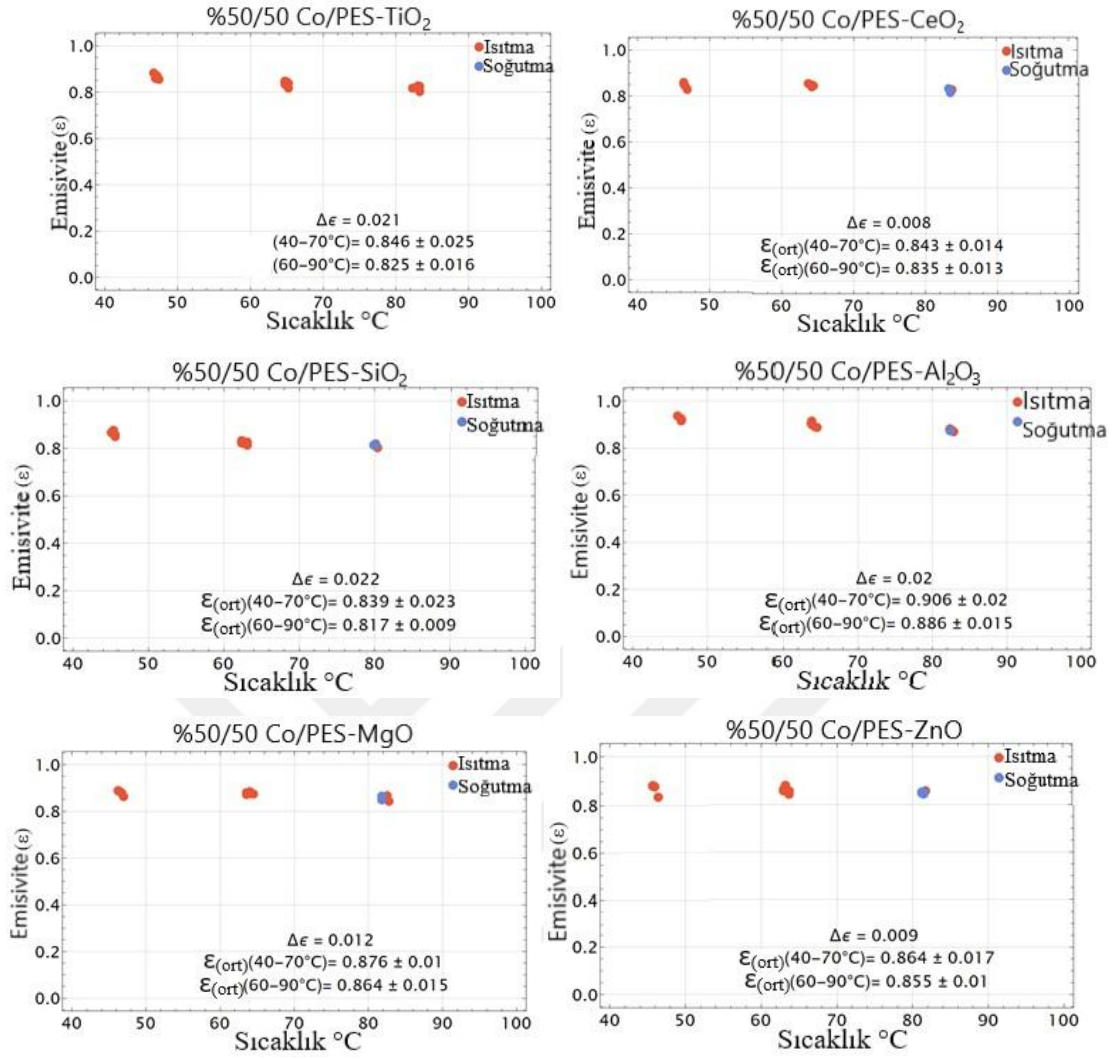
Şekil 4.14 incelendiğinde pamuk/polyester karışım kumaşların en yüksek emisivite değeri Al_2O_3 ile kaplı numunelerde, en düşük emisivitenin ise TiO_2 ve SiO_2 ile kaplı numunelerde olduğu gözlenmiştir. Biyoseramik toz içermeyen kaplamanın yüksek emisivite değeri, kaplama kimyasalı içerisinde bulunan bağlayıcının (binder) emisivite değerini arttırması ile açıklanabilir [66, 102].



Şekil 4. 14. %50/50 Co/PES kumaşların emisivite değerleri.

Şekil 4.15’de %50/50 Co/PES numunelerin sıcaklığa bağlı emisivitelerinin histerizis grafikleri verilmiştir.



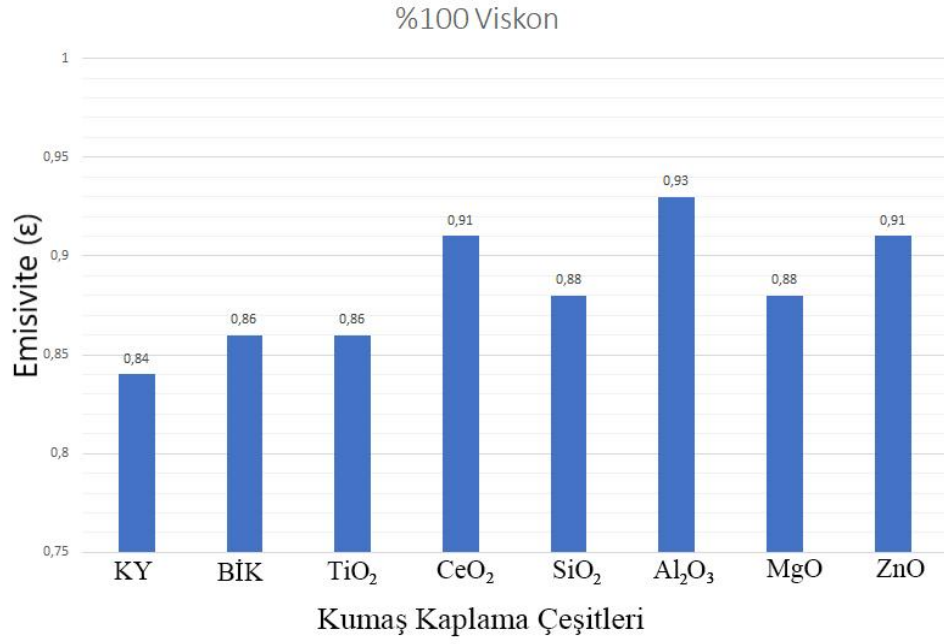


Şekil 4. 15. %50/50 Co/PES kumaşların histerizis grafikleri.

Şekil 4.15 incelendiğinde, 40-70 °C aralığındaki emisivite değerlerinin 60-90 °C aralığındaki emisivite değerlerinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu değerlerin önceki ölçümlerle (%100 pamuk ve yün) uyumlu olduğu görülmüştür.

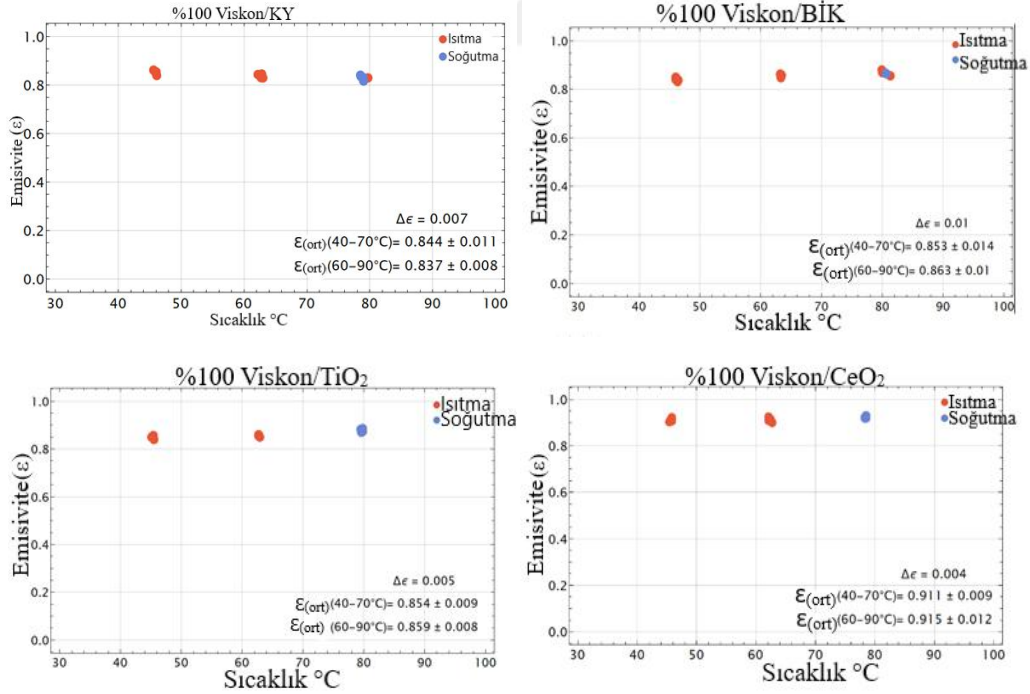
4.2.1.4. %100 Viskon kumaşların emisivite değerleri

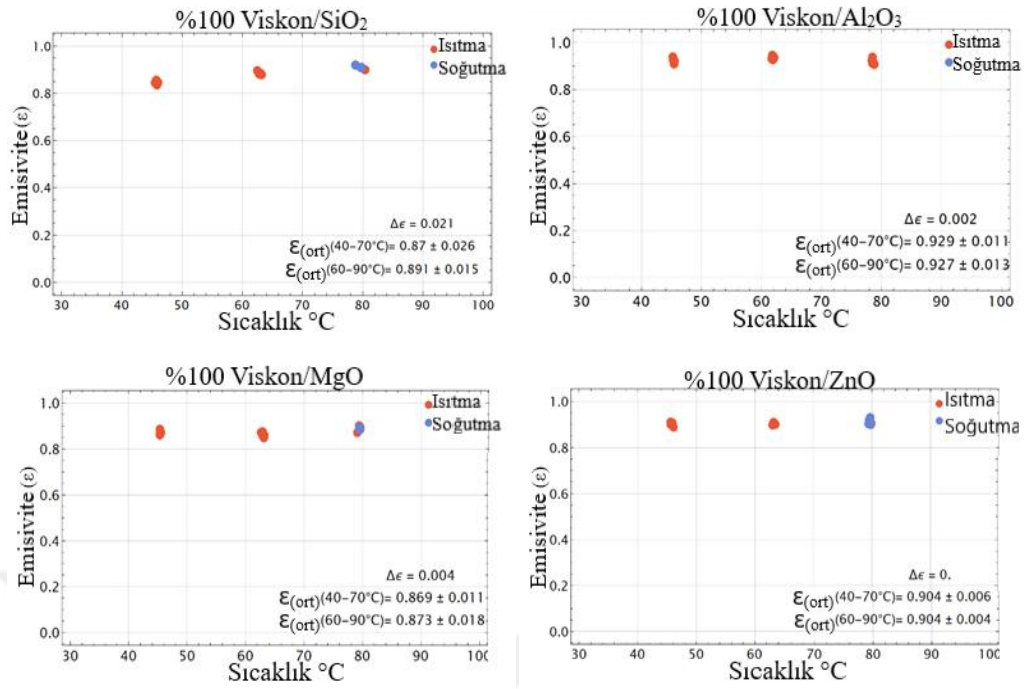
Viskon kumaşların emisivite değerleri incelendiğinde, en yüksek değer Al₂O₃ ile kaplama yapılmış kumaşlarda, en düşük değer ise kaplama yapılmamış kumaşlarda olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.16). Viskon/Al₂O₃, tüm numuneler arasında en yüksek emisivite değerine ($\epsilon=0,93$) sahip kumaş olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. 16. %100 Viskon kumaşların emisivite değerleri.

Viskon numunelerin sıcaklığa bağlı emisivitelerinin histerizis grafikleri Şekil 4.17’de verilmiştir.



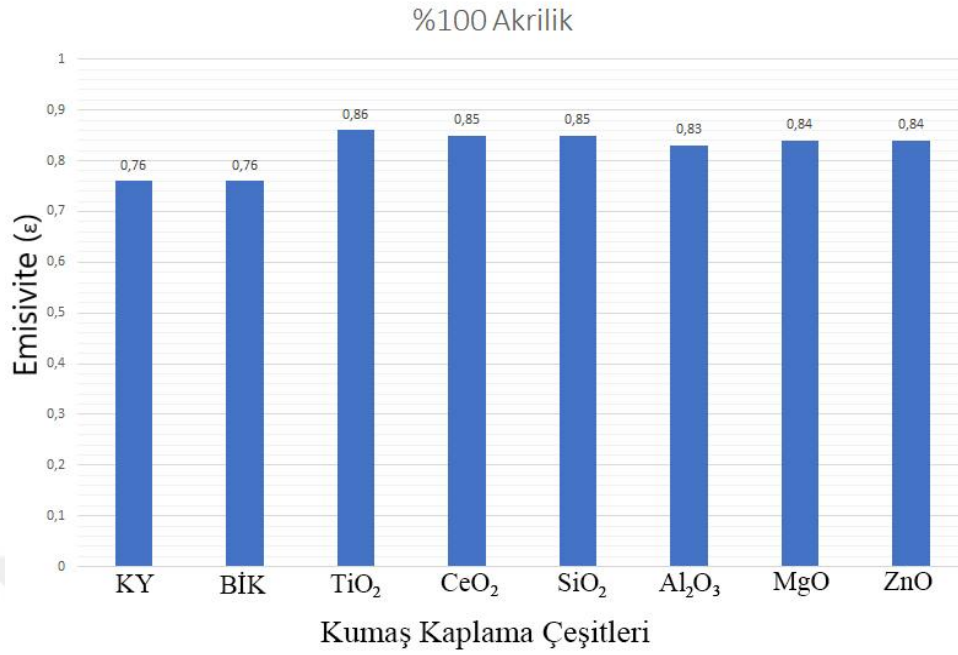


Şekil 4. 17. %100 Viskon kumaşların histerizis grafikleri.

Histerizis grafikleri incelendiğinde, viskon kumaşların sıcaklık değişimlerinin emisivite üzerindeki etkisi oldukça azdır. Bu nedenle, test edilen diğer kumaşlarda olduğu gibi sıcaklık değişimlerinin viskon kumaşların emisivite değerleri üzerinde etkisi olmadığı söylenebilir.

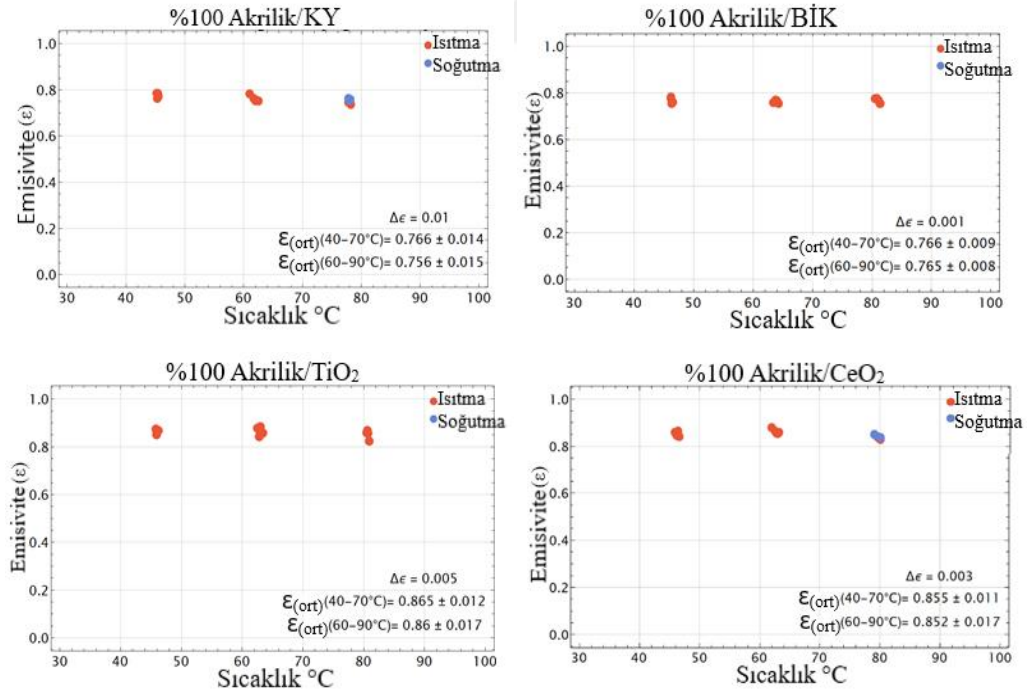
4.2.1.5. %100 Akrilik kumaşların emisivite değerleri

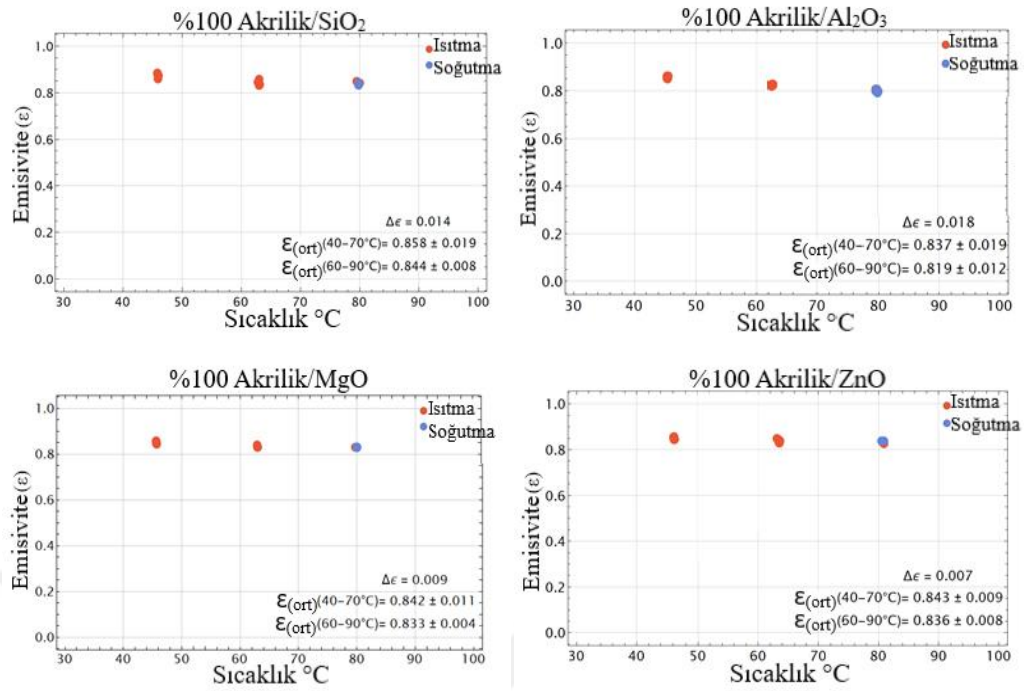
Akrilik kumaşların emisivite değerleri incelendiğinde TiO₂ ile kaplı numunelerde emisivitenin en yüksek olduğu, en düşük değer ise kaplama yapılmamış ve biyoseramik içermeyen kaplanmış numunelerde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4. 18. Akrilik kumaşların emisivite değerleri.

Akrilik numunelerin sıcaklığa bağlı emisivitelerinin histerizis grafikleri Şekil 4.19’da verilmiştir.





Şekil 4. 19. %100 Akrilik kumaşların histerizis grafikleri.

Akrilik kumaşların histerizis grafikleri incelendiğinde, tüm kumaşların 40-70 °C'deki emisivite değerlerinin, 60-90 °C aralığındaki emisivite değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 4.7'de kaplama yapılmış tüm kumaşların kaplama yapılmamış (KY) kumaşlara göre yüzdesel emisivite değişimleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde, emisivite oranlarını en fazla arttıran biyoseramik çeşidi CeO₂ olurken, en az arttıran ise MgO partikülleri olmuştur.

Tablo 4. 7. Kaplama yapılmış kumaşlarda yüzdesel emisivite değişimleri.

	Yüzde Değişim (%)				
	Yün	Pamuk	Co/PES	Akrilik	Viskon
KY	Referans	Referans	Referans	Referans	Referans
BİK	12	1,2	1,2	0	2,4
TiO₂	10,7	5	-1,2	13,2	2,4
CeO₂	17,3	13,7	0	11,8	8,3
SiO₂	8	6,2	-1,2	11,8	4,8
Al₂O₃	12	6,2	7,1	9,2	10,7
MgO	10,7	1,2	3,6	10,5	4,8
ZnO	14,7	6,2	2,4	10,5	8,3

IR Kamera ile elde edilen emisivite ölçüm sonuçlarının genel değerlendirmesi aşağıda yapılmıştır:

- Kumaş üzerinde alınan emisivite haritalarında kumaş yüzeyinin farklı bölgelerinde radyasyon yayılımının farklılaştığı gözlenmiştir. Bu nedenle test yapılırken dört farklı kumaş bölgesinde ölçümler yapılmış ve standart sapma değeri en düşük bölgedeki veriler kullanılmıştır.
- Çalışmada kullanılan kumaşların emisivite ölçümleri incelendiğinde biyoseramik partikül çeşitlerinin emisivite değerlerini her numunede farklı oranda arttırdığı görülmektedir. Bunun nedeninin, SEM görüntülerinde tespit edildiği gibi partiküllerin kumaş yüzeyinde homojen olarak dağılmamasına ve kumaşın hammaddesine bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir.
- Yapılan tüm testler sonucunda, biyoseramik partikül varlığının 8-14 mikron dalga boyu aralığındaki radyasyonu, kaplama yapılmamış kumaşa oranla %90 arttırdığı tespit edilmiştir. Buradan hareketle, kumaşların biyoseramik partikül ile kaplanması neticesinde emisivitenin yükseldiği sonucu çıkarılabilir.
- Çalışmada elde edilen tüm kumaşların histerizis grafiklerinden görüleceği üzere 40-90 °C aralığındaki ısı farklılığının emisivite üzerinde kayda değer bir değişime neden olmadığı saptanmıştır. Ancak genel olarak, 8-14 mikron dalgaboyunda, 40-70 °C aralığındaki emisivite değerlerinin 60-90 °C aralığındaki emisivite değerlerinden kısmen daha yüksek olduğu gözlenmiştir. İlgili literatürde [103] metalik olmayan malzemelerin çoğunda sıcaklığın artmasıyla emisyonun azaldığı belirtilmektedir. Bu nedenle çalışmada ölçülen emisivite değerleri sözü edilen literatürdeki bilgiler ile örtüşmektedir.
- Kaplama yapılmamış (KY) kumaşları referans alarak hesaplanan yüzdesel emisivite değişimleri incelendiğinde, emisivite değeri en fazla yükselen kumaş/biyoseramik çeşidinin yün/CeO₂ olduğu gözlenmiştir. En yüksek emisivite değeri ise viskon/Al₂O₃ gözlenmiştir.
- Kaplama yapılmamış kumaşlar referans alındığında, emisivite değişimi en fazla yün ve akrilik kumaşlarda ölçülmüştür. Bu durum, üzerilerindeki su içeriğinin artması şeklinde açıklanabilir [133, 134].
- Kaplama yapılmış tüm kumaşların kaplama yapılmamış kumaşlara (KY) göre emisivite değerleri ~%89 oranında yükselmiştir. Biyoseramik partikül içeren kaplamaların, kaplanmamış kumaşlara kıyasla emisivite değerleri %90 oranında yükselmiştir. Aynı zamanda, biyoseramik partikül içermeyen (BİK) kaplamalardaki

emisivite değişiminin (artışının), biyoseramik kaplama içeren tüm nanopartiküllerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Tüm bu verilerden yola çıkarak, kumaşlarda biyoseramik partikül varlığının emisivite değerlerinin yükselmesinde etkin rol oynadığı sonucu çıkarılabilir.

4.2.2. ATR FTIR ile ölçülen emisivite sonuçları

Emisivite ölçüm teorisine göre ışıma enerjisi bir yüzeye ulaştığında, ulaşan bu enerjinin toplamı; absorbe edilmiş (A), yansıyan (R), iletilen enerji (T) olmak üzere üç kısma bölünebilir ve bu üç enerjinin toplamı bire eşittir ($A+R+T=1$). Kirchhoff yasasına göre de aynı sıcaklıktaki bir cismin absorpsiyonu emisivitesine eşittir [104]. Bu teoriye göre absorbans değerleri yüksek olan kaplamaların emisivite değerlerinin de yüksek olduğu sonucu çıkarılabilir. Aynı zamanda kumaşın yüksek reflektans (yansıma) ve transmitans (iletim) değerlerinde, absorbans değeri daha düşük olacaktır [13]. Bu teoriden yola çıkarak, kumaşların ve seramik tozlarının uzak kızılötesi ışınları yayma değerlerini analiz etmek için ATR/FTIR ölçümleri yapılmıştır. Bu analizlerde kaplama yapılmış ve kaplama yapılmamış kumaşların 5-20 μm dalga boylarındaki absorbans ve reflektans değerleri ölçülerek, kumaşların uzak kızılötesi ışın yayıcılıkları hakkında veriler elde edilmiş ve bu verilere göre emisivite değerleri hesaplanmıştır. Yansıma (ρ), geçirgenlik (τ) ve absorbans (α) parametrelerinin toplamı her zaman 1 değerini verdiği için emisivite değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$\alpha + \rho + \tau = 1$, buradan; $\alpha = 1 - (\rho + \tau)$ şeklinde emisivite değeri hesaplanabilir.

Çalışmada, ATR-FTIR ile elde edilen absorbans verileri kullanılarak emisivite değerleri Plank'ın siyah cisim spectrum denklemi ile hesaplanmıştır. Hesaplama, LWIR aralığında (8-14 μm) yapılmış ve denklem aşağıdaki gibidir:

$$\Delta\epsilon_{IR} = \frac{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \Delta A(\lambda) \cdot \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} d\lambda}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} d\lambda} \quad (Formül 2)$$

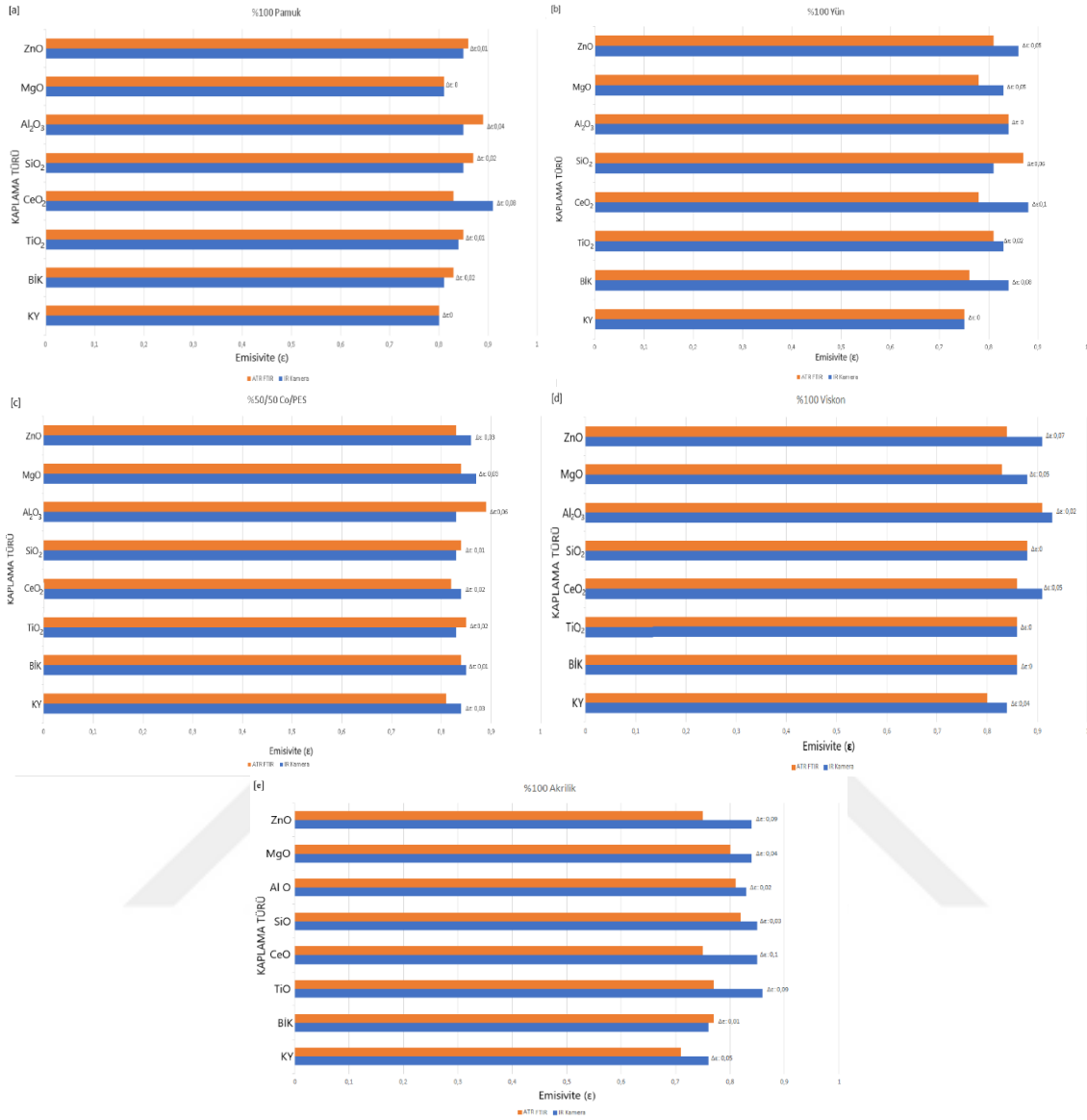
Formülde; h Planck sabiti, k Boltzmann sabiti, c ışık hızı, $\lambda_{min}=8 \mu\text{m}$ ve $\lambda_{max}=14 \mu\text{m}$ IR kameranın operasyonel dalga boyu aralık değeri.

Tablo 4.8’de, ATR FTIR ile ölçülen absorbands, reflektans ve transmitans değerlerinden hesaplanan emisivite değerleri verilmiştir. Hesaplanan emisivite verileri ile termal (IR) kamera kullanılarak ölçülen emisivite değerleri arasında orta düzeyde korelasyon ölçülmüştür (Bkz. Bölüm 4.9.1).

Tablo 4. 8. ATR FTIR ile ölçülen absorbands, reflektans ve transmitans değerlerinden hesaplanan emisivite değerleri.

	KY	BİK	TiO ₂	CeO ₂
%100 Pamuk	0,80	0,83	0,85	0,83
%100 Yün	0,75	0,76	0,81	0,78
%50/50 Co/PES	0,81	0,84	0,85	0,82
%100 Viskon	0,80	0,86	0,86	0,86
%100 Akrilik	0,71	0,77	0,77	0,75
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	ZnO
%100 Pamuk	0,87	0,89	0,81	0,86
%100 Yün	0,87	0,84	0,78	0,81
%50/50 Co/PES	0,84	0,89	0,84	0,83
%100 Viskon	0,88	0,91	0,83	0,84
%100 Akrilik	0,82	0,81	0,80	0,75

Şekil 4.20’de IR kamera ve ATR FTIR’da ölçülen emisivite farkları ($\Delta\epsilon$) verilmiştir. Elde edilen veriler dikkate alındığında toplamalar bazında en yüksek fark akrilik, en düşük fark ise pamuklu numunelerde gözlenmiştir. Aynı zamanda kumaşların kaplama çeşidi bakımından emisivite fark toplamalarına bakıldığında SiO₂ ile kaplama yapılmış kumaşların emisivite farklılıkları diğer biyoseramik partikül türlerine göre daha düşük ölçülmüştür. Buradan yola çıkarak, SiO₂ ile kaplanmış kumaşların diğer nanopartikül içerenlere oranla bölgesel emisivite farklılıklarının daha düşük olduğu sonucuna varılabilir.

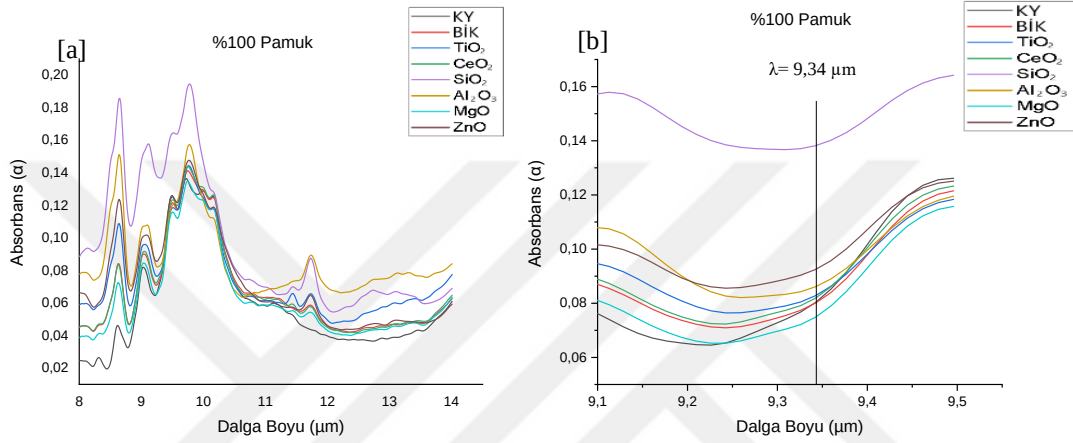


Şekil 4. 20. Kumaşların ATR-FTIR ve IR kamera kullanılarak ölçülen emisivite değerlerinin karşılaştırılması, [a] %100 Pamuk, [b] %100 Yün, [c] %50/50 Co/PES, [d] %100 Viskon, [e] %100 Akrilik.

Şekil 4.21 - 4.25 aralığında kumaşların ATR FTIR da elde edilen absorbands grafikleri, 8-14 μm (LWIR ve IR kamera ölçüm aralığı) ve 9,1-9,5 μm dalga boyu aralıklarında verilmiştir. Wien yasasında insan derisinin en güçlü radyasyon yaydığı (pik) dalga boyu 9,34 μm olduğu belirtilmiştir [93]. Bu nedenle, 9,34 μm dalga boyundaki absorbands değerleri çizgi ile grafiklerde gösterilmiştir. 8-14 μm aralığındaki grafikler incelendiğinde, ölçülen emisivite değerleri ile grafiklerde oluşan absorbands eğrilerinin doğru orantılı olduğu görülmektedir.

4.2.2.1. %100 Pamuklu kumaşların absorbands sonuçları

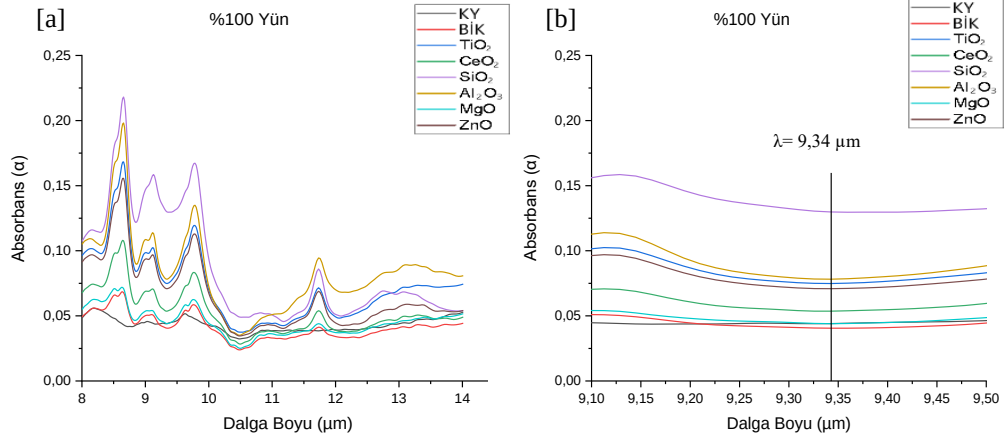
%100 Pamuklu kumaşların LWIR aralığındaki absorbands eğrileri Şekil 4.21 [a]'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, en yüksek absorbands değerinin Al_2O_3 ve SiO_2 ile kaplanmış numunelerde, en düşük absorbands değerinin ise kaplama yapılmamış kumaşa olduğu gözlenmiştir. İnsan derisinin en güçlü radyasyon yaydığı dalga boyunda ($9,34 \mu\text{m}$) ise sıralama şu şekildedir: $\text{SiO}_2 > \text{ZnO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 > \text{CeO}_2 > \text{KY} > \text{BİK} > \text{MgO}$ şeklindedir (Şekil 4.21 [b]).



Şekil 4. 21. %100 Pamuk kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbands grafikleri, [a] 8-14 μm aralığındaki absorbands grafiği, [b] 9,1-9,5 μm aralığındaki absorbands grafiği.

4.2.2.2. %100 Yün kumaşların absorbands sonuçları

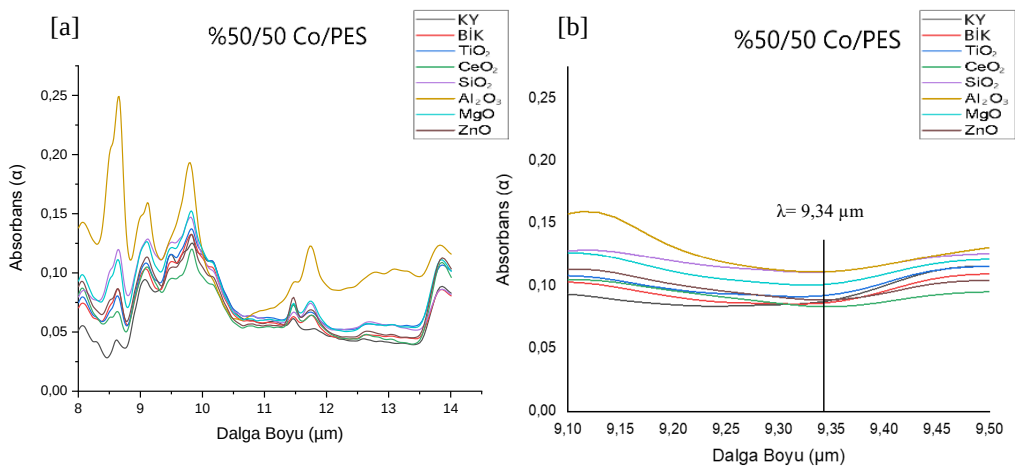
%100 Yünlü kumaşların 8-14 μm dalga boyu aralığında ölçülen absorbands grafiği Şekil 4.22 [a]'da verilmiştir. LWIR aralığında en yüksek absorbands değerlerinin SiO_2 ile kaplanmış yünlü kumaşlarda olduğu, en düşük değerlerin ise kaplama yapılmamış kumaşlarda olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.22 [b] incelendiğinde ise, 9,34 μm dalga boyunda en yüksek absorbands değerinin SiO_2 ile kaplı kumaşlarda, en düşük absorbands değerinin ise kaplama yapılmamış numunelerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 22. %100 Yün kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri, [a] 8-14 μm aralığındaki absorbans grafiği, [b] 9,1-9,5 μm aralığındaki absorbans grafiği.

4.2.2.3. %50/50 Pamuk/polyester kumaşların absorbans sonuçları

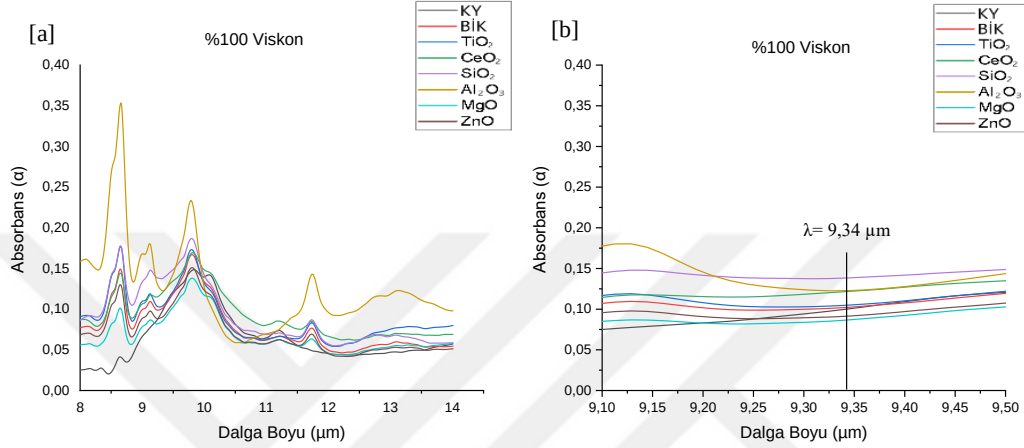
Şekil 4.23 [a] incelendiğinde 8-14 μm dalga boyunda en yüksek absorbans değerlerinin Al_2O_3 ile kaplı numunelerde olduğu görülür. Kaplama yapılmamış pamuk/polyester kumaş en düşük absorbans değerine sahiptir. 8-14 μm aralığında absorbans değerleri büyükten küçüğe sırasıyla; Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , ZnO , TiO_2 , BİK, CeO_2 , KY şeklindedir. Dalga boyu 9,34 μm ’da en yüksek absorbans değerleri Al_2O_3 ve SiO_2 ile kaplı kumaşlarda gözlenmiştir (Şekil 4.23 [b]).



Şekil 4. 23. %50/50 Pamuk/Polyester kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri, [a] 8-14 μm aralığındaki absorbans grafiği, [b] 9,1-9,5 μm aralığındaki absorbans grafiği.

4.2.2.4. %100 Viskon Kumaşların Absorbans Sonuçları

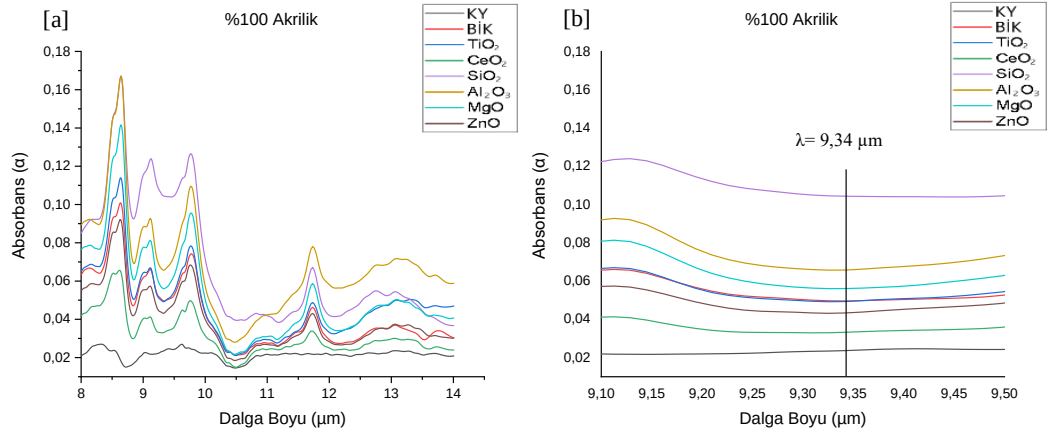
Şekil 4.24 [a] incelendiğinde %100 viskon kumaş kaplamaların, 8-14 mikron dalga boyu aralığındaki absorbans değerleri yüksekten düşüğe doğru; Al_2O_3 , SiO_2 , CeO_2 , TiO_2 , BİK, ZnO , MgO ve KY şeklindedir. İnsan teninin en fazla radyasyon çıkış dalga boyu olan 9.34 μm baktığımızda, sıralama şu şekildedir: $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CeO}_2 > \text{TiO}_2 > \text{BİK} > \text{KY} > \text{ZnO} > \text{MgO}$ (Şekil 4.24 [b]).



Şekil 4. 24. %100 Viskon kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri, [a] 8-14 μm aralığındaki absorbans grafiği, [b] 9,1-9,5 μm aralığındaki absorbans grafiği.

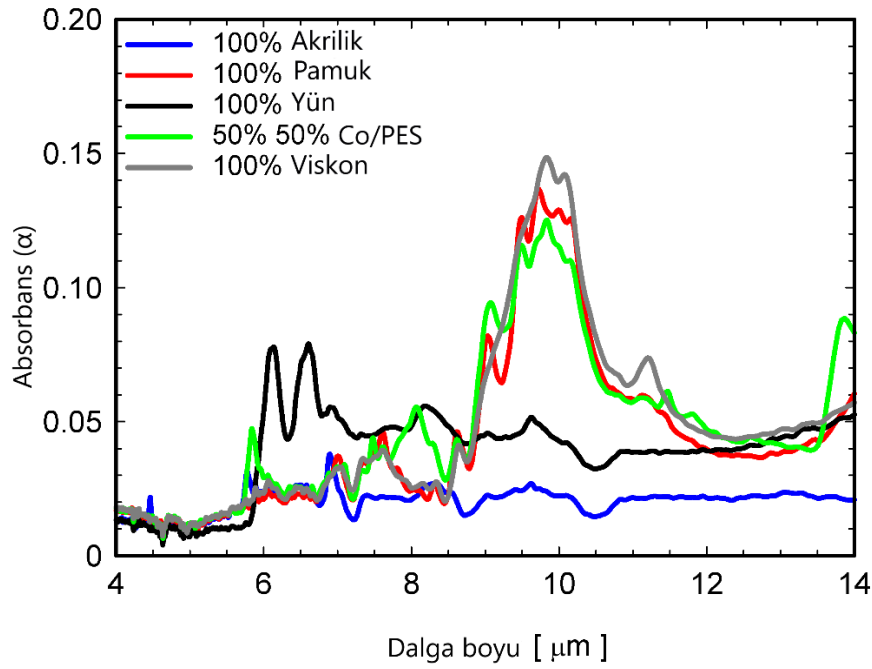
4.2.2.5. %100 Akrilik Kumaşların Absorbans Sonuçları

Şekil 4.25 [a] incelendiğinde 8-14 μm aralığında en yüksek absorbans değerinin SiO_2 ve Al_2O_3 ile kaplı kumaşlarda olduğu görülür. En düşük absorbans değerlerinin ise kaplama yapılmamış numunelerde olduğu gözlenmiştir. 9,34 μm dalga boyundaki emisivite değerlerinde sıralama şu şekildedir: $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{TiO}_2 = \text{BİK} > \text{ZnO} > \text{CeO}_2 > \text{KY}$ kumaş şeklinde olduğu ölçülmüştür (Şekil 4.25 [b]).



Şekil 4. 25. %100 Akrilik kumaş kaplamaların ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafikleri, [a] 8-14 μm aralığındaki absorbans grafiği, [b] 9,1-9,5 μm aralığındaki absorbans grafiği.

Şekil 4.26’da kaplama yapılmamış kumaşların 4-14 mikron dalga boyu aralığındaki ATR FTIR’da ölçülen absorbans grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde pamuk, pamuk/polyester ve viskon numunelerin LWIR aralığında güçlü absorbans eğrileri verdiği ancak yün ve akrilik kumaşların daha düşük absorbans eğrileri verdiği görülmüştür. IR kamerada elde edilen emisivite değerleri ile karşılaştırıldığında da (Bkz. Tablo 4.6) kaplama yapılmamış pamuk, pamuk/polyester ve viskon numunelerin emisivite değerlerinin akrilik ve yün numunelere göre daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Bu verilerden yola çıkarak IR kamera kullanılarak ölçülen emisivite değerleri ile ATR FTIR da ölçülen absorbans değerlerinin anlamlı olduğu sonucuna varabiliriz.



Şekil 4. 26. İşlem görmemiş kumaşların 4-14 μm aralığında ATR-FTIR spektrumları.

4.3. ATR-FTIR Analizleri

Biyoseramik nanopartikül içeren kumaşların iç bağlarının tanımlaması amacıyla ATR-FTIR analizi uygulanmıştır. Yöntem, bağlar üzerine düşen kızılötesi ışınların titreşim ve dönme hareketi ile absorpsiyon edilmesi esasına dayanır [105]. Şekil 4.27’de kaplama yapılmamış ve biyoseramik içeren kumaşların 50-1000 cm^{-1} dalga boyu aralığındaki FTIR grafikleri verilmiştir. Grafikler çizilirken Easyplot© programı kullanılmıştır.

Şekil 4.27 [a]’da kaplama yapılmamış ve TiO_2 ile kaplanmış kumaşların ATR FTIR grafikleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde, 400-1000 cm^{-1} dalga boyu aralığında oluşan titreşimleri Ti-O bağı ile ilişkilendirebiliriz [106, 107]. Aynı zamanda 1156 cm^{-1} de, TiO_2 kaplı kumaşlarda oluşan pikleri de Ti-O-Ti bağıyla eşleştirebiliriz [107]. Dalgaboyu 1728 cm^{-1} de oluşan pikin ise su moleküllerinin (H-O-H) yaptığı titreşimden kaynaklandığı sonucu çıkarılabilir [108, 109].

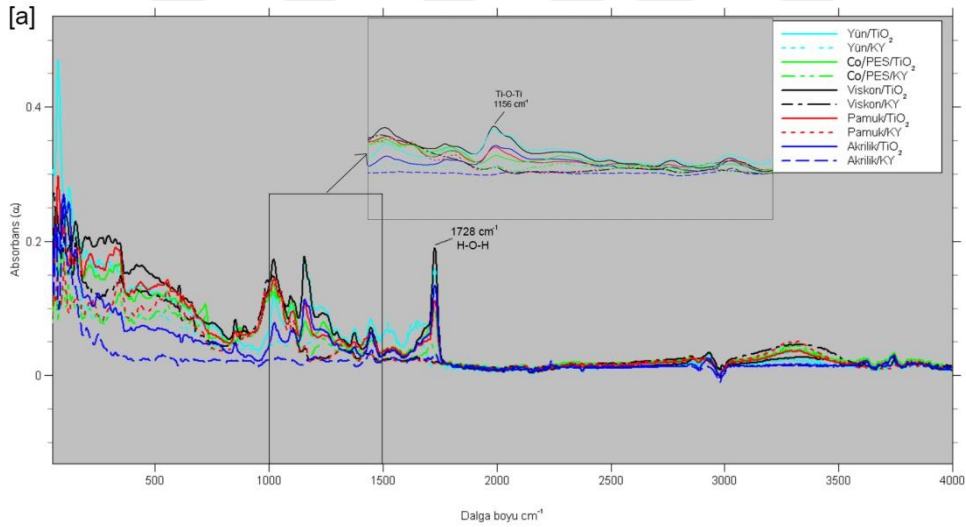
Şekil 4.27 [b]’de SiO_2 ile kaplanmış kumaşların FTIR grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde 1010-1080 cm^{-1} dalga boyunda SiO_2 ile kaplanmış kumaşlarda oluşan tepe noktalarını Si—O bağı ile ilişkilendirebiliriz [110]. Ayrıca; 786 cm^{-1} de ortaya çıkan dalgalanma siloksan (Si-O-Si) bağı ile ilişkilendirilebilir [108, 109]. TiO_2

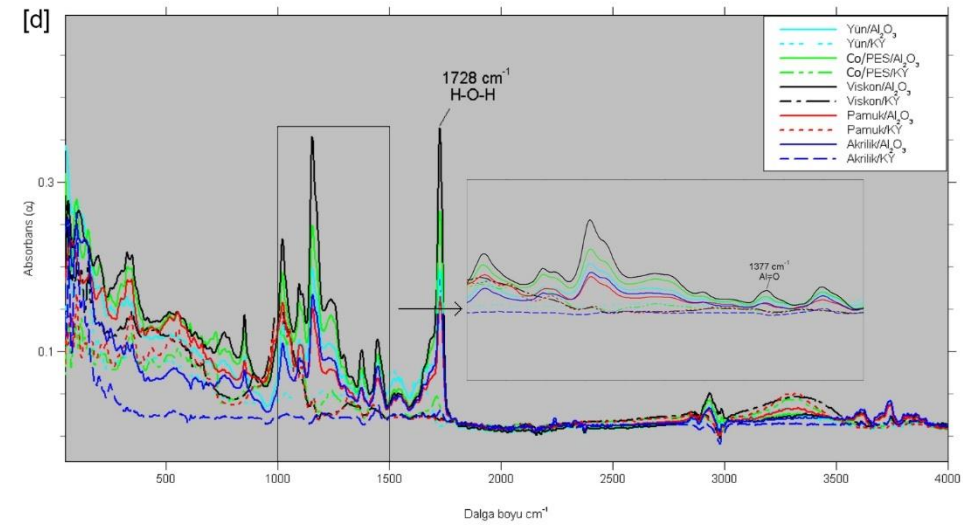
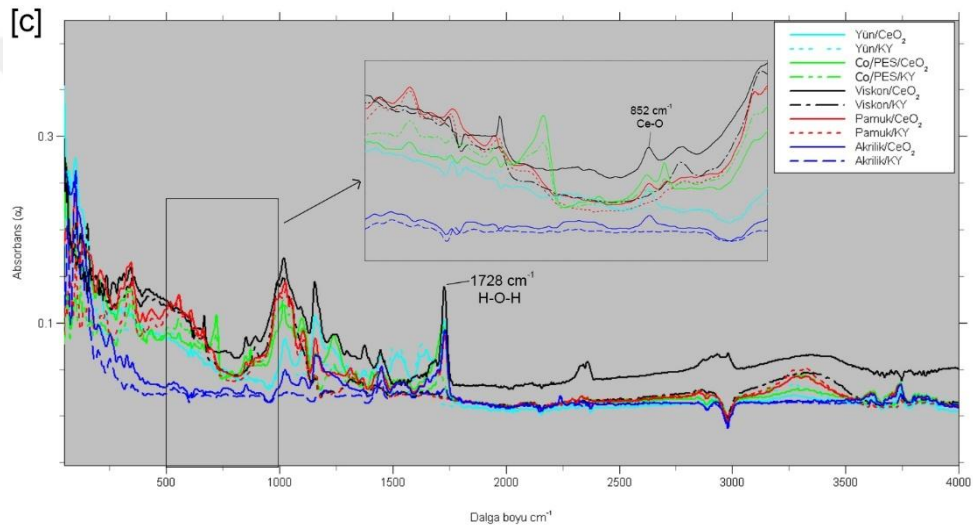
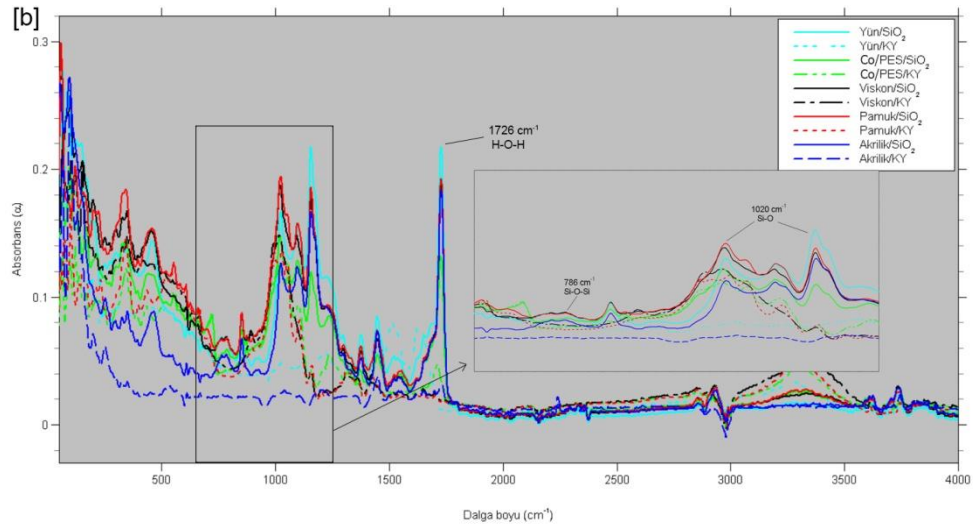
kaplamalarında olduğu gibi, 1726 cm^{-1} dalgaboyunda oluşan keskin piki su moleküllerine (H-O-H) atfedebiliriz.

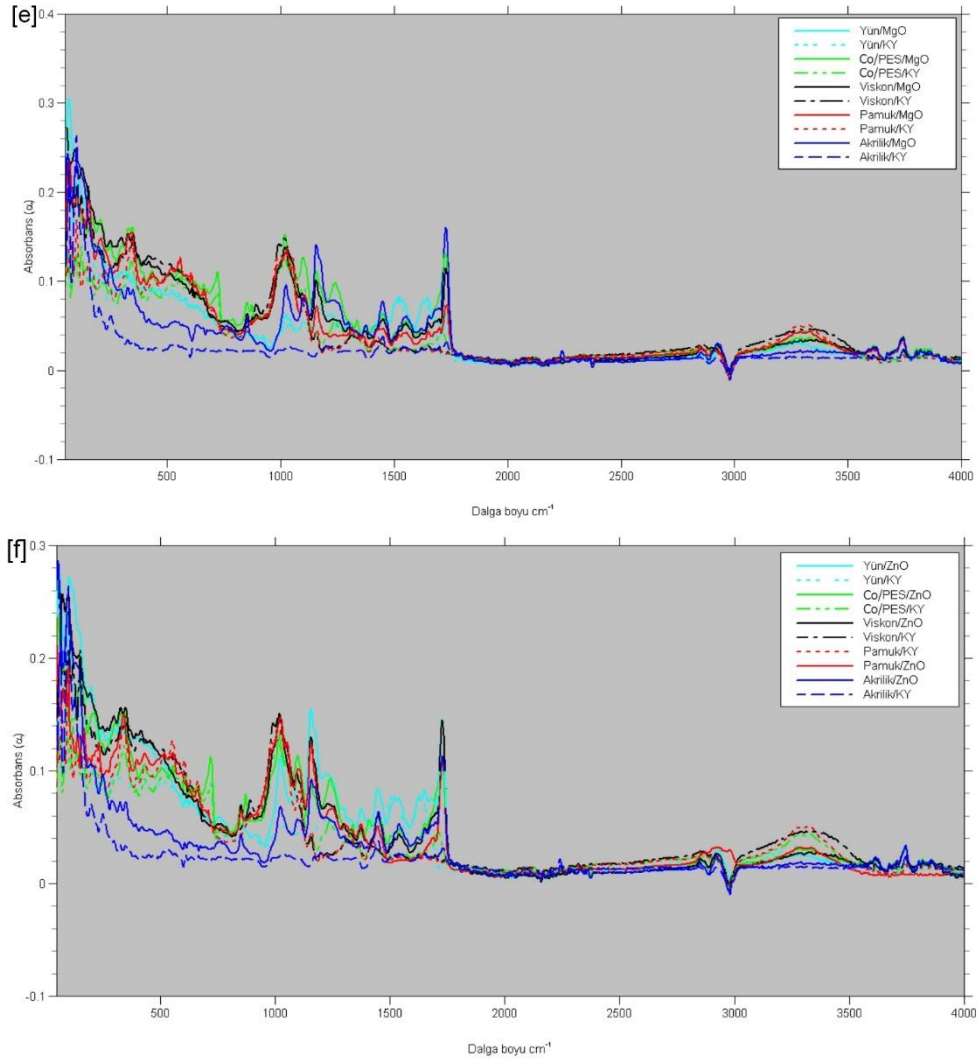
CeO₂ ile kaplanmış ve kaplama yapılmamış kumaşların ATR-FTIR grafiği Şekil 4.27 [c]'de verilmiştir. 852 cm^{-1} dalga boyunda oluşan pikleri Ce-O bağı ile ilişkilendirebiliriz [111]. Dalga boyu 1728 cm^{-1} de oluşan pik su moleküllerine (H-O-H) atfedilebilir.

Şekil 4.27 [d] incelendiğinde, Al₂O₃ kaplı kumaşlarda 1377 cm^{-1} dalga boyunda oluşan titreşimi Al=O bağı ile ilişkilendirebiliriz [112].

Şekil 4.27 [e] ve [f]'de sırasıyla MgO ve ZnO partikülleri ile kaplanmış ve kaplama yapılmamış kumaşların ATR-FTIR grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde MgO ve ZnO içeren kumaşlarda, Mg-O (475 cm^{-1}) [113] ile Zn-O ($517, 580, 667\text{ cm}^{-1}$) [114] bağlarında oluşan karakteristik pikler gözlenmemiştir. Bunun nedeninin ATR tekniğinin kızılötesi ışınının kumaş yüzeyinin ince bir tabakasını analiz etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [115].







Şekil 4. 27. Biyoseramik nanopartiküller ile kaplanmış ve kaplama yapılmamış kumaşların ATR-FTIR grafikleri. a) TiO_2 ve KY, b) SiO_2 ve KY, c) CeO_2 ve KY, d) Al_2O_3 ve KY, e) MgO ve KY, f) ZnO ve KY.

4.4. Isı Tutma Özelliklerinin Değerlendirilmesi

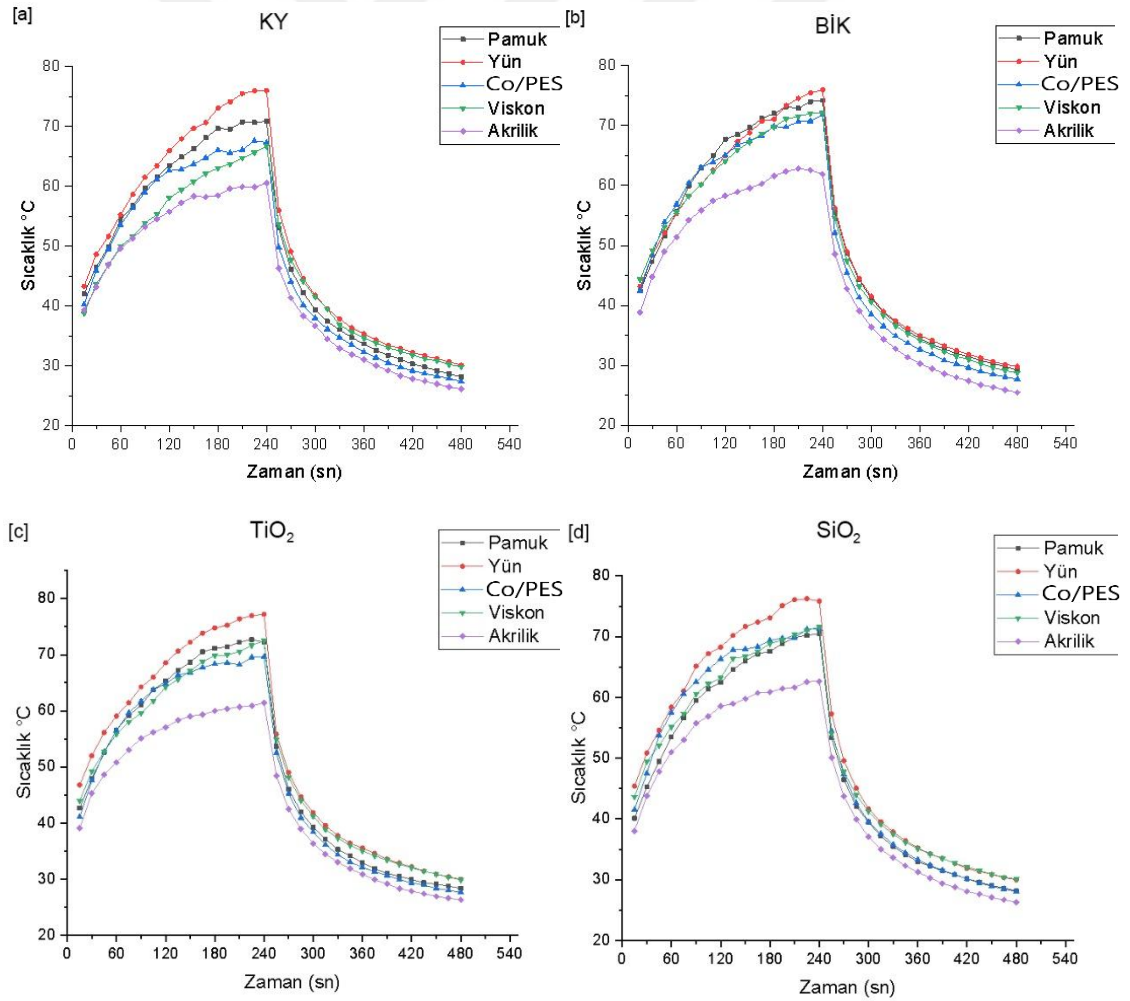
Bu testin amacı, kumaş üzerinde bulunan biyoseramik nano partiküllerin, kumaşların ısı tutma özelliklerine olan etkisinin değerlendirilmesidir. Daha önce yapılan çalışmalarda, biyoseramik nanopartikül içeren kumaşların ısı tutma özelliklerini geliştirdiği ortaya konmuştur [18, 79].

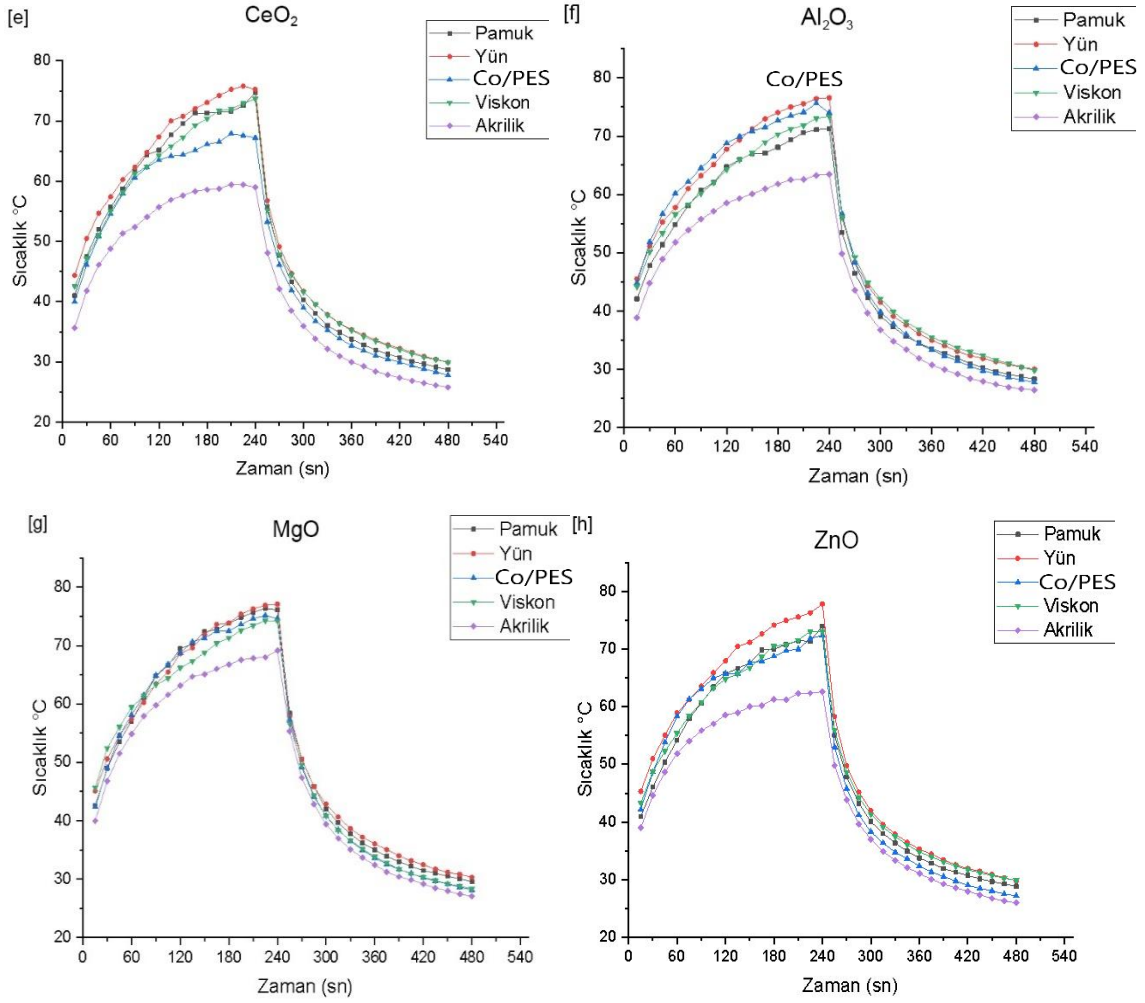
Çalışma iki türlü değerlendirilmiş olup, ilk değerlendirmede kaplama türüne göre ölçümler grafiklendirilmiş, ikinci değerlendirmede ise kumaş çeşidine göre grafikler çizilmiştir.

4.4.1. Kaplama çeşidine göre ısı tutma ölçüm sonuçları

Bu testte, kumaş ve kaplamaların ısı tutma kapasiteleri incelenmiştir. Tüm kumaşlar içerisinde (kaplanmış ve kaplanmamış) en iyi ısı tutma özelliklerinin yünlü kumaşlarda olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.28 [a]-[h]). Bunun sebebi, yünün ısı direnç ve yalıtkanlık değerlerinin diğer liflere oranla daha yüksek olmasıdır [116].

Yünlü kumaşlardan sonra pamuklu kumaşların $-Al_2O_3$, SiO_2 ile kaplanmış kumaşlar hariç- ısı tutma kapasitesilerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. En düşük ısı tutma değerleri akrilik kumaşlarda görülmüştür. Genel olarak doğal lif içeriğinin ısı tutma üzerinde pozitif etki ettiği söylenebilir. Doğal liflerin nem çekme ve ısı yalıtkanlık değerlerinin sentetik liflere oranla yüksek olması neticesinde [117] ısı tutma değerlerini de yükselttiği sonucuna varılabilir.



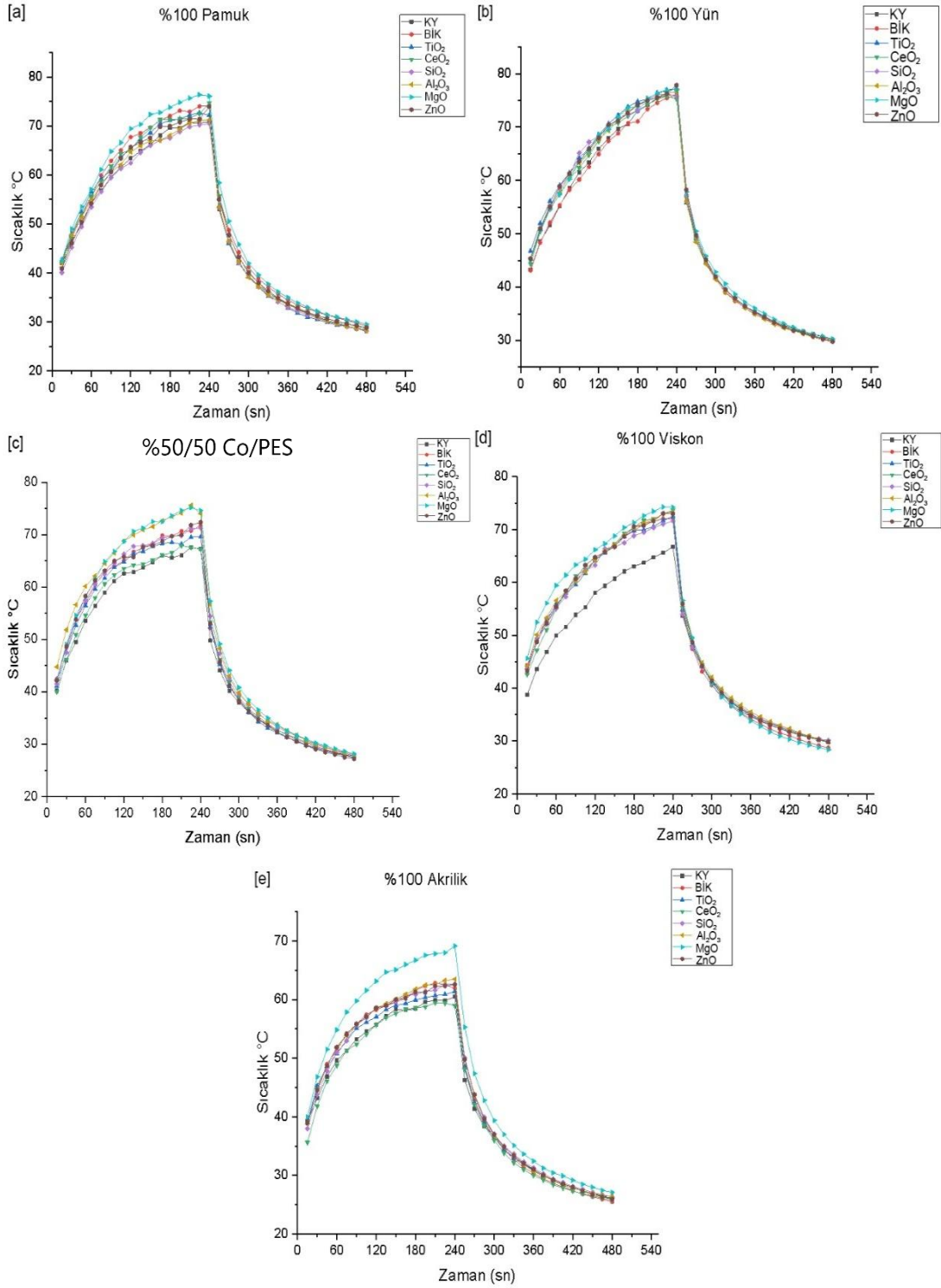


Şekil 4. 28. Numunelerin ısı tutma grafikleri, [a] KY, [b] BİK, [c] TiO_2 , [d] SiO_2 , [e] CeO_2 , [f] Al_2O_3 , [g] MgO , [h] ZnO .

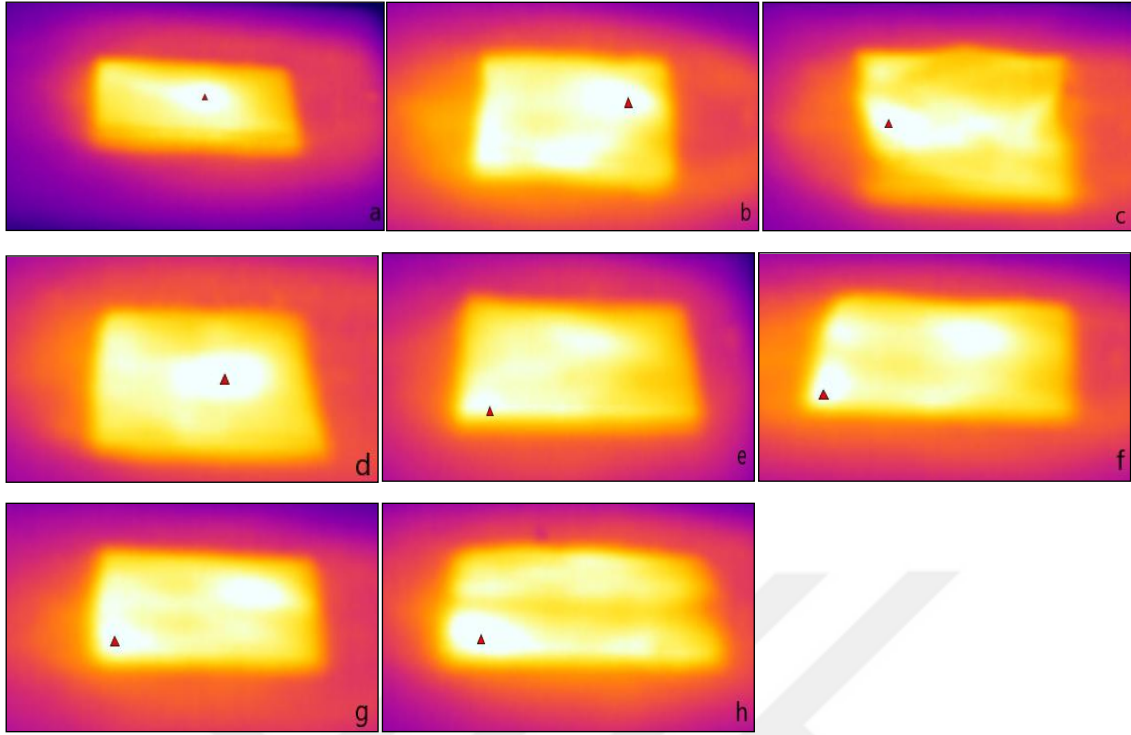
4.5.2. Kumaş çeşidine göre ısı tutma ölçüm sonuçları

Şekil 4.29 [a]-[e]'de biyoseramik nanopartiküllerin ısı tutma grafikleri verilmiştir. Biyoseramik nanopartiküller karşılaştırıldığında, magnezyum oksit içeren kumaşların genel olarak ısı tutma kapasitelerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kaplama kimyasalının varlığı yalıtkanlık değerlerini yükseltmektedir [122]. Bu nedenle kaplama kimyasalı içeren kumaşların genel olarak ısı tutma değerleri kaplama yapılmamış (KY) kumaşlara oranla daha yüksektir.

Şekil 4.30'da %100 Pamuk numunelerin kızılötesi özellikli ampül açıldıktan sonra 4. dakikadaki termal kamera görüntüleri ve en sıcak noktalarını içeren görseller verilmiştir.



Şekil 4. 29. Numunelerin ısı tutma grafikleri, [a] %100 Pamuklu kumaşlar, [b] %100 Yünlü kumaşlar, [c] %50/50 Co/PES kumaşlar, [d] %100 Viskon kumaşlar, [e] %100 Akrilik kumaşlar.



Şekil 4. 30. Kaplanmış ve kaplanmamış %100 Pamuklu kumaşların 4. dakikadaki IR termal kamera görüntüleri. a) TiO_2 , b) SiO_2 , c) Al_2O_3 , d) CeO_2 , e) MgO , f) ZnO , g) BİK, h) KY.

Tablo 4.9’da 4. dakikada (240 saniye) ölçülen sıcaklık değerleri ve kaplama yapılmamış kumaşlar baz alınarak hesaplanan ısı tutma yüzdeleri verilmiştir. Isı tutma değeri en fazla değişen kumaş türünün viskon kumaşlar olduğu ve biyoseramik nanopartikül türünün de magnezyum oksit olduğu hesaplanmıştır. Isı tutma değeri en az değişen kumaş türünün ise yünlü numuneler olduğu görülmüştür.

Tablo 4. 9. Kaplama yapılmış kumaşların kaplama yapılmamış kumaşa göre dördüncü dakikadaki sıcaklık değerleri ve yüzdesel değişimi.

Kumaş çeşidi	Kaplama çeşidinin 4. dakikadaki sıcaklığı (°C) ve yüzdesel fark (%)							
	KY (Referans)	BİK (°C ; %)	TiO ₂ (°C ; %)	CeO ₂ (°C ; %)	SiO ₂ (°C ; %)	Al ₂ O ₃ (°C ; %)	MgO (°C ; %)	ZnO (°C ; %)
%100 Pamuk	70,8	74,2; 4,8	72,2; 1,9	74,7; 5,5	70,5; -0,4	71,3; 0,7	76,1; 7,4	74; 4,5
%100 Yün	76	76; 0	77,2; 1,5	75,2; -1	75,8; -0,2	76,6; 0,8	77,1; 1,4	77,8; 2,4
%50/50 Co/PES	67,3	71,8; 6,7	69,6; 2,3	67,2; -0,1	71,2; 5,8	74; 10	74,6; 10,8	72,4; 7,6
%100 Viskon	66,7	72,1; 8,1	72,5; 8,7	73,7; 10,5	71,6; 7,3	73,4; 10	74,2; 11,2	73; 9,4
%100 Akrilik	60,5	61,9; 2,3	61,4; 1,5	59 ; -2,5	62,6; 3,5	63,5; 5	69,2; 14,4	62,6; 3,5

4.5. Termal İletkenlik Ölçüm Sonuçları

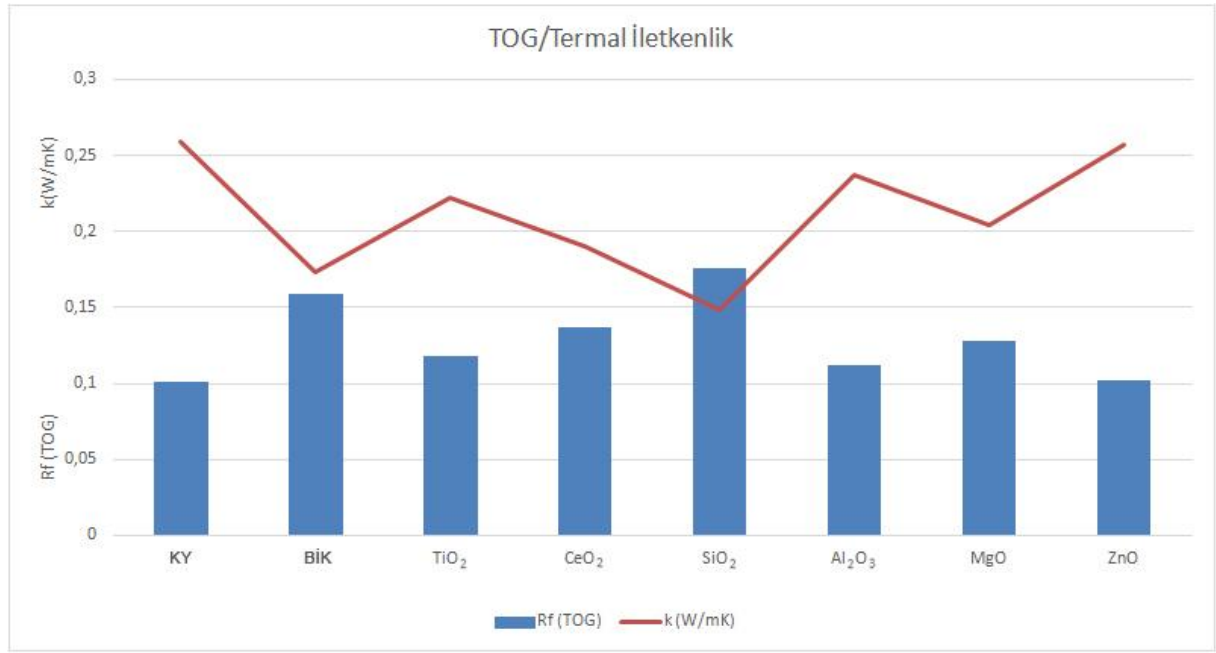
TOG cihazında iki ölçüm değeri hesaplanır. Bunlardan biri; termal iletkenlik (k), diğeri ise termal dirençtir (TOG). Ölçümlerde termal direnç ile termal iletkenlik arasında negatif korelasyon bulunur. Bir kumaşın termal direnci (TOG) ne kadar düşük gelirse, iletkenlik o oranda yüksek çıkar ve kumaşın ısı iletkenliğinin iyi olduğunun bir göstergesidir.

Termal iletkenlik ve termal direnç ölçüm sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir. Termal iletkenliği en yüksek değerlerin kaplama yapılmamış, ZnO ve Al₂O₃ ile kaplanmış kumaşlarda olduğu ölçülmüştür. Kumaşların elektrik iletkenlik değerleri ile termal iletkenlik arasında pozitif bir ilişki vardır [118]. ZnO yarı iletken [119] ve Al₂O₃ ise yüksek termal iletkenliğe [120] sahip olduğundan dolayı, bu partiküller ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik değerlerinin diğer numunelere göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Silikon dioksit (silika) iyi seviyede kimyasal-termal stabiliteye ve düşük ısı iletkenliğe sahiptir [121]. Bu nedenle SiO₂ ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlikleri en düşük olarak ölçülmüştür. Ayrıca kaplama kimyasalının öz direnci artırmasından dolayı [122], kaplama yapılmamış kumaşın termal iletkenliği kaplanmış kumaşların tümünden daha yüksek ölçülmüştür. Kaplama partikülleri arasında termal

iletkenlik değerleri, en yüksekten en düşüğe doğru şu şekildedir: $ZnO > Al_2O_3 > TiO_2 > MgO > CeO_2 > BiK > SiO_2$ (Şekil 4.31).

Tablo 4. 10. TOG metrede ölçülen termal iletkenlik ve termal direnç değerleri.

	KY	BiK	TiO ₂	CeO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	ZnO
Rf (TOG)	0,1009	0,1586	0,1176	0,1369	0,1761	0,1122	0,1281	0,102
k (W/mK)	0,2586	0,1732	0,2223	0,1906	0,1482	0,2375	0,2044	0,2566



Şekil 4. 31. Termal iletkenlik ve yalıtkanlık ölçüm grafiği.

4.6. Hava Geçirgenlik Sonuçları

Havanın; lif, iplik ve kumaş yapısı içerisinde geçebilme yeteneğine hava geçirgenliği denir. Hava geçirgenliği, birim basınçta, birim alanda, belli zamanda geçen havanın miktarını ifade etmektedir. Hava geçirgenliği genellikle kumaşın nefes alabilirliğini değerlendirmek için kullanılır [90]. Hava geçirgenliği, kumaşın/giysinin termal iletkenlik davranışını etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek hava geçirgenliği, termal iletkenliği daha yüksek ve nefes alabilen kumaş demektir. Ancak soğuk hava koşullarında bu aranan bir özellik değildir. Kışlık kumaşlarda termal yalıtım istenirken, yazlık kumaşlarda ise iletkenliğin (hava geçirgenliğinin) fazla olması tercih edilir.

Tablo 4.11’de beş ölçüm sonucunda elde edilen hava geçirgenlik değerleri ve hesaplanan ortalamalar verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; tüm numunelerde hava geçirgenliği en yüksek kumaş türünün yünlü kumaşlar olduğu ölçülmüştür. Hava

geçirgenliği en yüksek ikinci numuneler viskon kumaşlarda ölçülmüştür. En az hava geçirgenlik değerleri akrilik kumaşlarda gözlenmiştir (Şekil 4.32). Yünlü kumaşların yüksek hava geçirgenliği liflerin fiziksel yapısı ile alakalıdır. Bir başka anlatımla, büküm yapılmış iplikler yıkama işleminden sonra kendi aralarında keçeleşme eğilimi gösterdiğinden dokuma konstrüksiyonundaki gözenekler (boşluklar) açılmıştır. Viskon kumaşların yüksek hava geçirgenliğinin nedeni ise düşük gramaj değerine (170 g/m^2) sahip olmasına bağlanabilir [90]. SiO_2 ve Al_2O_3 ile kaplı kumaşların hava geçirgenlik değerleri diğer kaplanmış kumaşlardan daha düşük ölçülmüştür. Yüksek kaplama pat viskozitesi (Bkz. Tablo 3.3), bu iki kaplama türünün hava geçirgenliğini düşürmüştür.

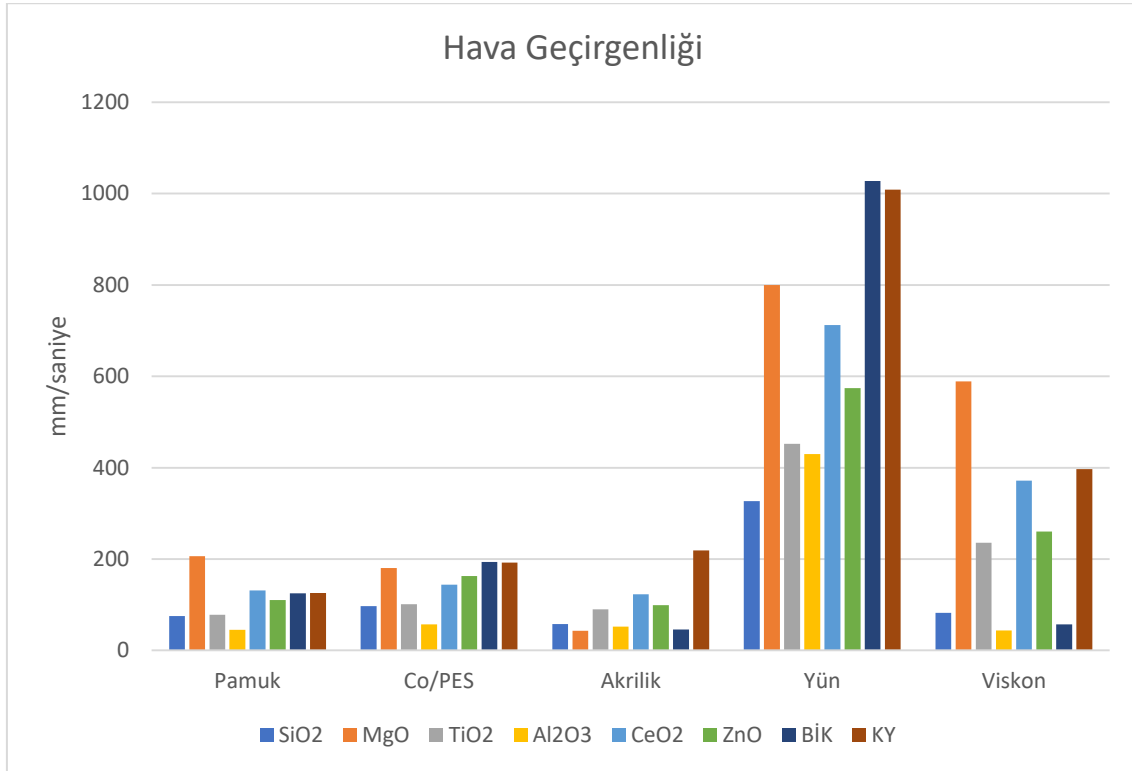
Tablo 4. 11. Biyoseramik kaplı kumaşların hava geçirgenlik değerleri

Kumaş cinsi	KY						BİK					
	1	2	3	4	5	Ortalama	1	2	3	4	5	Ortalama
Pamuk	125	126	128	124	125	125,6	115	161	108	128	112	125
Co/PES	194	189	198	194	187	192,4	190	182	185	203	211	194
Akrilik	216	213	228	220	218	219	44	46	47	47	47	46,2
Yün	622	684	664	657	655	656,4	1079	992	1078	994	998	1028
Viskon	416	389	385	395	398	396,6	57	55	56	58	56	56,4
						318						290

Kumaş cinsi	TiO_2						SiO_2					
	1	2	3	4	5	Ortalama	1	2	3	4	5	Ortalama
Pamuk	86	78	72	67	85	78	82	70	79	73	71	75
Co/PES	94	95	104	108	106	101	98	100	94	98	96	97
Akrilik	92	84	98	82	94	90	55	56	61	61	56	58
Yün	428	438	437	486	470	452	328	348	299	332	328	327
Viskon	243	239	223	235	238	236	81	93	78	74	83	82
						191						128

Kumaş cinsi	CeO_2						Al_2O_3					
	1	2	3	4	5	Ortalama	1	2	3	4	5	Ortalama
Pamuk	141	116	140	134	122	131	48	43	47	48	40	45
Co/PES	144	144	138	137	158	144	40	75	56	54	58	57
Akrilik	127	124	118	125	123	123	61	53	52	48	47	52
Yün	711	725	673	721	730	712	462	463	418	459	346	430
Viskon	372	376	361	369	380	372	42	45	42	47	42	44
						296						125

Kumaş cinsi	MgO						ZnO					
	1	2	3	4	5	Ortalama	1	2	3	4	5	Ortalama
Pamuk	214	194	227	202	195	206	103	115	122	98	114	110
Co/PES	189	173	189	184	165	180	155	166	168	162	166	163
Akrilik	42	41	42	48	44	43	99	96	97	105	96	98,6
Yün	793	794	804	799	808	800	585	765	474	503	541	574
Viskon	589	563	602	589	604	589	251	281	221	292	257	260
						364						241



Şekil 4. 32. Kumaş çeşitlerine göre hava geçirgenlik sonuçları.

4.7. Hidrostatik Basınç Testi

Bu testin amacı kumaşların su geçirmezlik özelliklerinin hidrostatik basınç metodu ile tayinini kapsar. Bu tez çalışmasında elde edilen kumaşların tarım teknik tekstillerinde kullanılması planlandığından su geçirmezlik testi önemli bir yer tutmaktadır.

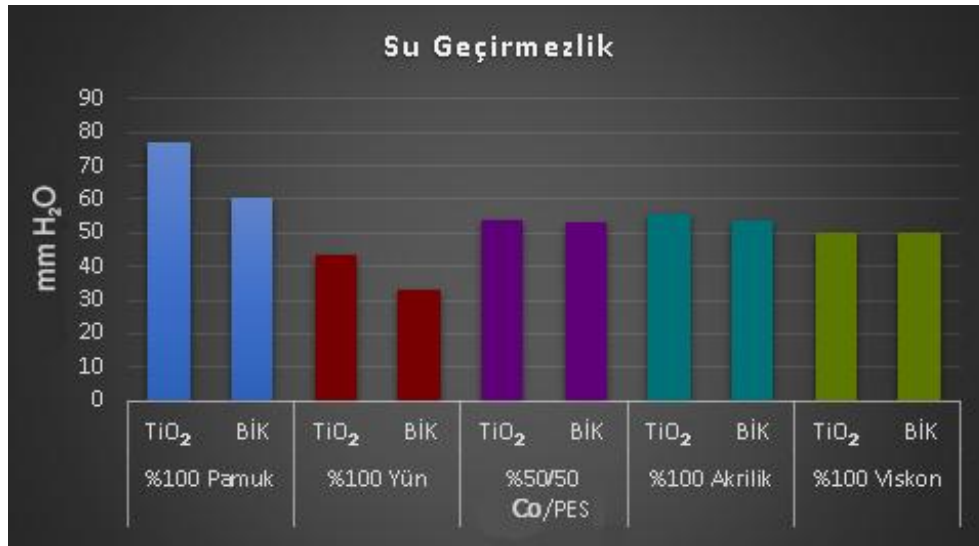
Test, titanyum dioksit içeren ve nanopartikül içermeyen numunelere yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 4.12 ve Şekil 4.33’de verilmiştir.

Test sonuçları incelendiğinde, pamuk/TiO₂’in en yüksek, pamuk/BiK numunelerin ise ikinci en yüksek su geçirmezlik değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Pamuklu

kumaşların su geçirmezlik değerinin diğer numuneler göre yüksek olmasını, en fazla gramaja sahip olması şeklinde açıklayabiliriz [123]. Şekil 4.33 incelendiğinde TiO_2 ile kaplanmış kumaşların su geçirmezlik değerlerinin biyoseramik içermeyen kaplanmış kumaşlara göre genel olarak daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum, kaplama viskozitesinin artması sonucu lifler arasındaki gözeneklerin daha fazla kapanmasından dolayı su geçirmezliğin artması ile açıklanabilir [124].

Tablo 4. 12. 1000 mm su geçirmezlik test sonuçları.

Ölçülen Numune	Su Geçirmezlik Değeri (mm H ₂ O)			
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
% 100 Pamuk (TiO_2)	77	79	76	77,3
%100 Yün (TiO_2)	60	30	40	43,3
%100 Akrilik (TiO_2)	55	56	56	55,6
% 100 Viskon (TiO_2)	50	50	51	50,3
%50-50 Pamuk Polyester (TiO_2)	52	55	55	54
% 100 Pamuk (BİK)	60	60	61	60,3
%100 Yün (BİK)	40	30	30	33,3
%100 Akrilik (BİK)	54	52	55	53,6
% 100 Viskon (BİK)	50	52	49	50,3
%50-50 Pamuk Polyester (BİK)	50	60	50	53,3



Şekil 4. 33. TiO_2 ve BİK numunelerin su geçirmezlik grafiği.

4.8. Aşınma Direnci Test Sonuçları

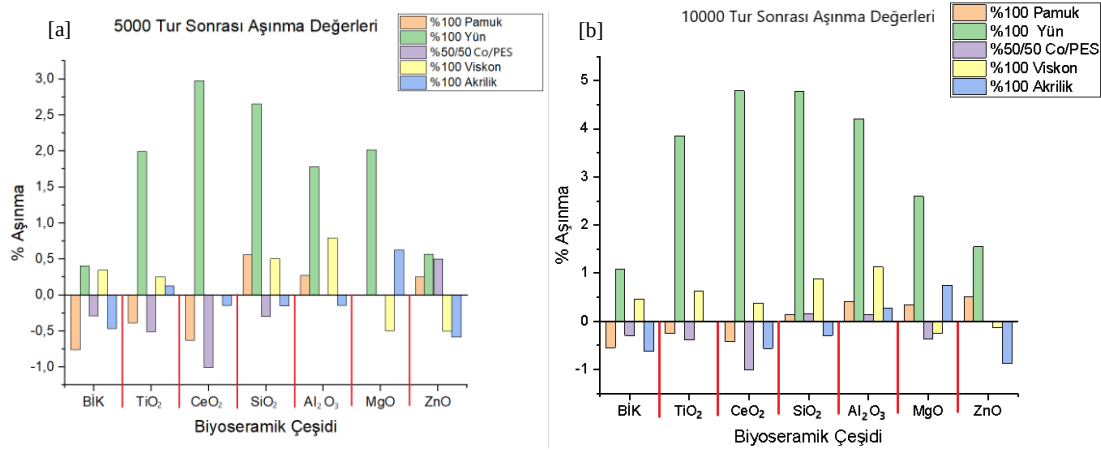
Aşınma (abrasyon) direnci testi, kaplamaların kalıcılığını ölçmek amacıyla yapılmıştır. Bu tezde amaçlanan çalışmalardan biri, uzak kızılötesi yayma özelliğine sahip kumaşların bitki büyümesine olan etkilerinin incelenmesidir. Bu analiz, kaplanmış kumaşların saksı formuna getirilerek içine bitki ekilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle kaplamaların kalıcılığı ve su geçirmezlik özelliği önem kazanmaktadır.

Tablo 4.13’de; test öncesi, 5000 ve 10000 tur aşınma sonrası elde edilen ağırlık değerleri ve yüzde ağırlık kayıpları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yün harici kumaşların 5000 ve 10000 tur sonrasında aşınma değerlerinin oldukça düşük veya negatif değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil 4.34 [a] ve [b]). Elde edilen bu düşük aşınma değerleri nedeniyle çalışmada kullanılan kaplanmış kumaşların FIR özellikli saksı veya benzer ürünlerde kullanımları değerlendirilebilir.

Yünlü kumaşların diğer kaplanmış kumaşlara göre daha fazla aşınmasını, yüksek nem içeriğine sahip olması ile açıklayabiliriz [125]. Aynı zamanda yünün sahip olduğu epiderm (pulumsu) yapıdan dolayı da en fazla aşınan kumaş türünün yünlü kumaşlar olduğu söylenebilir.

Tablo 4. 13. Aşınma direnci test sonuçları.

Kumaş Çeşidi	Biyoseramik Çeşidi	Test öncesi ağırlık	5000 devir sonrası ağırlık	% Ağırlık Kaybı	10000 devir sonrası ağırlık	% Ağırlık Kaybı
%100 Pamuk	BİK	0,307	0,309	-0,760	0,309	-0,543
	TiO ₂	0,263	0,264	-0,381	0,263	-0,254
	CeO ₂	0,320	0,322	-0,626	0,321	-0,417
	SiO ₂	0,238	0,237	0,560	0,238	0,140
	Al ₂ O ₃	0,241	0,241	0,276	0,240	0,414
	MgO	0,287	0,287	0,000	0,286	0,349
	ZnO	0,265	0,264	0,252	0,264	0,503
% 50/50 Pamuk/Polyester	BİK	0,229	0,229	-0,292	0,229	-0,292
	TiO ₂	0,263	0,265	-0,506	0,264	-0,380
	CeO ₂	0,233	0,235	-1,003	0,235	-1,003
	SiO ₂	0,225	0,225	-0,297	0,224	0,148
	Al ₂ O ₃	0,229	0,229	0,000	0,229	0,145
	MgO	0,271	0,271	0,000	0,272	-0,369
	ZnO	0,266	0,265	0,501	0,266	0,000
%100 Yün	BİK	0,246	0,245	0,407	0,244	1,084
	TiO ₂	0,234	0,229	1,994	0,225	3,846
	CeO ₂	0,258	0,250	2,975	0,245	4,787
	SiO ₂	0,251	0,244	2,656	0,239	4,781
	Al ₂ O ₃	0,262	0,257	1,783	0,251	4,204
	MgO	0,231	0,227	2,017	0,225	2,594
	ZnO	0,236	0,235	0,565	0,232	1,554
%100 Akrilik	BİK	0,215	0,216	-0,464	0,217	-0,619
	TiO ₂	0,261	0,261	0,128	0,261	0,000
	CeO ₂	0,239	0,239	-0,140	0,240	-0,559
	SiO ₂	0,226	0,226	-0,147	0,227	-0,295
	Al ₂ O ₃	0,239	0,239	-0,140	0,238	0,279
	MgO	0,266	0,264	0,627	0,264	0,753
	ZnO	0,228	0,229	-0,585	0,230	-0,877
%100 Viskon	BİK	0,288	0,287	0,347	0,287	0,463
	TiO ₂	0,265	0,264	0,252	0,263	0,630
	CeO ₂	0,262	0,262	0,000	0,261	0,381
	SiO ₂	0,264	0,263	0,505	0,262	0,884
	Al ₂ O ₃	0,295	0,293	0,791	0,292	1,130
	MgO	0,270	0,272	-0,493	0,271	-0,247
	ZnO	0,266	0,267	-0,502	0,266	-0,125



Şekil 4. 34. Kaplama yapılmış kumaşlarda oluşan yüzde ağırlık kayıpları, [a] 5000 tur, [b] 10000 tur.

4.9. Korelasyon Analizleri

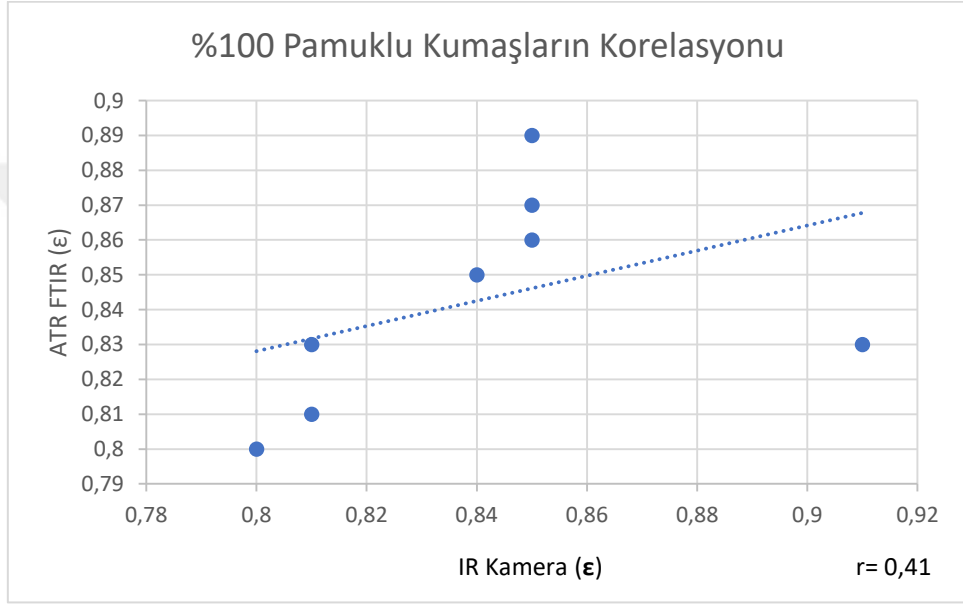
4.9.1. Emisivite Ölçüm Yöntemlerinin Korelasyonu

Emisivite ölçümlerinde iki farklı yöntem kullanılmış ve bu iki farklı ölçüm metodu arasında korelasyon olup olmadığı değerlendirilmiştir. Tablo 4.14’de Microsoft Excel yazılımı ile ölçülen korelasyon değerleri ve Şekil 4.35 – 4.39 arasında da yine aynı programla çizilen korelasyon grafikleri verilmiştir.

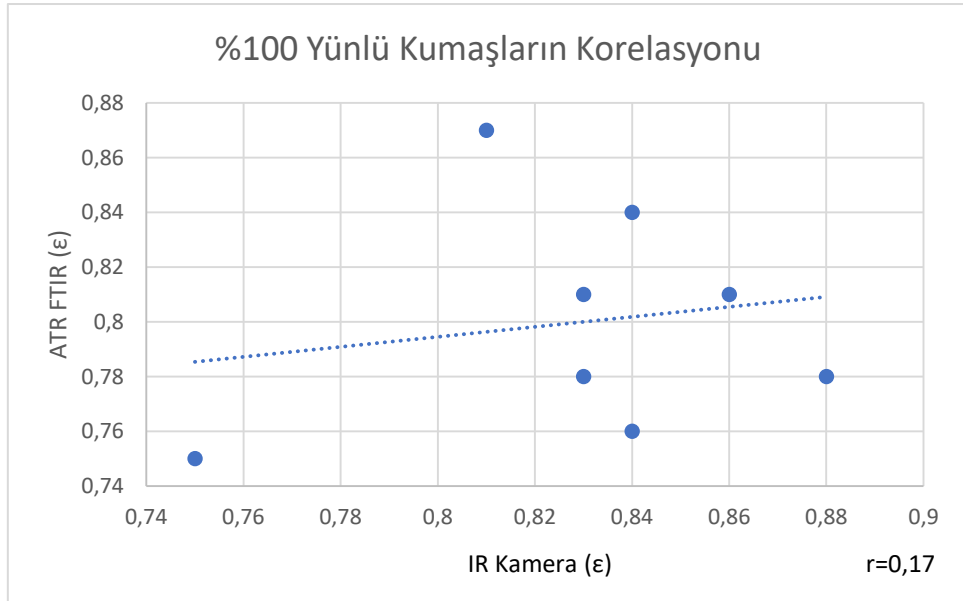
Tablo 4.14 ve Şekil 4.35 – 4.39 arası incelendiğinde; Co/PES ve viskon kumaşlarda orta düzeyde korelasyon yün, pamuk ve akrilik kumaşlarda ise zayıf korelasyon gözlenmiştir [126, 127]. İki farklı metot ile ölçülen emisivite değerleri arasında yüksek korelasyon verilerinin elde edilememesinin nedeni olarak, ATR-FTIR ölçümlerinde sıcaklık değerlerinin (oda sıcaklığı) istenildiği gibi değiştirilememesi ve FTIR ölçüm cihazında bulunan, emisivite ölçümünde kullanılan aparatların (siyah cisim fırını, numune ısıtma fırını, sıcaklık kontrolörü ve optik sistem) eksikliğinden dolayı olduğu düşünülmektedir [7, 93]. Korelasyon grafikleri incelendiğinde pozitif yönlü korelasyon gözlenmiştir.

Tablo 4. 14. İki ölçüm arasındaki emisivite değerlerinin korelasyonu.

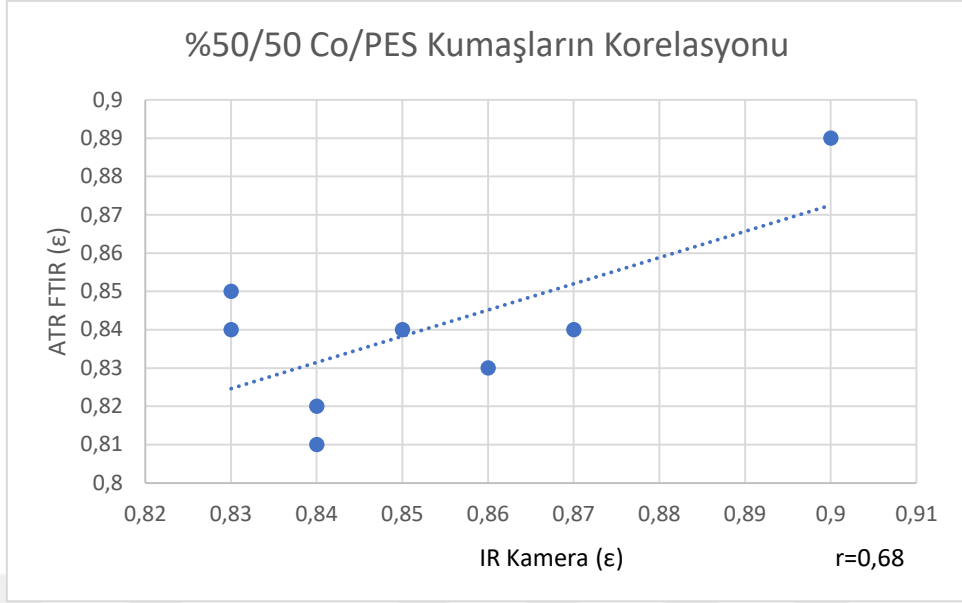
Kumaş Çeşidi	Korelasyon değeri (r)
%100 Pamuk	0,41
%100 Yün	0,17
%50-50 Pamuk-PES	0,68
%100 Viskon	0,63
%100 Akrilik	0,49



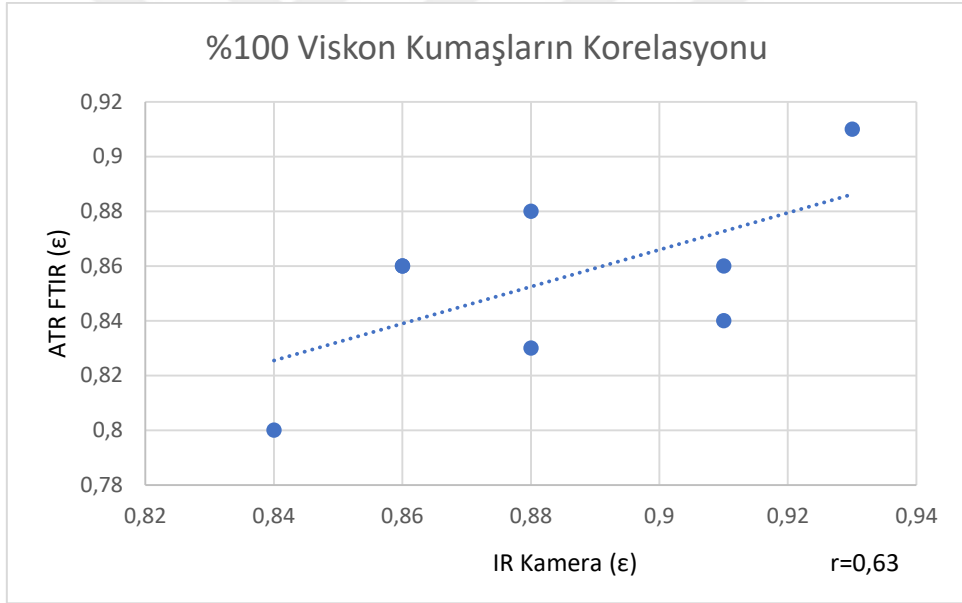
Şekil 4. 35. %100 Pamuklu numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



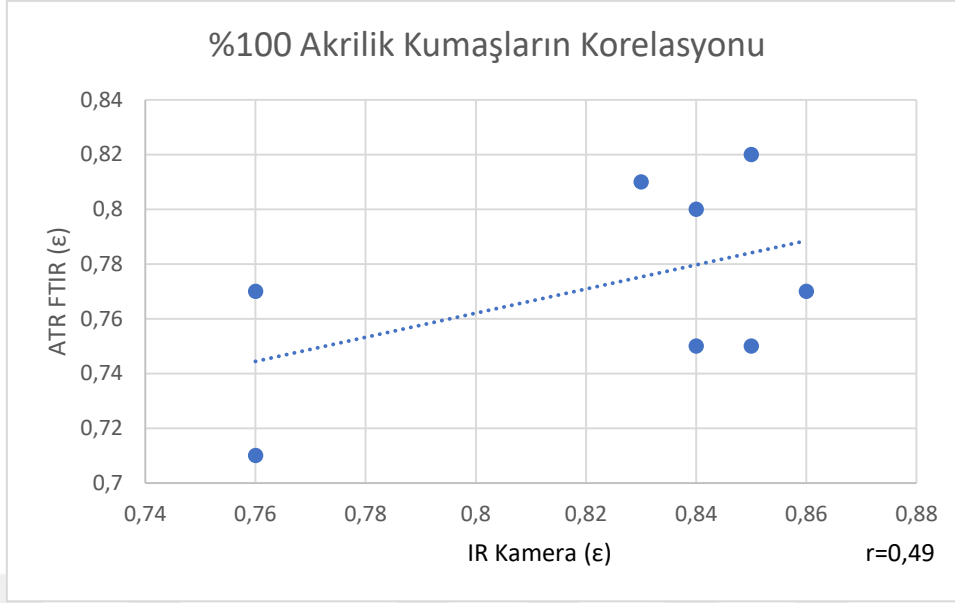
Şekil 4. 36. %100 Yünlü numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



Şekil 4. 37. %50/50 Co/PES numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



Şekil 4. 38. %100 Viskon numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



Şekil 4. 39. %100 Akrilik numunelerin emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.

4.9.2. Isı tutma ile emisivite ölçüm sonuçlarının korelasyonu

Numunelerin, IR Kamera yöntemiyle ölçülen emisivite ve ısı tutma verileri arasındaki korelasyon değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.15). Çalışmada, kumaşların 4. dakikadaki (240. saniye) IR kamerada ölçülen sıcaklık değerleri (°C) ile IR kamera yöntemiyle ölçülen emisivite değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilerin korelasyon grafikleri Şekil 4.40 - 4.44 arasında verilmiştir.

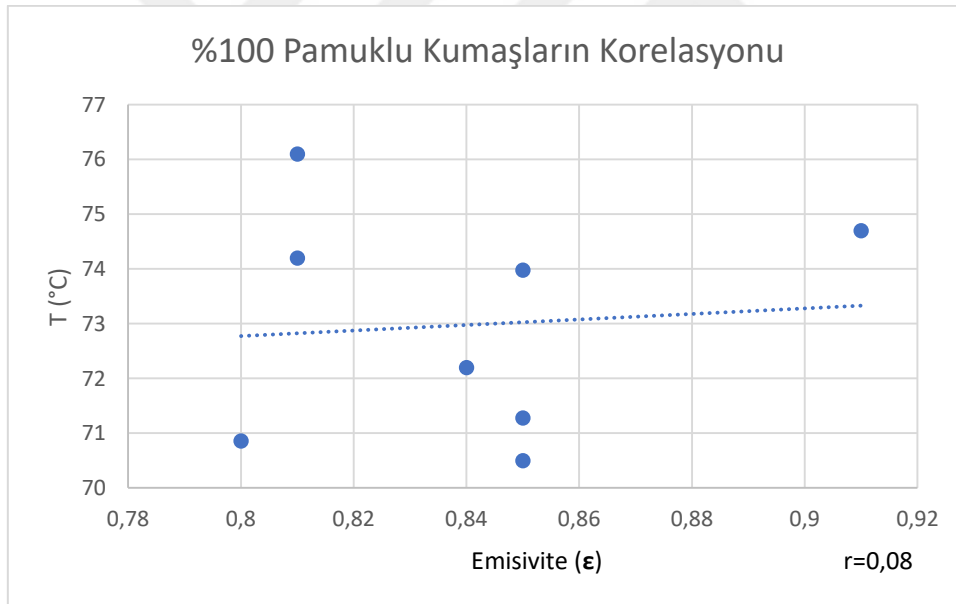
Emisivite ile ısı tutma arasındaki korelasyon değerleri ile grafikler incelendiğinde Co/PES ve viskon numunelerde korelasyondan söz edilebilir. Ancak diğer kumaş türlerinde ısı tutma ve emisyon arasında korelasyon gözlenmemiştir.

IR kamera ile elde edilen/görünen sıcaklık değeri, IR kamera tarafından okunan kızılötesi radyasyon değerinden kaynaklanır. Stefan-Boltzmann yasasına göre, bu ışıma mutlak sıcaklığın (Kelvin (K) derece cinsinden) dördüncü kuvveti ve salım/emisivite gücüyle orantılıdır. Aynı gerçek sıcaklıkta olan, ancak farklı emisyon değerlerine sahip kumaşlar, bir termal kamera ile gözlendiğinde farklı sıcaklık değerleri verecektir [98]. Bu nedenle, numunelerin ölçülen emisivite değerleri ile elde edilen ısı tutma verileri arasında istenilen düzeyde korelasyon oluşmamasını, IR kamerada ölçülen sıcaklık değerlerinin gerçek sıcaklıkları yansıtmaması şeklinde açıklanabilir. Buradan hareketle IR kamera ile yapılan emisivite ölçümlerinin Stefan-Boltzmann yasasına göre uygun olduğu sonucuna varılabilir. Sonuç olarak, ısı tutma testlerinde termal kamera ile

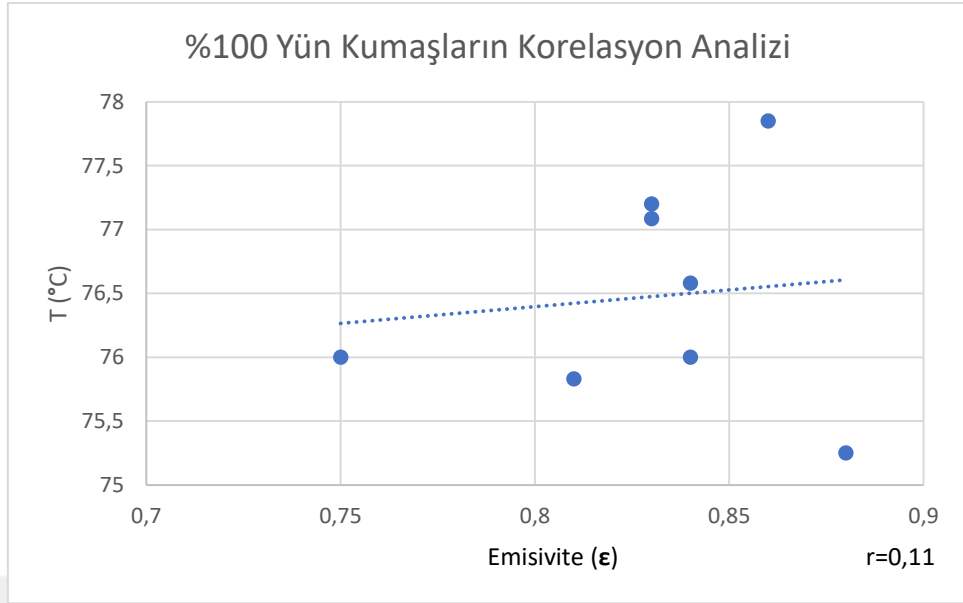
ölçülen kumaşların sıcaklık değerlerinin gerçek sıcaklığı yansıtmaması sonucu olarak emisivite ile ısı tutma değerleri arasında korelasyon ortaya çıkmamıştır. Bu nedenle ısı tutma testinin daha sağlıklı gerçekleştirilebilmesi için, kumaşların sıcaklık değerlerinin termokupl ile ölçülmesi testin güvenilirliği açısından daha doğru sonuç vereceği düşünülmektedir.

Tablo 4. 15. IR Kamerada ölçülen emisivite değerleri ile 4. dakikadaki ısı tutma (°C) arasındaki korelasyon değerleri.

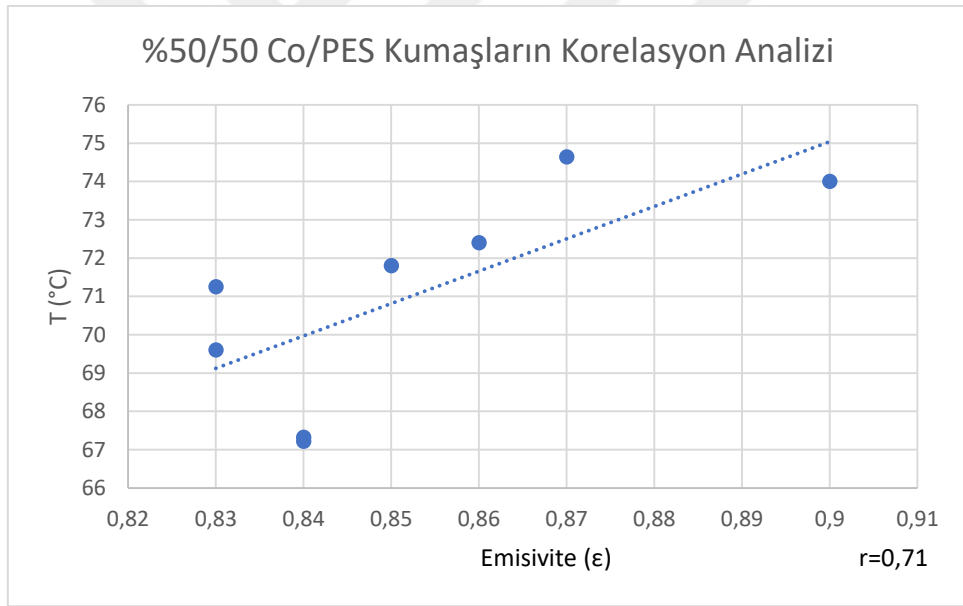
Kumaş Çeşidi	Korelasyon değeri (r)
%100 Pamuk	0,08
%100 Yün	0,11
%50-50 Pamuk-PES	0,71
%100 Viskon	0,68
%100 Akrilik	0,21



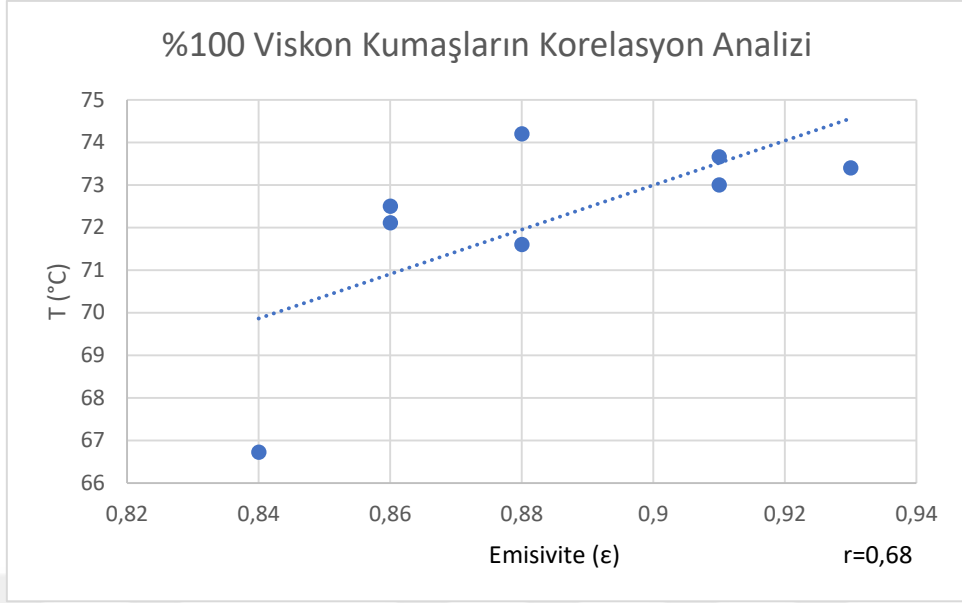
Şekil 4. 40. %100 Pamuk numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



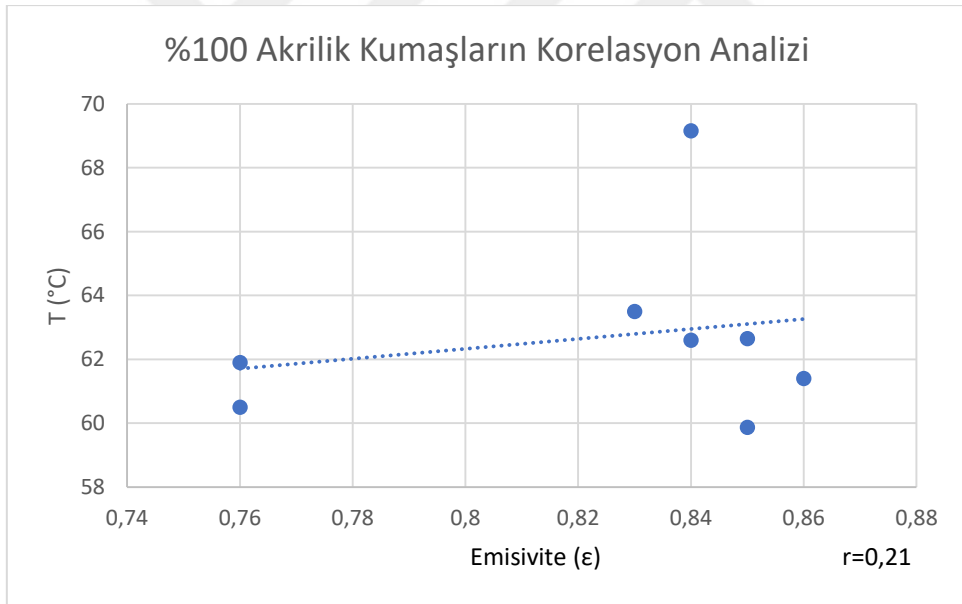
Şekil 4. 41. %100 Yün numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



Şekil 4. 42. %50-50 Co/PES numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



Şekil 4. 43. %100 Viskon numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.



Şekil 4. 44. %100 Akrilik numunelerin ısı tutma-emisivite değerlerinin korelasyon grafiği.

4.10. Kan Akış Test Değerlendirmesi

Uzak kızılötesi ışınların kan akış hızını arttırdığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [51, 128]. Yapılan bu tez çalışmasında tüm numunelerin kan akış hızını artırıp arttırmadığı mikrosirkülasyon cihazı kullanılarak video görüntüleri üzerinden sübjektif

olarak değerlendirilmiştir. Biyoseramik partikül içeren ve içermeyen kumaşların kan akış videoları incelendiğinde biyoseramik partikül ile kaplanmış numunelerin kan akış hızlarını arttırdığı subjektif olarak gözlenmiştir.

4.11. Biyoseramik Partikül Kaplı Kumaşların Bitki Büyüme Hızlarına Olan Etkisi

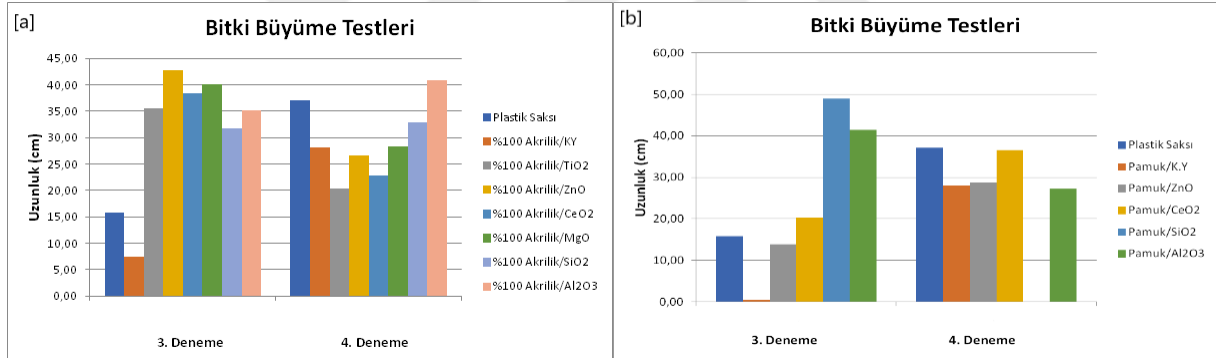
Uzak kızılötesi ışınların, bitkiler üzerindeki olumlu etkisinden daha önce bahsedilmişti. Bu çalışmada, biyoseramik nanopartikül içeren ve içermeyen kaplanmış kumaşlar ile kaplama yapılmamış kumaşlar saksı formuna getirilmiş ve içine fasulye tohumu ekilerek, biyoseramik partiküllerin bitki büyümesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma, pamuk ve akrilik kumaşlar ile gerçekleştirilmiş, kumaşlar aynı hacimde kesilerek saksı şekline getirilmiş ve içine aynı miktarda toprak konularak iki adet fasulye tohumu ekilmiştir. Bu çalışmada amaçlanan, biyoseramik partikül içeren kumaşların bitki büyümesine olan etkilerinin belirlenmesi olduğundan dolayı tüm numuneler test edilmemiş, aşınma dirençleri yüksek olan pamuk ve akrilik kumaşlar tercih edilmiştir. Çalışmada, testler ayrı günlerde yapılmış olup, test süresince ortam şartları tüm numunelerde aynı olacak şekilde düzenlenmiştir.

Birinci ve ikinci denemelerde çalışma sayısının az olmasından dolayı, kumaş ve kaplama sayıları arttırılarak üçüncü ve dördüncü denemeler yapılmıştır. Üçüncü ve dördüncü denemeler sonucunda elde edilen bitkilerin boy uzunluk değerleri Tablo 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.45'de dokuz gün sonunda bitki boylarının karşılaştırılmalı grafikleri verilmiştir. Tablolar ve grafikler incelendiğinde, üçüncü deney sonuçlarına göre biyoseramik partikül içeren kumaşların bitkinin hızlı büyümesinde belirgin bir fark yarattığı gözlenmiş, ancak ikinci çalışmada bu fark bazı kaplamalarda gözlenirken bazılarında ise gözlenmemiştir. Her iki çalışmada da (3. ve 4. denemeler) akrilik/ Al_2O_3 ile kaplanmış kumaşlarda büyüyen bitki boylarının kaplama yapılmamış ve plastik saksıya göre daha fazla olduğu ölçülmüştür. Bu nedenle akrilik/ Al_2O_3 numunelerin bitki gelişimi üzerinde olumlu sonuç verdiği söylenebilir. Ancak üç farklı denemede de %100 pamuklu kumaşlarda ki bitki boy uzunlukları değişken olduğundan dolayı bu kumaş ve kaplamaların bitki gelişiminde fark yaratmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. 16. Kaplama yapılmış %100 akrilik, %100 pamuklu kumaşlarda ve plastik saksıda yetişen bitkilerin dokuz gün sonundaki boy uzunlukları.

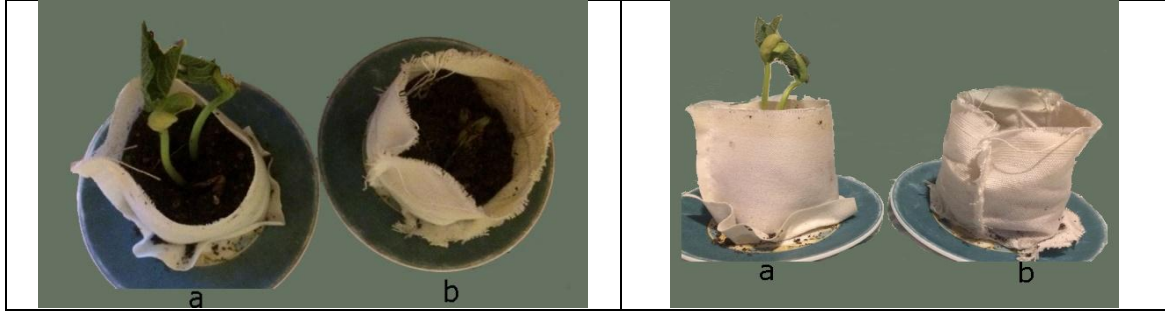
	Plastik Saksı (cm)	%100 Akrilik						
		KY (cm)	TiO ₂ (cm)	ZnO (cm)	CeO ₂ (cm)	MgO (cm)	SiO ₂ (cm)	Al ₂ O ₃ (cm)
3. Deneme	15,8	7,5	35,6-30,7	42,8-30,7	38,3-18,7	40,1-31,2	22,5-31,7	3,8-35,2
4. Deneme	37,1	28,1-17,6	20,4-14,3	26,7	22,9	28,4-19,1	32,8	40,8

	Plastik Saksı (cm)	%100 Pamuk				
		KY (cm)	ZnO (cm)	CeO ₂ (cm)	SiO ₂ (cm)	Al ₂ O ₃ (cm)
3. Deneme	15,8	0,5	11,8-13,8	20,3	48,9-4,9	41,4-40,8
4. Deneme	37,1	9,8-28,1	28,7-16,3	13,3-36,6	0	27,2



Şekil 4. 45. Dokuz gün sonunda bitki boylarının karşılaştırılması. [a] %100 Akrilik numuneler, [b] %100 Pamuk numuneler.

1. **Deneme:** Bu testte akrilik/TiO₂ ve kaplama yapılmamış akrilik kumaşlar gözlenmiştir. Şekil 4.46 incelendiğinde, akrilik/TiO₂ ile kaplanmış kumaşın, kaplama yapılmamış akrilik kumaşa göre bitki büyümesinin daha hızlı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4. 46. Akrilik/TiO₂ ve Akrilik/KY kumaşların üstten ve önden görünüşleri. a) Akrilik/TiO₂, b) Akrilik/KY.

2. **Deneme:** Çalışmada, %100 pamuklu kumaşlar test edilmiş ve bu testte aynı renkte (beyaz) plastik saksı da kullanılmıştır (Şekil 4.47). Yapılan test sonucunda, plastik saksıda ekilen fasulye bitkisi diğerlerine göre daha hızlı büyümüştür. Kaplama yapılmış ve yapılmamış kumaşlar arasında ise kayda değer bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 4. 47. %100 Pamuklu kumaş ve plastik saksıda yetişen fasulye bitki büyümlerinin karşılaştırılması. Soldan sağa sırasıyla; Pamuk/CeO₂, Pamuk/Al₂O₃, Pamuk/ZnO, Pamuk/SiO₂, Pamuk/KY ve plastik beyaz saksı.

3. **Deneme:** Üçüncü test çalışmasında, pamuk ve akrilik kumaşlara fasulye bitkisi ekilmiştir. Şekil 4.48 a, b ve c'de fasulye bitkisi ekildikten sırasıyla; birinci, altıncı ve yedinci gün sonrasının fotoğrafları görülebilir. Ekim yapıldıktan altı gün sonra, akrilik-TiO₂ ve pamuk-CeO₂ ile kaplı kumaşlarda ilk fidelerin topraktan çıktıkları gözlenmiştir. Genel olarak, biyoseramik partikül içeren kumaşlarda fasulye fidesi biyoseramik içermeyenlere göre daha hızlı topraktan çıkmış ve gelişmiştir (Şekil 4.48-c).



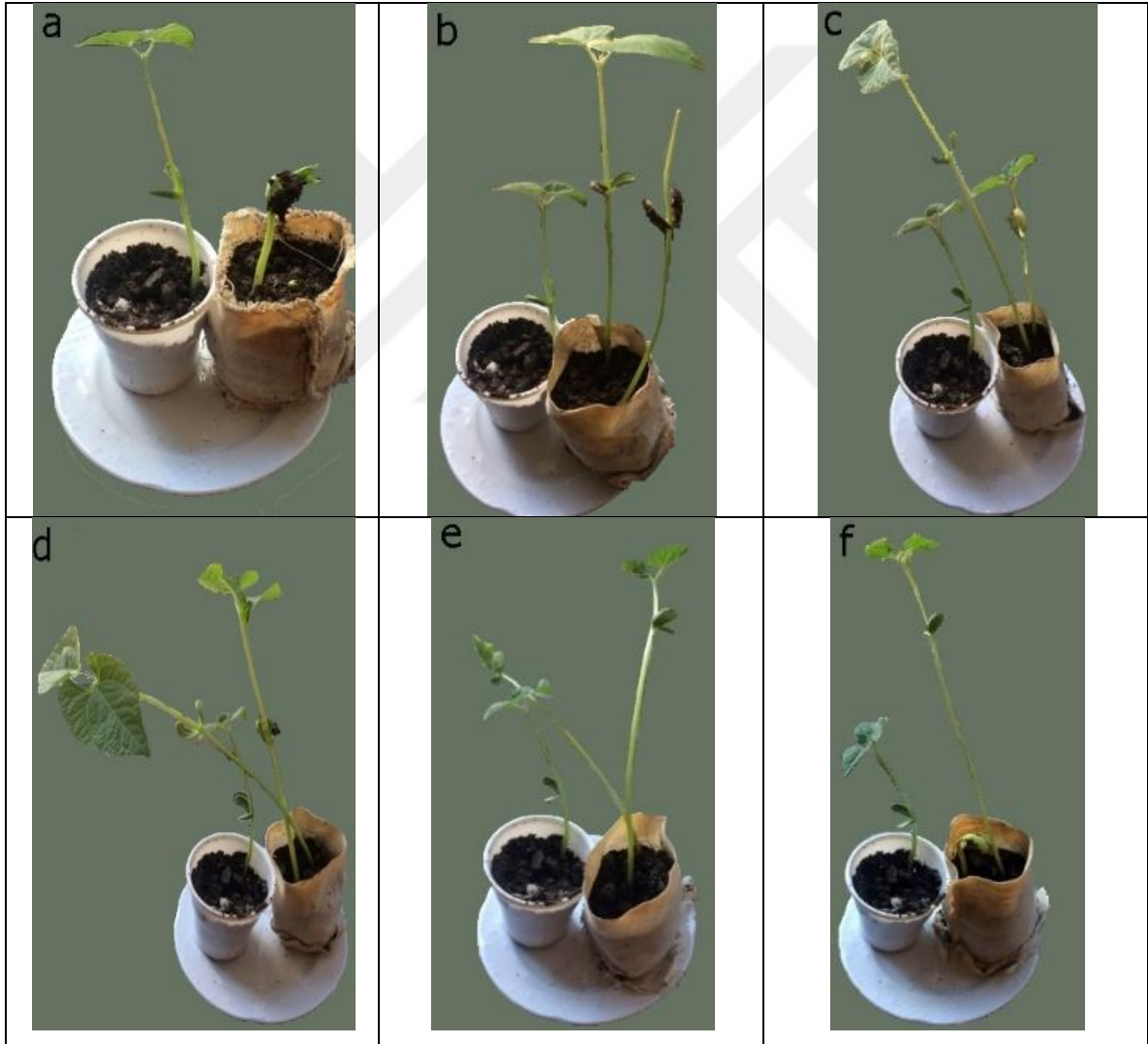
Şekil 4. 48. %100 Akrilik ve %100 Pamuk kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması. a) Bitkilerin ekildiği gün, b) Bitkiler ekildikten altı gün sonra, c) Bitkiler ekildikten yedi gün sonra.

Şekil 4.49-4.52’de ekilen bitkilerin dokuz gün sonraki büyüklükleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.49 incelendiğinde biyoseramik partikül içeren akrilik numunelere ekilen bitkiler, biyoseramik partikül içermeyen akrilik kumaşa göre daha hızlı gelişim göstermiştir. Aynı zamanda, kaplama yapılmamış akrilik kumaşa tek adet fidan gelişirken, biyoseramik nanopartikül içeren kaplamaların tümünde iki adet fidan gelişmiştir.



Şekil 4. 49. Akrilik kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması. a) Akrilik/KY (sol)-Akrilik/TiO₂ (sağ), b) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/ZnO (sağ), c) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/CeO₂ (sağ), d) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/MgO (sağ), e) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/SiO₂ (sağ) f) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/Al₂O₃ (sağ).

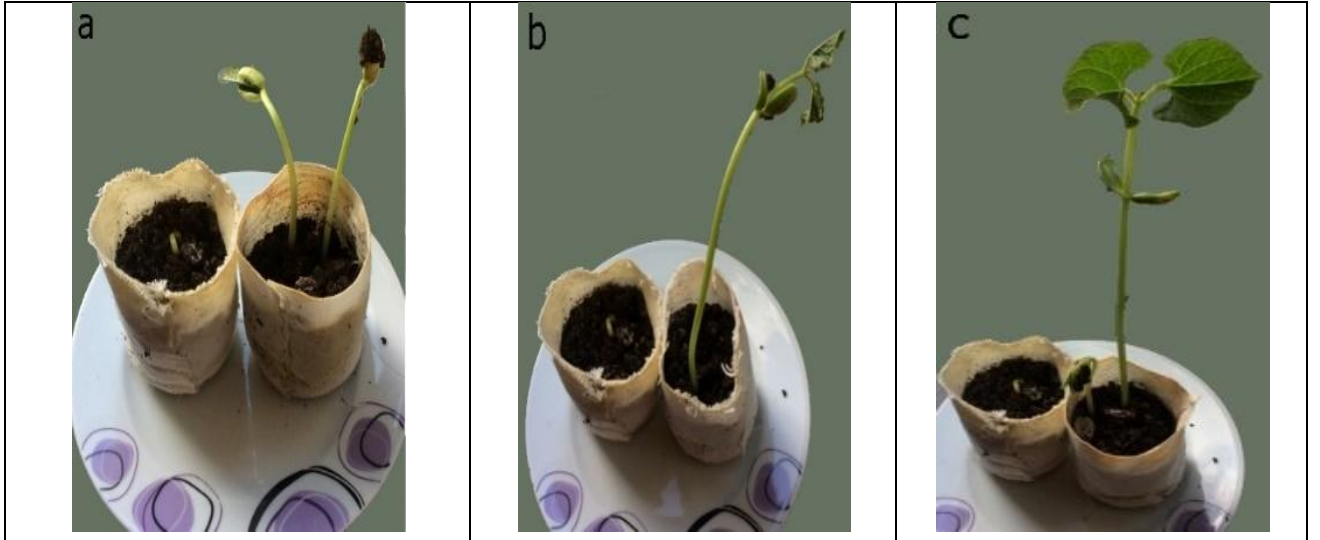
Şekil 4.50’de plastik (polipropilen) saksıda ekilen bitkiler, akrilik kumaşa ekilenlerle karşılaştırılmıştır. Biyoseramik partikül içeren kaplanmış tüm kumaşlardaki bitki büyüme hızının plastik saksıya göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kaplama yapılmamış akrilik kumaşta ki büyüme hızının ise plastik saksıya göre daha yavaş olduğu görülmüştür (Şekil 4.50-a).





Şekil 4. 50. Plastik saksı ile kumaşların bitki büyümlerinin karşılaştırılması. a) Polipropilen saksı (sol) - Akrilik/KY (sağ), b) Polipropilen saksı (sol) – Akrilik/TiO₂ (sağ), c) Polipropilen saksı (sol) – Akrilik/CeO₂ (sağ), d) Polipropilen saksı (sol) – Akrilik/MgO (sağ), e) Polipropilen saksı (sol) – Akrilik/SiO₂ (sağ) f) Polipropilen saksı (sol) – Akrilik/Al₂O₃ (sağ), g) Polipropilen saksı (sol) – Akrilik/ZnO (sağ).

Şekil 4.51’de %100 pamuklu numunelere ekilen bitkilerin büyümleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.51 incelendiğinde, biyoseramik partikül içeren kumaşlara ekilen bitkilerin, kaplama yapılmamışlara göre daha hızlı geliştikleri gözlenmiştir.

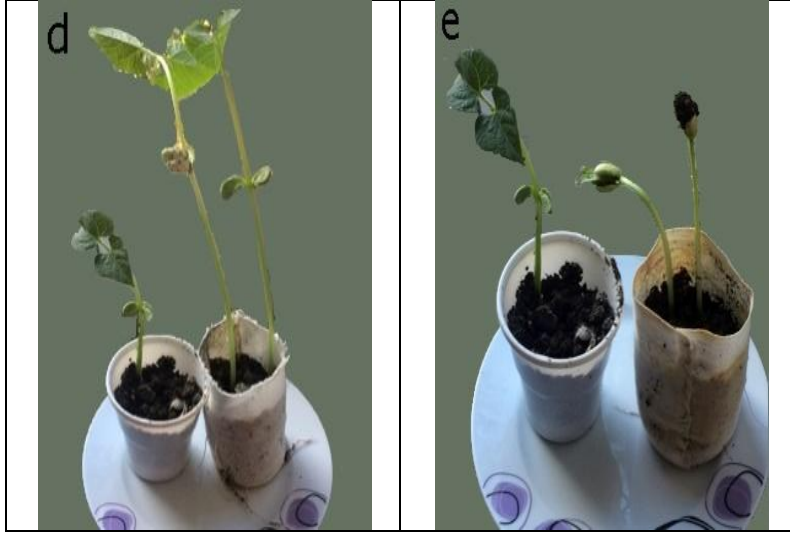




Şekil 4. 51. Kaplama yapılmamış ve biyoseramik nanopartikül içeren %100 pamuklu kumaşlarda bitki büyümesinin karşılaştırılması. a) Pamuk/KY (sol) - Pamuk/ZnO (sağ), b) Pamuk/KY (sol) – Pamuk/CeO₂ (sağ), c) Pamuk/KY (sol) – Pamuk/SiO₂ (sağ), d) Pamuk/KY (sol) – Pamuk/Al₂O₃ (sağ).

Şekil 4.52’de plastik (polipropilen) saksıya ekilen ve %100 pamuklu kumaşa ekilen bitkiler karşılaştırılmıştır. Şekil 4,52 incelendiğinde, ZnO ile kaplı kumaşlar hariç, biyoseramik partikül içeren %100 pamuklu kumaşlara ekilen tohumların büyüme hızının, plastik saksıya ve biyoseramik içermeyen %100 pamuklu kumaşlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.





Şekil 4. 52. Polipropilen saksı ve %100 pamuklu kumaşlarda bitki büyümesinin karşılaştırılması. a) Plastik saksı (sol) - %100 Pamuk/KY (sağ), b) Plastik saksı (sol) - %100 Pamuk/CeO₂, c) Plastik saksı (sol) - %100 Pamuk/SiO₂ (sağ), d) Plastik saksı (sol) - %100 Pamuk/Al₂O₃ e) Plastik saksı (sol) - %100 Pamuk/ZnO (sağ).

4. Deneme: Bu çalışma üçüncü denemenin tekrarı niteliğindedir. Şekil 4.53’de, fasulye tohumları ekildikten 5 gün sonrasının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4. 53. %100 Pamuk ve %100 Akrilik kumaşların bitki büyüme testi.

Şekil 4.54’te %100 pamuklu kumaşlara ekilen tohumların 12 gün sonraki karşılaştırılmalı fotoğrafları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, Pamuk-SiO₂ kaplama hariç diğer kaplamalarda yetişen bitkilerin gelişim hızlarında belirgin bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 4. 54. %100 Pamuklu kumaşların bitki büyümelerinin karşılaştırılması. a) %100 Pamuk/ Al_2O_3 (sol) - %100 Pamuk/KY (sağ), b) %100 Pamuk/ CeO_2 - %100 Pamuk/KY (sağ), c) %100 Pamuk/ SiO_2 (sol) - %100 Pamuk/KY (sağ), d) %100 Pamuk/ ZnO (sol) - %100 Pamuk/KY (sağ).

Şekil 4.55 incelendiğinde, akrilik- Al_2O_3 hariç biyoseramik partikül içeren ve içermeyen kumaşlar arasında bitki büyüme hızında belirgin bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 4. 55. %100 Akrilik kumaşların bitki büyüme karşılaştırılması. a) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/ZnO (sağ), b) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/MgO (sağ), c) Akrilik/KY (sol) ve Akrilik/TiO₂ (sağ), d) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/CeO₂ (sağ), e) Akrilik/KY (sol) –

Akrilik/ Al_2O_3 (sağ), f) Akrilik/KY (sol) – Akrilik/ SiO_2 (sağ), g) Akrilik/KY (sol) – Plastik saksı (sağ).



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatür incelendiğinde, uzak kızılötesi ışınların insan sağlığına faydalı olduğu ifade edilmiş ve uzun yıllardır bu ışınların uzak doğuda tedavi amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir. Biyoseramik malzemeler uzak kızılötesi ışınları 0,9 μ m üzerinde yayma özelliğine sahip minerallerdir [4, 15, 16].

Uzak kızılötesi ışınlar farklı yöntemler kullanılarak insan veya diğer canlı türleri ile (hayvan, bitki gibi) çeşitli amaçlar için buluşturulabilir (sauna, IR özellikli lamba v.b.). Bu yöntemlerden biri, iplik ve kumaş gibi ürünlere biyoseramik partiküller katılması neticesinde uzak kızılötesi ışın yayan tekstil ürünleri elde edilmesidir. Bu ışınları yayma özelliğine sahip tekstil ürünleri ticari olarak satılmaktadır ve literatürde de bu alanda birçok çalışma vardır. Ülkemizde, tekstil mühendisliği bölümlerinde bu alanda daha önce bir çalışma yapılmamış ve bu çalışma ilk olması nedeniyle önemlidir.

Bu tez çalışmasında, altı farklı biyoseramik nanopartikül, beş farklı hammaddeden oluşan kumaşlara kaplanmış ve kaplanmış kumaşların uzak kızılötesi ışınları yayma ve diğer analizleri yapılmıştır. Çalışmada, kumaşın dokuma yapısından kaynaklanan farklılıkların emisivite üzerindeki etkisinin en aza indirilmesi amacıyla aynı numaraya sahip iplikler kullanılarak, aynı dokuma sıklığı ve konstrüksiyonunda kumaşlar elde edilmiştir. Biyoseramik partiküllerin uzak kızılötesi yayıcılık üzerindeki etkinliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla kumaşların bir kısmına kaplama yapılmamış, bir kısmına ise biyoseramik nanopartikül içeren ve içermeyen kaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır.

Yukarıda anlatılanların ışığında bu tez çalışmasının kompozit sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Buna göre:

1. Kaplanmış kumaşların SEM görüntüleri incelendiğinde kumaşlar üzerinde biyoseramik partikül varlığı tespit edilmiştir.
2. Kaplama kimyasalında çözücü olarak su kullanıldığından ve kaplama kimyasalının karıştırılması mekanik karıştırıcı ile yapıldığından agregasyon (kümeleşme) gözlenmiştir [93-95]. Bu nedenle SEM görüntüleri üzerinden ölçülen biyoseramik partikül boyutlarının katalogta verilen partikül büyüklüğü değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiş olup aynı zamanda agregasyondan dolayı partikül dağılımının homojen olmadığı da gözlenmiştir.
3. Emisivite ölçümleri tez içinde açıklandığı gibi iki farklı metotla (Bkz. Bölüm 4.2.) gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değerler incelendiğinde, her iki ölçüm sonucunda da

kumaşlar üzerinde biyoseramik partikül varlığının emisivite değerlerini yükselttiği görülmüştür. Emisivite değerlerinin yükselmesi biyoseramik partikül kaplı kumaşların uzak kızılötesi yayıcılık değerlerini arttırdığının bir göstergesidir.

4. IR Kamera ile yapılan emisivite değeri ölçümleri sonucunda yapılan hesaplamalarda en yüksek değişim yünlü kumaşlarda, en düşük değişim ise Co/PES numunelerde görülmüştür.

5. IR kamera ile yapılan emisivite ölçümlerinde, emisivite haritaları elde edilmiştir. Kumaşlarda biyoseramik partikül varlığının emisiviteyi arttırdığı elde edilen haritalar üzerinde de gözlenmiştir. Biyoseramik partiküllerin kumaş yüzeyinde homojen dağılmamasından dolayı emisivite değerlerinin kumaşın farklı bölgelerinde ihmal edilebilecek oranda değiştiği tespit edilmiştir.

6. Biyoseramik partikül çeşidine göre IR kamera ile elde edilen emisivite ölçümleri değerlendirildiğinde en yüksek emisivite ortalaması CeO_2 (ϵ_{ort} : 0,878) ile kaplı kumaşlarda ortaya çıkmıştır. Buna göre ortalama emisivite ölçüm sıralaması şu şekilde gerçekleşmiştir: CeO_2 (ϵ_{ort} : 0,878) > Al_2O_3 (ϵ_{ort} : 0,87) > ZnO (ϵ_{ort} : 0,864) > MgO (ϵ_{ort} : 0,846) > $\text{TiO}_2=\text{SiO}_2$ (ϵ_{ort} : 0,844) > BİK (ϵ_{ort} : 0,824) > KY (ϵ_{ort} : 0,798). Bu sonuçlara bakıldığında CeO_2 biyoseramik partiküllerinin emisiviteyi en fazla yükselten biyoseramik partikül çeşidi olduğu söylenebilir.

7. Emisivite ölçümleri 40-70 °C ve 60-90 °C sıcaklık aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen histerizis grafikleri incelendiğinde kaplanmış kumaşların büyük çoğunluğunda, 40-70 °C sıcaklık aralığında ölçülen emisivite değerlerinin 60-90 °C sıcaklık aralığında ölçülen emisivite değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak değerler birbirine çok yakın olduğu için aradaki ölçüm farklılığı değerleri ihmal edilebilir seviyededir. Daha önceki çalışmalarda da bu çalışmanın paralelinde değerler görülmüştür [103]. Bu nedenle çalışmada uygulanan sıcaklık aralıklarının (40-90 °C) emisivite değerleri üzerinde önemli bir fark yaratmadığı söylenebilir.

8. ATR FTIR ile IR kamerada elde edilen emisivite ölçüm değerlerine bakıldığında, pamuk/polyester ve viskon numunelerinde orta derecede korelasyon, diğer numuneler arasında ise zayıf bir korelasyon görülmüştür. Ancak, biyoseramik toz varlığının absorbands ve emisivite değerleri üzerinde pozitif etkisinden söz edilebilir.

9. Kumaşların ATR FTIR ile iç bağları analiz edilmiştir ve TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , CeO_2 içeren kaplamalarda karakteristik pikler gözlenirken [106-112], MgO ve ZnO ile kaplı kumaşlarda gözlenmemiştir.

10. IR lamba kullanılarak yapılan testlerde, en yüksek ısı tutma değerleri yünlü kumaşlarda ($T_{(\text{max } ^\circ\text{C}/4. \text{ dk.})}$: $76,4 ^\circ\text{C}$), en düşük ısı tutma değerlerinin ise akrilik kumaşlarda ($T_{(\text{max})}$: $62,5 ^\circ\text{C}$) olduğu tespit edilmiştir. Tez içerisinde nedeni ifade edildiği gibi (Bkz. Bölüm 3.3.6), yapılan testlerin dördüncü dakikasında ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinin sıralaması Yün > Pamuk > Viskon > Co/PES > Akrilik şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu sıralamaya göre genel olarak doğal lif içeren kumaşların ısı tutma değerlerinin sentetik liflerden yüksek olduğu söylenebilir.

11. Isı tutma test sonuçlarına göre biyoseramik partikül içeren kumaşların genel olarak ısı tutma ölçüm değerlerinin kaplama yapılmamış kumaşların ısı tutma ölçüm değerlerine göre daha yüksek olduğu, özellikle de MgO partikülleri ile kaplı kumaşların ısı tutma değerlerinin diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

12. Emisivite (IR kamera) değerleri ile ısı tutma değerleri arasındaki korelasyon incelendiğinde, Co/PES ve viskon kumaşlarda orta düzeyde bir korelasyon ($r_{(\text{Co/PES})}$: 0,71, $r_{(\text{viskon})}$: 0,68) gözlenirken, diğer numunelerde ise ($r_{(\text{Pamuk})}$: 0,08, $r_{(\text{Yün})}$: 0,11, $r_{(\text{Akrilik})}$: 0,21) zayıf bir korelasyon gözlenmiştir.

13. Çalışmada uygulanan termal iletkenlik sonuçlarına göre biyoseramik partiküller arasında en yüksek iletkenlik değerinin çinko oksit ile kaplanmış kumaş numunelerinde olduğu görülmüştür. Elde edilen termal iletkenlik değerlerinin sıralaması $\text{ZnO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 > \text{MgO} > \text{CeO}_2 > \text{BİK} > \text{SiO}_2$ şeklinde gerçekleşmiştir. Kaplama kimyasalının kumaşların öz direncini arttırmasından dolayı [122], bu çalışmada da kaplama yapılmış kumaşların iletkenlik değerlerinin kaplama yapılmamış kumaşa göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çinko oksit ile kaplı kumaşların termal iletkenliğinin yüksek olması, bu seramiklerin iyi iletkenliğe sahip olması ile açıklanabilir [119]. Aynı zamanda silikon dioksit (silika) iyi seviyede kimyasal-termal stabiliteye ve düşük ısı iletkenliğe sahip olması [121] nedeniyle de termal iletkenlik değeri en düşük kaplama çeşidi olmuştur.

14. Hava geçirgenlik test sonuçlarına bakıldığında, en yüksek değerlerin yünlü, en düşük değerlerin ise akrilik kumaşlarda ortaya çıktığı, diğer taraftan da yüksek pat

viskozitesi nedeniyle SiO_2 ve Al_2O_3 ile kaplı kumaşların hava geçirgenlik değerlerinin diğer kaplamalara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

15. Hidrostatik su geçirmezlik testi, TiO_2 ve BİK kumaşlara uygulanmıştır. Ölçümler sonucunda, pamuk/ TiO_2 ve pamuk/BİK kumaşların en yüksek su geçirmezlik değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Pamuklu kumaşların su geçirmezlik değerinin diğer kumaşlara göre yüksek olmasını, en fazla gramaja sahip olması şeklinde açıklayabiliriz [123]. Aynı zamanda kaplama patlarının viskozitesi de su geçirmezlik değerlerinde belirleyici olmuştur [124].

16. Kaplanmış kumaşların Martindale aşınma test sonuçlarına göre en fazla ağırlık kaybının yünlü dokumalarda olduğu gözlenmiştir. Bu durum, yünün nem çekme değerlerinin diğer lif türlerine göre yüksek olması [125] ve yünün sahip olduğu kütikül tabakasının sürtünmeden dolayı aşınması ile açıklanabilir.

17. Biyoseramik partikül ile kaplanmış kumaşların kan akış hızındaki değişim sübjektif gözleme dayanarak yorumlanmıştır. Elde edilen görüntülere göre, biyoseramik ile kaplanmış kumaş ile sarılan kolda kan akışının hızlandığı görülmüştür. Değerlendirme sübjektif kriterlere dayandığı için bu çalışmanın geliştirmeye ihtiyaç duyduğu söylenebilir.

18. Çalışmanın son bölümünde kumaşlarda biyoseramik partikül varlığının bitki büyümesine olan etkileri incelenmiştir. Testler %100 pamuk ve %100 akrilik kumaşlar ile yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, yalnızca akrilik/ Al_2O_3 kumaşlarda bitki büyüme hızının pozitif etkisinden söz edilebilir.

Gelecek çalışmalara yön vermesi amacıyla, yukarıda maddeler halinde açıklanan sonuçlar ışığında düşünülen öneriler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. SEM analizleri incelendiğinde tüm kaplamalarda partikül boyutlarının değiştiği ve kumaşların her yerinde homojen dağılmadığı görülmüştür. Bu nedenle partiküllerin homojen olarak dağılması ve agregasyon oluşmaması için farklı karıştırma teknikleri (ultrasonik karıştırma) veya farklı kaplama yöntemleri (mikrokapsülasyon, köpük uygulaması v.b.) ileri ki çalışmalarda uygulanabilir.

2. Yapılan çalışmalarda FIR yayma özelliğinin arttığı gözlenmiş ve ilgili alana ticari olarak bakıldığında saha çalışmalarının arttırılması önerilmektedir.

3. Kumaşların FIR etkilerinin artması için vücuda mümkün olduğunca temas etmesi gerekmektedir. Bu nedenle FIR özellikli kumaşların vücudu daha iyi sarması için bu kumaşların elastan içeriğine sahip olması önerilmektedir.
4. MgO (düşük viskozite) ve Al₂O₃ (yüksek viskozite) içeren patların viskozite değerleri kaplama işlemi için uygun değildir. Bu partiküller ile FIR özellikli tekstil ürünü elde ederken, MgO ve Al₂O₃ partiküllerinin masterbatch formuna getirilip ekstrüderde lif içine katılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.
5. FIR özellikli kumaşların bitki büyüme testleri farklı yöntemler uygulanarak gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler arasında; malçlama, ısı tutucu kumaşlar gibi tarım teknik tekstillerinde uygulanan metotlar sayılabilir.
6. Kızılötesi lamba ile yapılan ısı tutma testi ve ölçülen emisivite değerleri arasında daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen yüksek korelasyon bu çalışmada gözlenmemiştir. Bunun en büyük nedeninin IR kamera ile elde edilen sıcaklık değerlerinin gerçek sıcaklığı yansıtmaması olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, ısı tutma testinin daha sağlıklı veriler ile gerçekleştirilebilmesi için gerçek sıcaklıkların termokupl cihazı kullanılarak ölçülmesi gelecek çalışmalar için önerilmektedir.
7. Kaplama patındaki biyoseramik partikül miktarı %1 olarak kumaşlara uygulanmıştır. Biyoseramik partikül miktarı arttıkça FIR yayma şiddetinin de arttığı önceki çalışmalarda belirtilmiş olup, sonraki çalışmalarda biyoseramik partikül varlığının %1'in üzerinde kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kızılötesi, <https://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1z%C4%B1l%C3%B6tesi>, 18.02.2017.
- [2] Vatansever, F., Hamblin, M. R. (2012) Far infrared radiation (FIR): its biological effects and medical applications. *Photonics & lasers in medicine*, 1(4), 255-266.
- [3] Cristiano, L. (2019) Use of infrared as a complementary treatment approach in medicine and aesthetic medicine. *Asploro Journal of Biomedical and Clinical Case Reports*, 2(2), 77-81.
- [4] Dyer, J. (2011) *Infrared Functional Textiles*, Functional textiles for improved performance, protection and health, Woodhead Publishing Ltd., Editors.; Pan, N., Sun, G., Cambridge, England.
- [5] Innovation in Textiles, <http://www.innovationintextiles.com/ancient-wisdom-inspires-responsive-far-infrared-fibres/>, 21.03.2017.
- [6] Beever R. (2009) Far-infrared saunas for treatment of cardiovascular risk factors. *Canadian Family Physician*, 55, 691-696.
- [7] Takeuchi S. (2010) Spectral Emissivity Measurement Using FTIR Spectrophotometry. *FTIR Talk Letter*, 13, 4-6.
- [8] Arslanbay H. Bazı Tarımsal Ürünlerin Emissivite Değerlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye, 8-12.
- [9] Çalışan, M., Türkoğlu, İ. (2011) Termal Kameralar ve Uygulamaları. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 1-4 Aralık, Bursa, Türkiye.
- [10] Emissivity Measure TSS-5X, Instruction Manual, Japan Sensor Corporation.
- [11] Yifei, T., Tenghao, L., Chenxiao, Y., Naixiang, W., Feng, Y., Li, L. (2018) The Influence of Fiber Cross-Section on Fabric Far-Infrared Properties. *Polymers*, 10(10), 1-13.
- [12] Robitaille, P.M. (2018) Kirchhoff's Law of Thermal Emission: Blackbody and Cavity Radiation Reconsidered. *Progress in Physics*, 14(3), 141-151.
- [13] Anderson, D.M., Fessler, J.R., Pooley, M.A., Seidel, S., Hamblin, M.R., Beckham, H. W., Brennan, J.F. (2017) Infrared radiative properties and thermal modeling of ceramic-embedded textile fabrics. *Biomedical optics express*, 8(3), 1698-1711.

- [14] Pasinli, A. (2004) Biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler. *Makine teknolojileri elektronik dergisi*, 4, 25-34.
- [15] Stamatovski, A., Fidoski, J. (2017) Osteoinductive potential of bone scaffolds developed from FYR Bioceramic (a material of emitting high performance far-infrared ray irradiation). *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(1), 272-273.
- [16] Cian, C., Gianocca, V., Barraud, P.A., Guerraz, M., Bresciani, J. P. (2015) Bioceramic fabrics improve quiet standing posture and handstand stability in expert gymnasts. *Gait & posture*, 42(4), 419-423.
- [17] Leung, T.K., Huang, P.J., Chen, Y.C., Lee, C.M. (2011) Physical-chemical Test Platform for Room Temperature, Far-infrared Ray Emitting Ceramic Materials (cFIR). *Journal of the Chinese Chemical Society*, 58(5), 653-658.
- [18] Sankauskaitė, A., Rubežienė, V., Kubilienė, D., Abraitienė, A., Baltušnikaitė-Guzaitienė, J., Dubinskaitė, K. (2020) Investigation of Thermal Behavior of 3D PET Knits with Different Bioceramic Additives. *Polymers*, 12(6), 1-12.
- [19] Guo, B., Yang, L., Hu, W., Li, W., Wang, H. (2015) Effect of nano-sized cerium-zirconium oxide solid solution on far-infrared emission properties of tourmaline powders. *Modern Physics Letters B*, 29(30), 1-11.
- [20] Harris, L., Piper, J. (1962) Transmittance and Reflectance of Aluminum-Oxide Films in the Far Infrared. *Journal of the Optical Society of America*, 52(2), 223_1-224.
- [21] Yuce, I. (2017) Uzak Kızılötesi Işın Yayan Kumaş ve İplikler. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 18(2), 145-151.
- [22] Cristiano, L. (2019) Use of infrared-based devices in aesthetic medicine and for beauty and wellness treatments. *Infrared Physics & Technology*, 102, 1-7.
- [23] Meng, J., Liang, J., Liu, J., Ding, Y., Gan, K. (2014) Effect of heat treatment on the far-infrared emission spectra and fine structures of black tourmaline. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14(5), 3607-3611.
- [24] Yoo, B.H., Park, C.M., Oh, T.J., Han, S.H., Kang, H.H., Chang, I.S. (2002) Investigation of jewelry powders radiating far-infrared rays and the biological effects on human skin. *Journal of Cosmetic Science*, 53(3), 175-184.
- [25] Diebold U. (2003) The surface science of titanium dioxide. *Surface Science Reports*, 48(5), 53-229.

- [26] Özen, İ., Uğur, Ş.S., Sarıışık, A.M. (2018) Çok Tabakalı ZnO veya TiO₂ Kaplanmış %100 Pamuklu Kumaşların Dispers Boyarmaddelerle Transfer Baskı Yöntemine Göre Basılması. *Tekstil ve Mühendis*, 25(109), 37-43.
- [27] Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N. (2006) Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları (Bölüm 2). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(4), 225-229.
- [28] Öztarhan, A., Akpek, A., Oks, E., Nikolaev, A. (2010) İyon implantasyon tekniğini alternatif bir Nanotekstil teknolojisi olarak kullanarak medikal tekstillerin antibakteriyel ve aşınmaya karşı dirençli hale getirilmesi. 15th National Biomedical Engineering Meeting, 21-24 April, Antalya, Turkey.
- [29] Wong, Y.W.H., Yuen, C.W.M., Leung, M.Y.S., Ku, S.K.A., Lam, H.L.I. (2006) Selected applications of nanotechnology in textiles. *AUTEX Research Journal*, 6(1), 1-8.
- [30] Chung, J., Lee, S. (2014) Development of nanofibrous membranes with far-infrared radiation and their antimicrobial properties. *Fibers and Polymers*, 15(6), 1153-1159.
- [31] Shim, M.H., Park, C.H., Shim, H.S. (2009) Effect of ceramics on the physical and thermo-physiological performance of warm-up suit. *Textile Research Journal*, 79(17), 1557-1564.
- [32] Abbas, A., Zhao, Y., Ali, U., Lin, T. (2017) Improving heat-retaining property of cotton fabrics through surface coatings. *The Journal of The Textile Institute*, 108(10), 1808-1814.
- [33] Xiao, X., Cao, G., Chen, F., Tang, Y., Liu, X., & Xu, W. (2015) Durable superhydrophobic wool fabrics coating with nanoscale Al₂O₃ layer by atomic layer deposition. *Applied Surface Science*, 349, 876-879.
- [34] Salvatore, S., Leonardo, P. (2020) Cerium and cerium oxide: A brief introduction, *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*, 1st Edition, Editors.; Salvatore, S., Leonardo P., Elsevier.
- [35] Matin, A., Baig, U., Gondal, M.A., Akhtar, S., Zubair, S.M. (2018) Superhydrophobic and superoleophilic surfaces prepared by spray-coating of facile synthesized Cerium (IV) oxide nanoparticles for efficient oil/water separation. *Applied Surface Science*, 462, 95-104.

- [36] Faria, P.C.C., Órfão, J.J.M., Pereira, M.F.R. (2009) Activated carbon and ceria catalysts applied to the catalytic ozonation of dyes and textile effluents. *Applied Catalysis B: Environmental*, 88(3-4), 341-350.
- [37] Rajan, S.T., Karthika, M., Balaji, U., Muthappan, A., Subramanian, B. (2017) Functional finishing of medical fabrics using CeO₂/allicin nanocomposite for wound dressings. *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 747-752.
- [38] Jie, L., Junping, M., Liang, J., Xiaoli, H. (2014) Effect of far infrared radiation ceramics containing rare earth additives on surface tension of water. *Journal of Rare Earths*, 32(9), 890-894.
- [39] Xue, G., Wang, Y.Q., Zhang, L., Zhang, X.F. (2010) Preparation of Tourmaline Composite Materials and Its Property of Far Infrared Radiance. *Advanced Materials Research*, 96, 165-170.
- [40] Abdelrahman, M.S., Nassar, S.H., Mashaly, H., Mahmoud, S., Maamoun, D., El-Sakhawy, M., Khattab, T.A., Kamel, S. (2020) Studies of Polylactic Acid and Metal Oxide Nanoparticles-Based Composites for Multifunctional Textile Prints. *Coatings*, 10(1), 1-19.
- [41] Jin, T., He, Y. (2011) Antibacterial activities of magnesium oxide (MgO) nanoparticles against foodborne pathogens. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(12), 6877-6885.
- [42] Kong, Q., Li, Z., Zhang, Z., Ren, X. (2020) Functionalization of PET fabric via silicone based organic–inorganic hybrid coating. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 83, 430-437.
- [43] Tian, S., Zhao, J., He, J., Shi, H., Jin, B., Qin, S., Xia, Y., Xiao, C. (2020) Facile preparation of multi-scale nanoarchitectures on cotton fabric with low surface energy for high performance self-cleaning. *The Journal of The Textile Institute*, 111(11), 1-11.
- [44] Zinc oxide, https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_oxide, 20.03.2020.
- [46] Wang, W., Fang, S., Zhang, L., Mao, Z. (2015) Infrared stealth property study of mesoporous carbon-aluminum doped zinc oxide coated cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 85(10), 1065-1075.
- [47] Honda, K., Inoue, S. (1988) Sleep-enhancing effects of far-infrared radiation in rats. *International Journal of Biometeorology*, 32, 92-94.

- [48] Lin, C.C., Yang, W.C., Chen, M.C., Liu W.S., Yang C.Y., Lee P.C. (2013) Effect of Far Infrared Therapy on Arteriovenous Fistula Maturation: An Open-Label Randomized Controlled Trial. *American Journal of Kidney Diseases*. 62(2), 304-311.
- [49] Hwang, S., Lee, D.H., Lee, I.K., Park, Y.M., Jo, I. (2014) Far-infrared radiation inhibits proliferation, migration, and angiogenesis of human umbilical vein endothelial cells by suppressing secretory clusterin levels. *Cancer Letters*, 346, 74–83.
- [50] Lou, C.W., Lin, J.H. (2011) Evaluation of Bamboo Charcoal/Stainless Steel/TPU Composite Woven Fabrics. *Fibers and Polymers*, 12(4), 514-520.
- [51] Conrado, L.A., Munin, E. (2011) Reduction in body measurements after use of a garment made with synthetic fibers embedded with ceramic nanoparticles. *J Cosmet Dermatol*, 10(1), 30-35.
- [52] Liao, B.Y., Leung, T.K., Ou, M.C., Ho, C.K., Yang, A., Lin, Y.S. (2012) Inhibitory effects of far-infrared ray-emitting belts on primary dysmenorrhea. *International Journal of Photoenergy*, 2012, 1-6.
- [53] Evaluating Far Infrared Rays (FIR) Reflecting Responsive Textiles, <https://www.textilemates.com/infrared-reflecting-responsive-textiles/>, 19.09.2019.
- [54] Leung, T.K., Shang, H.F., Chen, D.C., Chen, J.Y., Chang, T.M., Hsiao, S. Y., Ho, K.C., Lin, Y.S. (2011) Effects of far infrared rays on hydrogen peroxide-scavenging capacity. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 23(02), 99-105.
- [55] Jeon, K.I., Park, E., Park, H.R., Jeon, Y.J., Cha, S.H., Lee, S.C. (2006) Antioxidant activity of far-infrared radiated rice hull extracts on reactive oxygen species scavenging and oxidative DNA damage in human lymphocytes. *Journal of medicinal food*, 9(1), 42-48.
- [56] Lima, M.V., Ochiai, M.E., Vieira, K.N., Scipioni, A., Cardoso, J.N., Munhoz, R.T., Morgado, P.C., Barretto, A.C.P. (2014) Thermal vasodilation using a portable infrared thermal blanket in decompensated heart failure. *International heart journal*, 55(5), 433-439.
- [57] Beever, R. (2010) Do Far-infrared Saunas Have Cardiovascular Benefits in People with Type 2 Diabetes?. *Canadian Journal of Diabetes*, 34(2), 113-118.

- [58] Hassan, H., Sade, A.B., Rahman, M.S. (2017) Innovative Technologies Preference for Slimming Treatment. *International Journal of Business and Management*, 1(2), 01-06.
- [59] Kuo, C.F.J., Fan, C.C., Su, T.L., Chen, S.H., Lan, W.L. (2016) Nano composite fiber process optimization for polypropylene with antibacterial and far-infrared ray emission properties. *Textile Research Journal*, 86(16), 1677-1687.
- [60] Wei, W., Zhu, Y., Li, Q., Cheng, Z., Yao, Y., Zhao, Q., Zhang, P., Liu, X., Chen, Z., Xu, F., Gao, Y. (2020) An Al₂O₃-cellulose acetate-coated textile for human body cooling. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 211, 1-7.
- [61] Hu, X., Tian, M., Qu, L., Zhu, S., Han, G. (2015) Multifunctional cotton fabrics with graphene/polyurethane coatings with far-infrared emission, electrical conductivity, and ultraviolet blocking properties. *Carbon*, 95, 625-633.
- [62] Lin, J.H., Huang, Y.T., Li, T.T., Lin, C.M., Lou, C.W. (2016) Manufacture technique and performance evaluation of electromagnetic-shielding/far-infrared elastic warp-knitted composite fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 107(4), 493–503.
- [63] Li, Q.S., Xu, M.S., Zhou, G.J., Wang, L.Q. (2010) Preparation and characterization of white bamboo charcoal PET fiber. *Chinese Chemical Letters*, 21, 995–998.
- [64] Wang, S., Zhang, Y., Liu, H. (2011) Wear Comfort Evaluation of Pearl-Cellulose Fabrics. *Advanced Materials Research*, 175-176, 480-484.
- [65] Park, Y.M., Shin, J.W. (2011) Surface Properties Studies of MPCMs Containing Fabrics for Thermo-regulating Textiles. *Fibers and Polymers*, 12(3), 384-389.
- [66] Zhang, H., Hu, T.L., Zhang, J.C. (2009) Surface emissivity of fabric in the 8–14 μm waveband. *The Journal of The Textile Institute*, 100(1), 90-94.
- [67] Zhang, X.A., Yu, S., Xu, B., Li, M., Peng, Z., Wang, Y., Deng, S., Wu, X., Wu, Z., Ouyang, M., Wang, Y. (2019) Dynamic gating of infrared radiation in a textile. *Science*, 363(6427), 619-623.
- [68] Lin, J.H., Hsing, Y.L., Hsing, W.H., Chen, J.M., Lou, C.W. (2013) Manufacturing Technique and Property Evaluation of RFPET/TPET Hybrid Nonwoven Fabric. *Applied Mechanics and Materials*, 365-366, 1165-1168.

- [69] Lin, J.H., Yu, Z.C., Zhang, J.F., Lou, C.W. (2014) Manufacturing Techniques and Functional Properties of the Bamboo Charcoal/Antibacterial/Stainless Steel Metal Composite Woven Fabric. *Advanced Materials Research*, 910, 238-241.
- [70] Lin, J.H., Huang, Y.T., Li, T.T., Lin, C.M., Lou, C.W. (2015) Bamboo charcoal/phase change material/stainless steel ringspun complex yarn and its far-infrared/ anion-releasing elastic warp-knitted fabric: Fabrication and functional evaluation. *Journal of Industrial Textiles*, 46(2), 624-642.
- [71] Shih, Y.H., Lin, J.H., Hsieh, C.T., Lin, C.W., Lou, C.W. (2015) Far-Infrared Nonwoven Fabrics Made of Various Ratios of Bamboo Fiber to Far-Infrared Fiber: Far-Infrared Emissivity and Mechanical Property Evaluations. *The 13th Asian Textile Conference*, 3-6 Kasım, Geelong, Avustralya.
- [72] Hsing, Y.L., Hsing, W.H., Hsieh, C.T., Lin, J.H., Lou, C.W. (2015) Composite Environmentally Protective Sandwich Insulation Material Design. *The 13th Asian Textile Conference*, 3-6 Kasım, Geelong, Avustralya.
- [73] Li, T.T., Pan, Y.J., Hsieh, C.T., Lou, C.W., Chuang, Y.C., Huang, Y.T., Lin, J.H. (2016) Comfort and Functional Properties of Far-Infrared/Anion-ReleasingWarp-Knitted Elastic Composite Fabrics Using Bamboo Charcoal, Copper, and Phase Change Materials. *Applied Science*. 6(62), 1-13.
- [74] Pooley, M.A., Anderson, D.M., Beckham, H.W., Brennan, J.F. (2016) Engineered emissivity of textile fabrics by the inclusion of ceramic particles. *Optics Express*, 24(10), 10556-10564.
- [75] Bahng, G.W., Lee, J.D. (2014) Development of heat-generating polyester fiber harnessing catalytic ceramic powder combined with heat-generating super microorganisms. *Textile Research Journal*, 84(11), 1220-1230.
- [76] Celliant, <http://celliant.com/>, 22.01.2017.
- [77] Emana, <http://www.solvay.com/en/markets-andproducts/featured-products/emana.html>, 25.01.2017.
- [78] Nilit, <http://www.nilit.com/fibers/>, 25.01.2017.
- [79] Stygienė, L., Varnaitė-Žuravliova, S., Abraitienė, A., Krauledas, S., Baltušnikaitė-Guzaitienė, J., Padleckienė, I. (2020) Investigation of thermoregulation properties of various ceramic-containing knitted fabric structures. *Journal of Industrial Textiles*, 50(5), 716-739.

- [80] Lin, Y.S., Pan, H.C., Lee, C.T., Leung, T.K. (2008) Manufacturing method for a far infrared substrate. Patent Appl. 20080217163A1, Sept 11.
- [81] Promolife, <http://www.promolife.com/far-infrared/far-infrared-clothing>, 03.11.2019.
- [82] Nikken, http://www.nikken.com/product/technology?hash=far_infrared#far_infrared, 26.01.2017.
- [83] Energear, <https://www.schoeller-textiles.com/en/technologies/energear>, 28.01.2017.
- [84] HT Concept, <http://www.htconcept.com/index.php/gold-reflectline.html>, 28.01.2017.
- [85] Inoue, S., Kabaya, M. (1989) Biological activities caused by far-infrared radiation. *International Journal of Biometeorology*, 33(3), 145-150.
- [86] Far Infrared Therapy Unit, <http://form.far-infrared.com.tw/english/101n.htm>, 10.11.2021.
- [87] Loturco, I., Abad, C.C.C., Nakamura, F.Y., Ramos, S.P, Kobal, R., Gil, S., Pereira, L.A., Burini, F.H.P., Roschel, H., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V. (2016) Effects of far infrared rays emitting clothing on recovery after an intense plyometric exercise bout applied to elite soccer players: a randomized double-blind placebo-controlled trial. *Biology of Sport*, 33(3), 277-283.
- [88] Richelmi, P., Bianchi, F.M., Angelinetta C. Evaluation of the cosmetic effect of a pantyhose which helps to reduce imperfections caused by cellulite and local adiposities. The evaluation was carried out through a clinical test. Bio Basic Europe, Italy.
- [89] Kim, H.A., Kim, S.J. (2017) Far-Infrared emission characteristics and wear comfort property of ZrC-Imbedded heat storage knitted fabrics for emotional garments. *Autex Research Journal*, 17(2), 142-151.
- [90] Ünal, P.G., Atav, R. (2018) Yünlü Dokuma Kumaşlara Katma Değer Kazandırılması Amacıyla Atkıda İpek veya Alpaka İplik Kullanımının Araştırılması. Bilimsel Araştırma Projesi Raporu, NKUBAP.06.GA.17.107, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (NKÜBAP).

- [91] Öner, E. (2008) Dokuma kumaşların konfor özellikleri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 19-20.
- [92] Larciprete, M.C., Paoloni, S., Cesarini, G., Sibilia, C., Rubežienė, V., & Sankauskaitė, A. (2020). Thermo-regulating properties of textiles with incorporated microencapsulated Phase Change Materials. *MRS Advances*, 5(18-19), 1023-1028.
- [93] Faisal, A.M., Salaün, F., Giraud, S., Ferri, A., Chen, Y., Wang, L. (2021) Far-Infrared Emission Properties and Thermogravimetric Analysis of Ceramic-Embedded Polyurethane Films. *Polymers*, 13(5), 686.
- [94] Kontziampasis, D., Manga, M.S., York, D.W. (2020) Coating particles using liquids and foams based on viscous formulations with industrial mixers: Batch operation. *Particuology*, 50, 13-24.
- [95] Knight, P.C. (1993) An investigation of the kinetics of granulation using a high shear mixer. *Powder technology*, 77(2), 159-169.
- [96] Reynolds, P.M. (1961) Spectral emissivity of 99.7% aluminium between 200 and 540 °C. *British Journal of Applied Physics*, 12(3), 111-114.
- [97] Marinetti, S., & Cesaratto, P. G. (2012). Emissivity estimation for accurate quantitative thermography. *NDT & E International*, 51, 127-134.
- [98] Larciprete, M.C., Paoloni, S., Voti, R.L., Gloy, Y.S., Sibilia, C. (2018) Infrared radiation characterization of several stainless steel textiles in the 3.5–5.1 μm infrared range. *Int. J. Therm. Sci.*, 132, 168-173.
- [99] Larciprete, M.C., Gloy, Y.S., Voti, R.L., Cesarini, G., Leahu, G., Bertolotti, M., Sibilia, C. (2017) Temperature dependent emissivity of different stainless steel textiles in the infrared range. *Int. J. Therm. Sci.*, 113, 130–135.
- [100] Cesca, T., Scian, C., Petronijevic, E., Leahu, G., Li Voti, R., Cesarini, G., Macaluso, R., Mosca, M., Sibilia, C., Mattei, G. (2020) Correlation between in situ structural and optical characterization of the semiconductor-to-metal phase transition of VO_2 thin films on sapphire. *Nanoscale*, 12, 851–863.
- [101] Centini, M., Benedetti, A., Larciprete, M.C., Belardini, A., Voti, R.L., Bertolotti, M., Sibilia, C. (2015) Midinfrared thermal emission properties of finite arrays of gold dipole nanoantennas. *Phys. Rev. B*, 92, 205411.

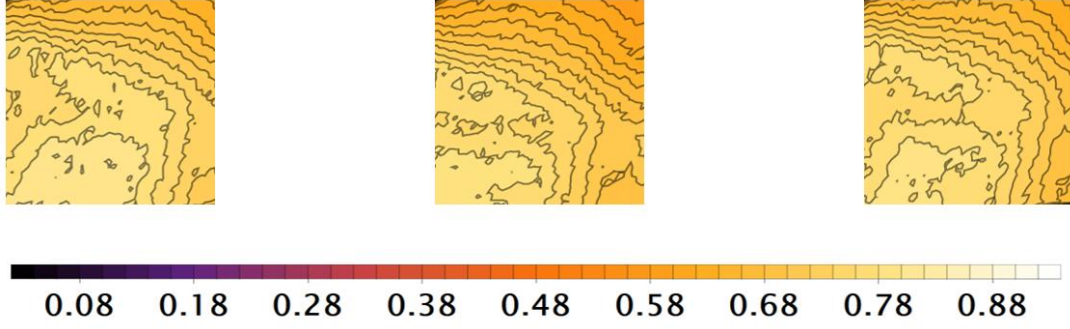
- [102] Siadat, S.A., Mokhtari, J. (2020) Diffuse reflectance behavior of the printed cotton/nylon blend fabrics treated with zirconium and cerium dioxide and citric acid in near-and short-wave IR radiation spectral ranges. *Color Research & Application*, 45(1), 55-64.
- [103] Shen, J., Zhang, Y., Xing, T. (2018) The study on the measurement accuracy of non-steady state temperature field under different emissivity using infrared thermal image. *Infrared Physics & Technology*, 94, 207-213.
- [104] Oliva, A.I., Maldonado, R.D., Díaz, E.A., Montalvo, A.I. (2013) A high absorbance material for solar collectors' applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 45(1), 1-4.
- [105] Eroğlu N.S. (2021) Bitki Ekstraktlarından Elektroçekim Yöntemiyle Nanolifli Membran Üretimi Üzerine Bir Çalışma. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 90-91.
- [106] Olak-Kucharczyk, M., Szczepańska, G., Kudzin, M.H., & Pisarek, M. (2020) The photocatalytic properties of RGO/TiO₂ coated fabrics. *Coatings*, 10(11), 1-15.
- [107] Abdel-Messih, M.F., Ahmed, M.A., El-Sayed, A.S. (2013) Photocatalytic decolorization of Rhodamine B dye using novel mesoporous SnO₂-TiO₂ nano mixed oxides prepared by sol-gel method. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 260, 1-8.
- [108] Dhineshbabu, N.R., Manivasakan, P., Yuvakkumar, R., Prabu, P., Rajendran, V. (2013) Enhanced Functional Properties of ZrO₂/SiO₂ Hybrid Nanosol Coated Cotton Fabrics. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 13(6), 4017-4024.
- [109] Dhineshbabu, N.R., Arunmetha, S., Manivasakan, P., Karunakaran, G., Rajendran, V. (2016) Enhanced functional properties of cotton fabrics using TiO₂/SiO₂ nanocomposites. *Journal of Industrial Textiles*, 45(5), 674-692.
- [110] Gürgen, S., Yıldız, T. (2020) Stab resistance of smart polymer coated textiles reinforced with particle additives. *Composite Structures*, 235, 1-9.
- [111] Tripathi, R., Narayan, A., Bramhecha, I., Sheikh, J. (2019) Development of multifunctional linen fabric using chitosan film as a template for immobilization of in-situ generated CeO₂ nanoparticles. *International journal of biological macromolecules*, 121, 1154-1159.

- [112] Naayi, S.A., Hassan, A.I., Salim, E.T. (2018) FTIR and X-ray diffraction analysis of Al₂O₃ nanostructured thin film prepared at low temperature using spray pyrolysis method. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 11, 1-6.
- [113] Dhineshababu, N.R., Manivasakan, P., Karthik, A., Rajendran, V. (2014) Hydrophobicity, flame retardancy and antibacterial properties of cotton fabrics functionalised with MgO/methyl silicate nanocomposites. *Rsc Advances*, 4(61), 32161-32173.
- [114] Shaban, M., Mohamed, F., Abdallah, S. (2018) Production and characterization of superhydrophobic and antibacterial coated fabrics utilizing ZnO nanocatalyst. *Scientific reports*, 8(1), 1-15.
- [115] Varesano, A., Aluigi, A., Florio, L., Fabris, R. (2009) Multifunctional cotton fabrics. *Synthetic Metals*, 159(11), 1082-1089.
- [116] Bedez Üte, T., Çelik, P., Kadoğlu, H., Üzümcü, M.B., Ertekin, G., Marmaralı, A. (2018) Farklı doğal liflerin iç giysilerde kullanımının konfor özellikleri açısından araştırılması. *Journal of Textiles & Engineers/Tekstil ve Mühendis*, 25(112), 335-343.
- [117] Guruprasad, R., Vivekanandan, M.V., Arputharaj, A., Saxena, S., Chattopadhyay, S.K. (2015) Development of cotton-rich/polylactic acid fiber blend knitted fabrics for sports textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 45(3), 405-415.
- [118] Wang, J., Kaynak, A., Wang, L., Liu, X. (2006) Thermal conductivity studies on wool fabrics with conductive coatings. *Journal of the textile institute*, 97(3), 265-270.
- [119] Çinko oksit, https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87inko_oksit, 23.03.2020.
- [120] Alüminyum oksit, https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide, 23.03.2020.
- [121] Graf C. Silica, Amorphous. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, pp. 1-43. John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/0471238961.0113151823010404.a01.pub3>
- [122] Manasoglu, G., Celen, R., Kanik, M., Ulcay, Y. (2019) Electrical resistivity and thermal conductivity properties of graphene-coated woven fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(40), 1-8.
- [123] Razzaque, A., Tesinova, P., Hes, L. (2019) Enhancement of hydrostatic resistance and mechanical performance of waterproof breathable laminated fabrics. *Autex Research Journal*, 19(1), 44-53.

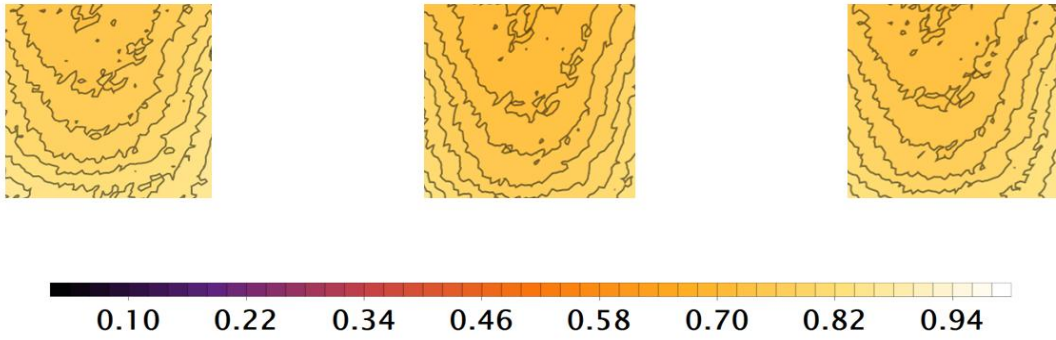
- [124] Aydemir, H., Demiryürek, O. (2014) Stor perdelik kumaşların kopma mukavemeti, hava geçirgenliği ve su geçirmezlik özelliklerinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 30(4), 240-247.
- [125] Nhan, L.G., Denby, E.F. (1979) The effect of humidity on the abrasion-resistance of wool fabric. The Journal of The Textile Institute, 70(6), 264-268.
- [126] Kose S.K., Korelasyon ve Regresyon Analizi. <https://docplayer.biz.tr/18607973-Korelasyon-ve-regresyon-analizi.html> (01.06.2022).
- [127] Ratner, B. (2009) The correlation coefficient: Its values range between+ 1/- 1, or do they?. Journal of targeting, measurement and analysis for marketing, 17(2), 139-142.
- [128] Ise, N., Katsuura, T., Kikuchi, Y., Miwa, E. (1987) Effect of Far-Infrared Radiation on Forearm Skin Blood Flow. The Annals of physiological anthropology, 6(1), 31-32.
- [129] Ren, Y., Fang, L., Liu, Y., Shen, C., Wu, L., Zheng, X., & Fang, K. (2022) Warming performance of far infrared lights electrogenerated by carbon nanotubes composite fabrics. Materials Letters, 319, 132220.
- [130] Fang, K.Y. & Fang, F. (2018) Au-decorated SWNT/PVDF electrospun films with enhanced infrared stealth performance. Materials Letters, 230, 279-282.
- [131] Silva, M., Gáspari, A., Barbieri, J., Barroso, R., Figueiredo, G., Motta, L., & Moraes, A. (2022) Far-infrared-emitting fabric improves neuromuscular performance of knee extensor. Lasers in Medical Science, 1-10.
- [132] Tian, T., Wei, X., Elhassan, A., Yu, J., Li, Z., & Ding, B. (2021) Highly flexible, efficient, and wearable infrared radiation heating carbon fabric. Chemical Engineering Journal, 417, 128114.
- [133] Mira, M., Valor, E., Boluda, R., Caselles, V., & Coll, C. (2007) Influence of soil water content on the thermal infrared emissivity of bare soils: Implication for land surface temperature determination. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 112(F4).
- [134] Belliveau, R. G., DeJong, S. A., Boltin, N. D., Lu, Z., Cassidy, B. M., Morgan, S. L., & Myrick, M. L. (2020) Mid-infrared emissivity of nylon, cotton, acrylic, and polyester fabrics as a function of moisture content. Textile Research Journal, 90(13-14), 1431-1445.

EKLER

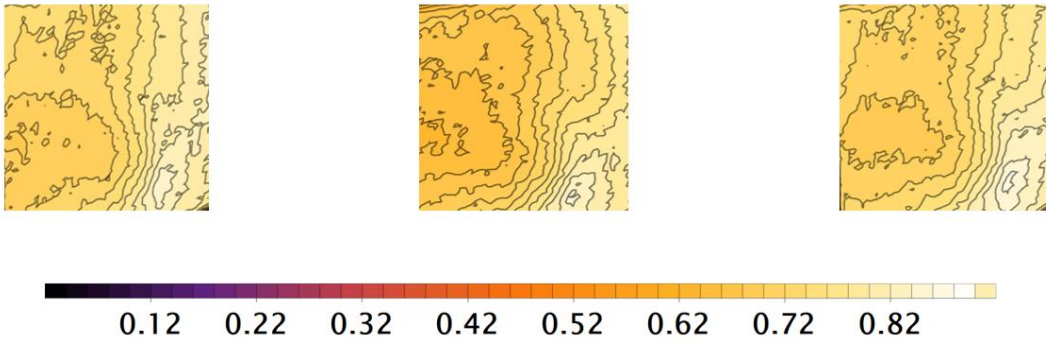
EK-1 Sırasıyla 50-70-90 °C değerleri arasındaki bağıl renk skalasını içeren emisivite haritaları



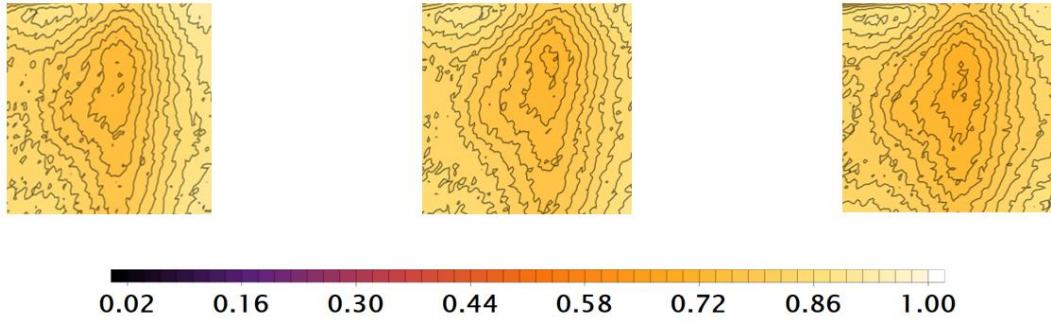
Şekil 1. %100 Pamuk/KY kumaşın emisivite haritası.



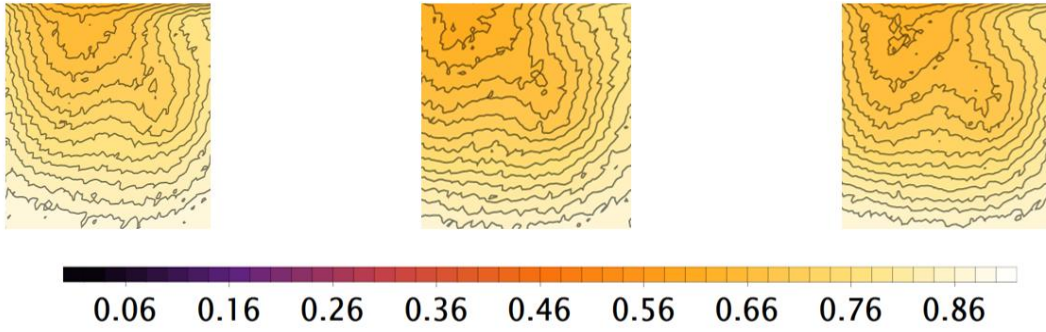
Şekil 2. %100 Pamuk/BİK kumaşın emisivite haritası.



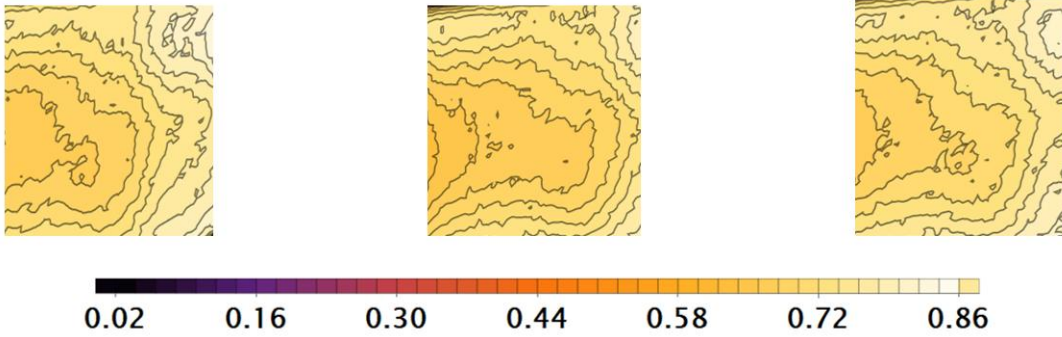
Şekil 3. %100 Pamuk/TiO₂ kumaşın emisivite haritası.



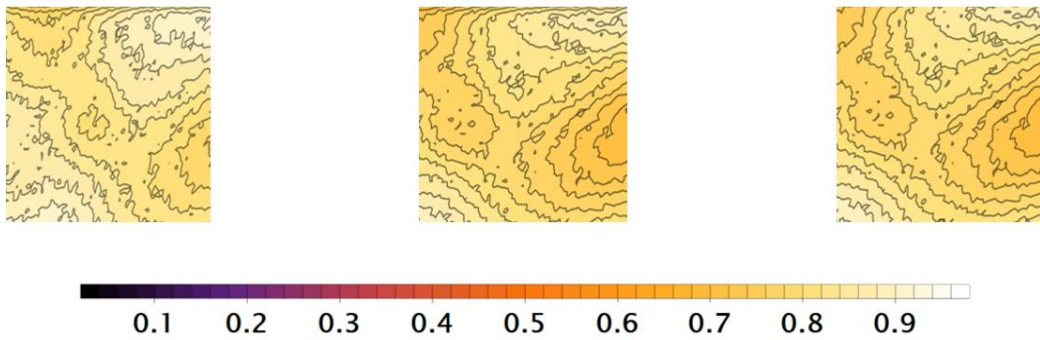
Şekil 4. %100 Pamuk/CeO₂ kumaşın emisivite haritası.



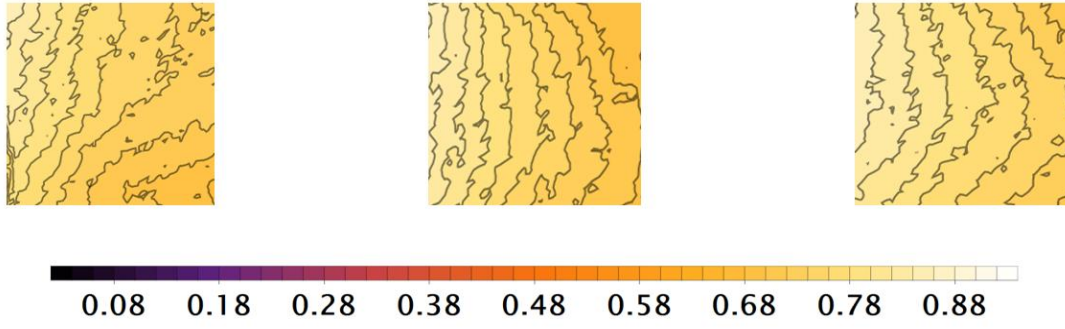
Şekil 5. %100 Pamuk/SiO₂ kumaşın emisivite haritası.



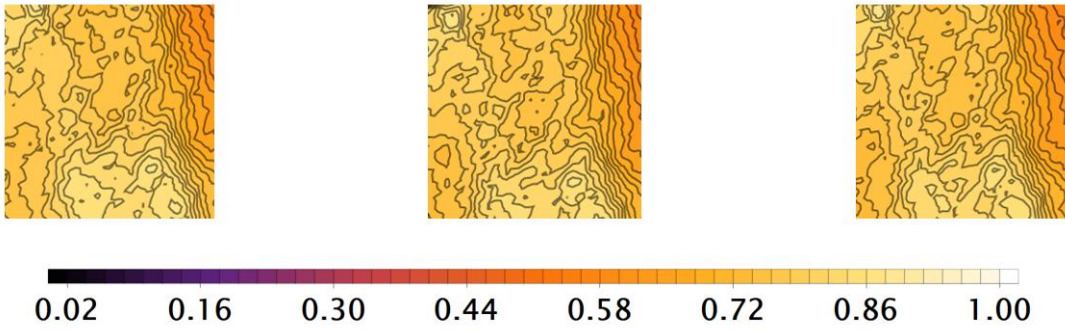
Şekil 6. %100 Pamuk/Al₂O₃ kumaşın emisivite haritası.



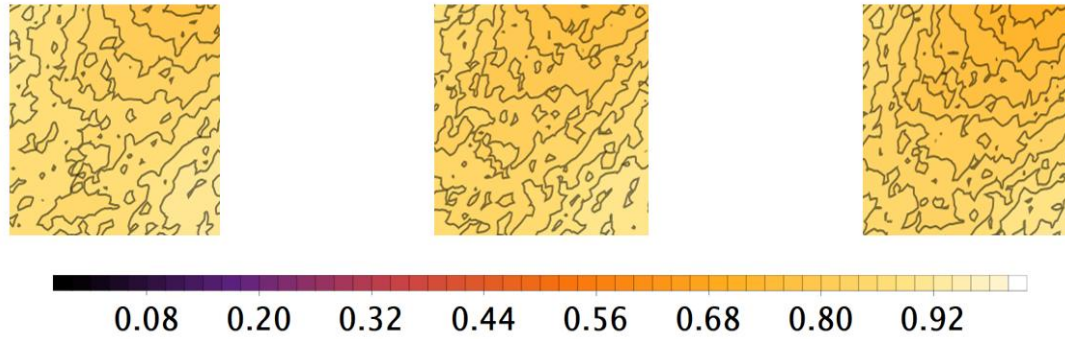
Şekil 7. %100 Pamuk/MgO kumaşın emisivite haritası.



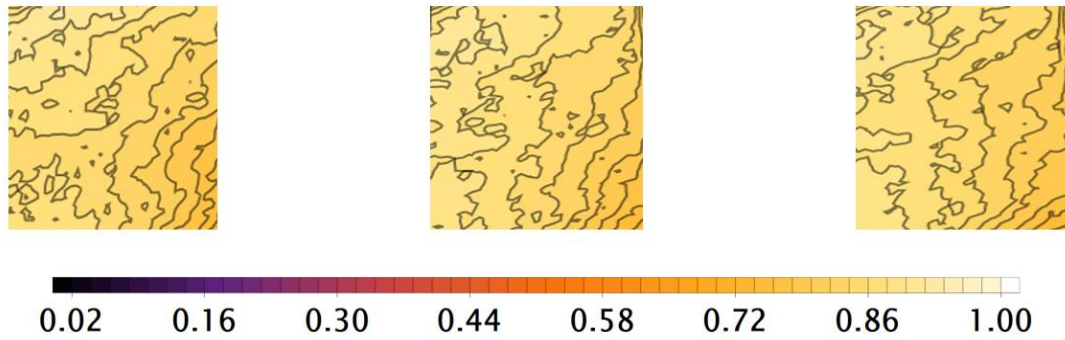
Şekil 8. %100 Pamuk/ZnO kumaşın emisivite haritası.



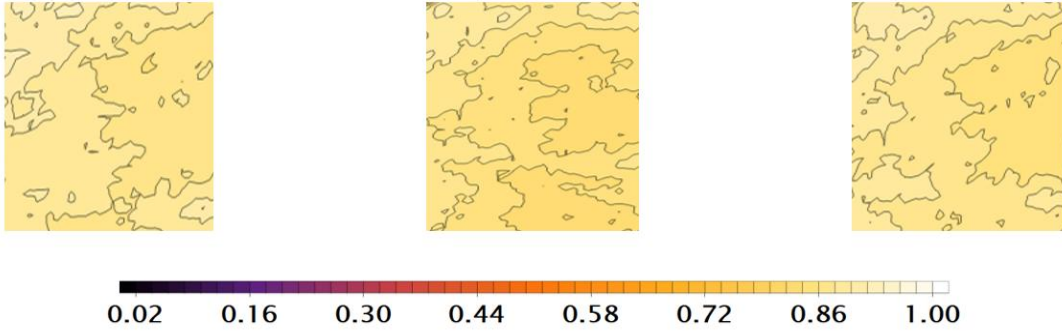
Şekil 9. %100 Yün/KY kumaşın emisivite haritası.



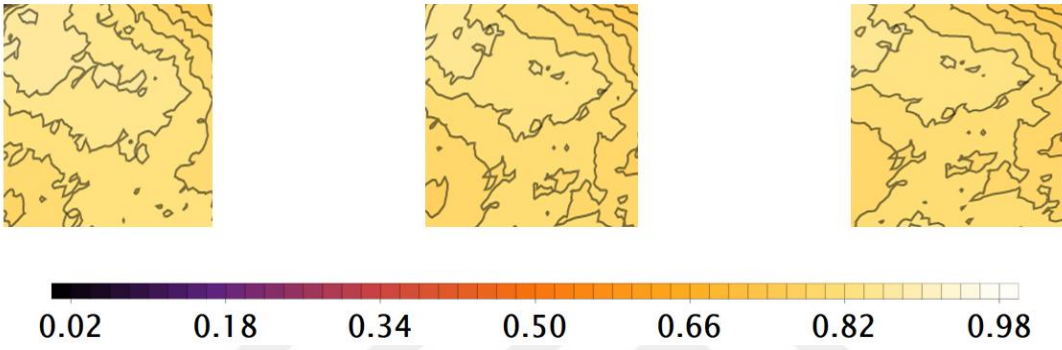
Şekil 10. %100 Yün/BİK kumaşın emisivite haritası.



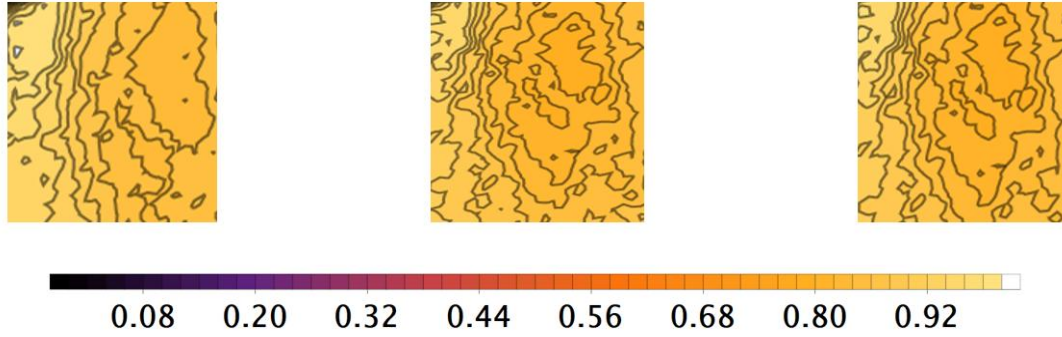
Şekil 11. %100 Yün/TiO₂ kumaşın emisivite haritası.



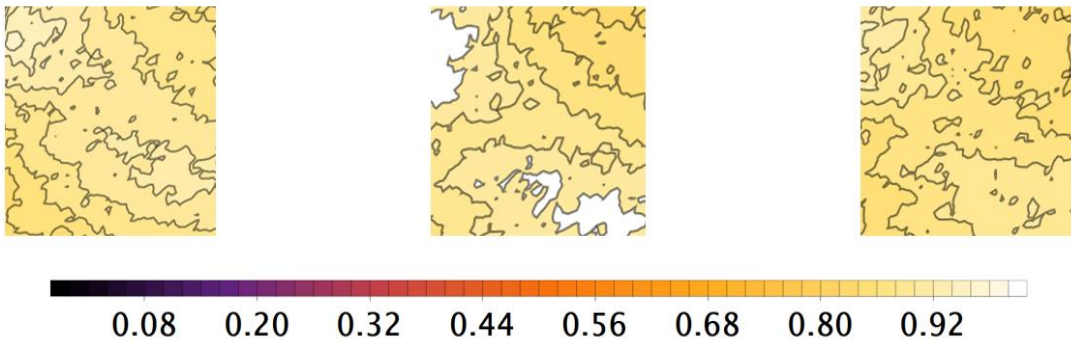
Şekil 12. %100 Yün/CeO₂ kumaşın emisivite haritası.



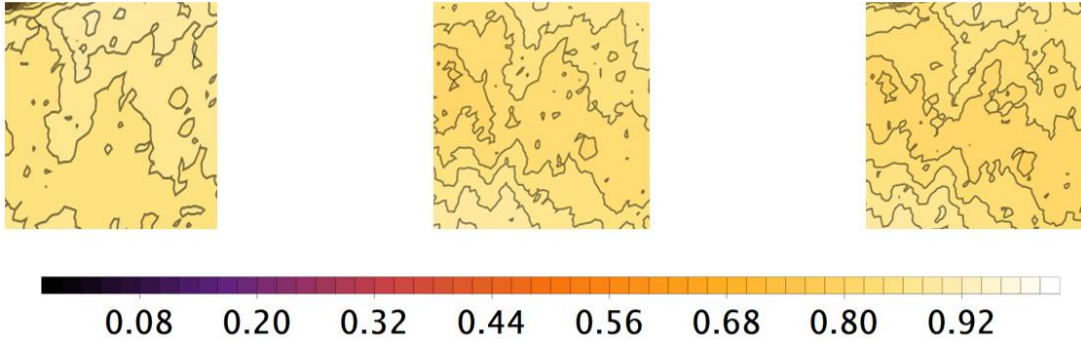
Şekil 13. %100 Yün/SiO₂ kumaşın emisivite haritası.



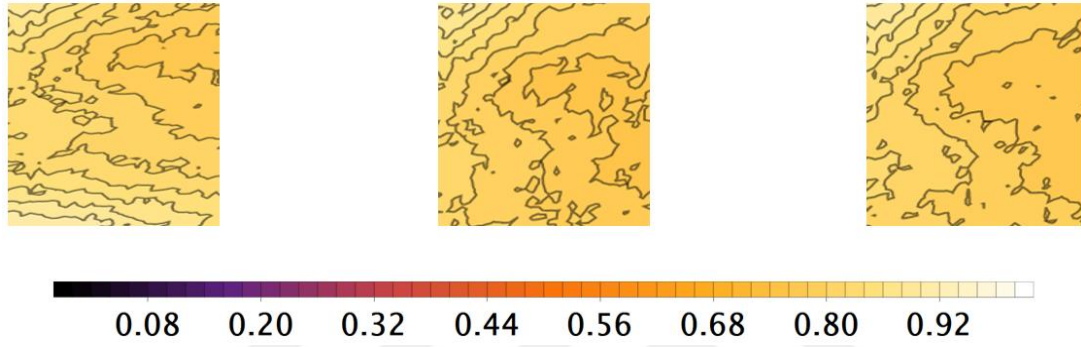
Şekil 14. %100 Yün/Al₂O₃ kumaşın emisivite haritası.



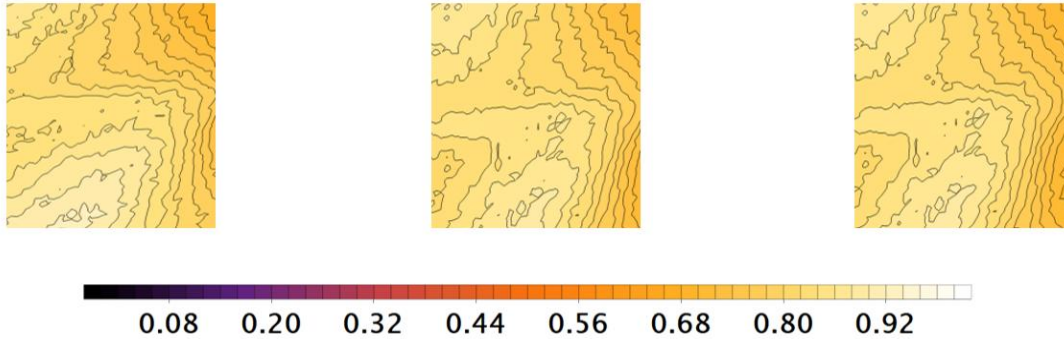
Şekil 15. %100 Yün/MgO kumaşın emisivite haritası.



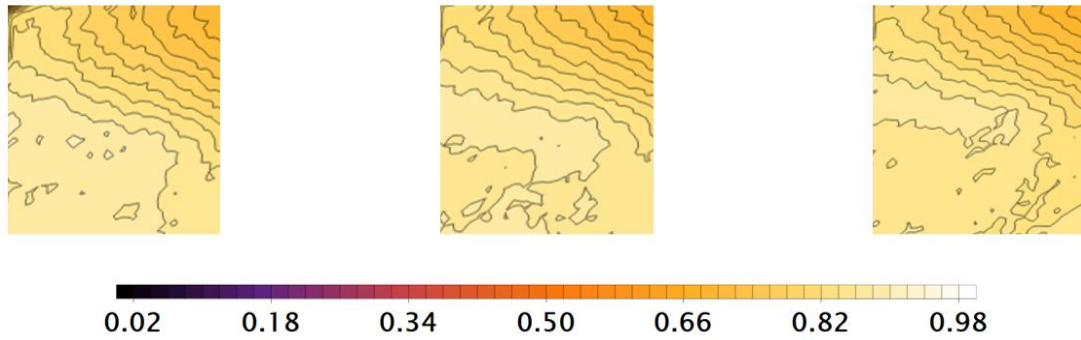
Şekil 16. %100 Yün/ZnO kumaşın emisivite haritası.



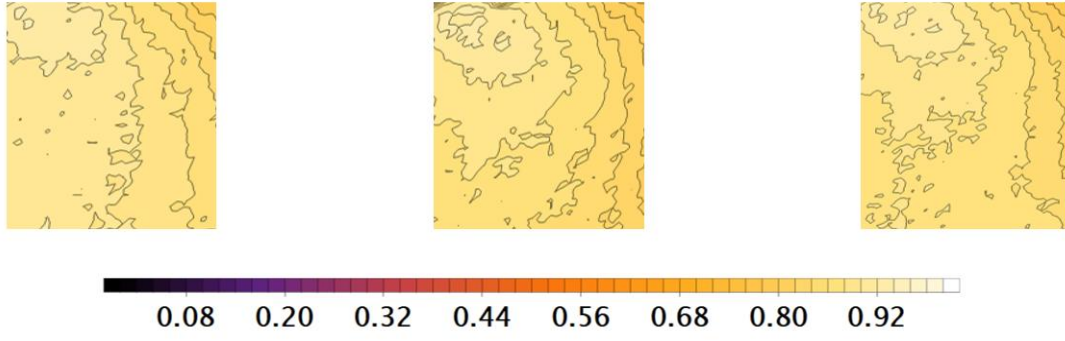
Şekil 17. %50/50 Co/PES-KY kumaşın emisivite haritası.



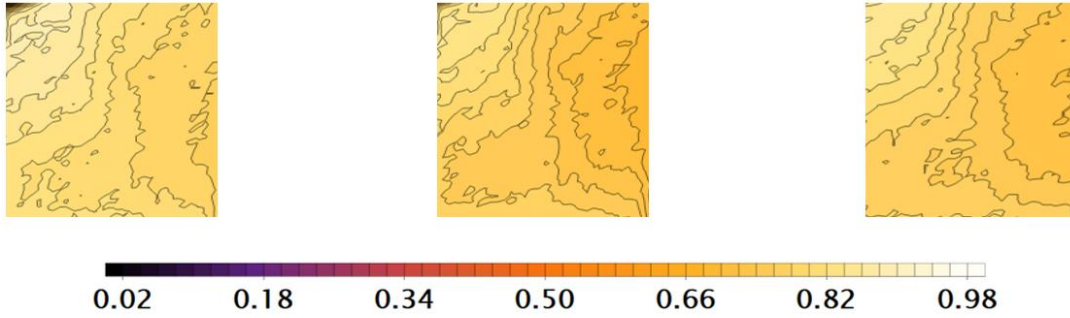
Şekil 18. %50/50 Co/PES-BİK kumaşın emisivite haritası.



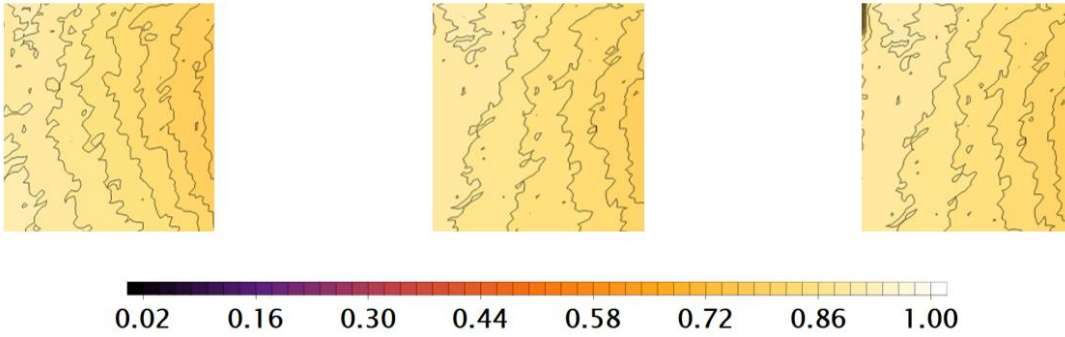
Şekil 19. %50/50 Co/PES-TiO₂ kumaşın emisivite haritası.



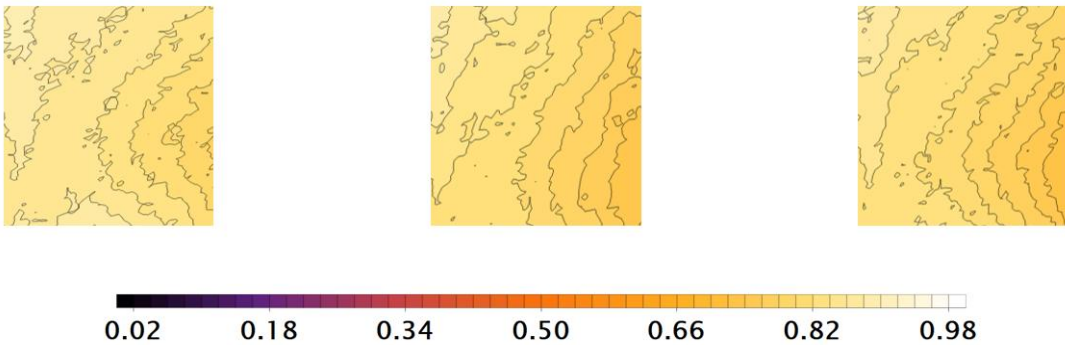
Şekil 20. %50/50 Co/PES-CeO₂ kumaşın emisivite haritası.



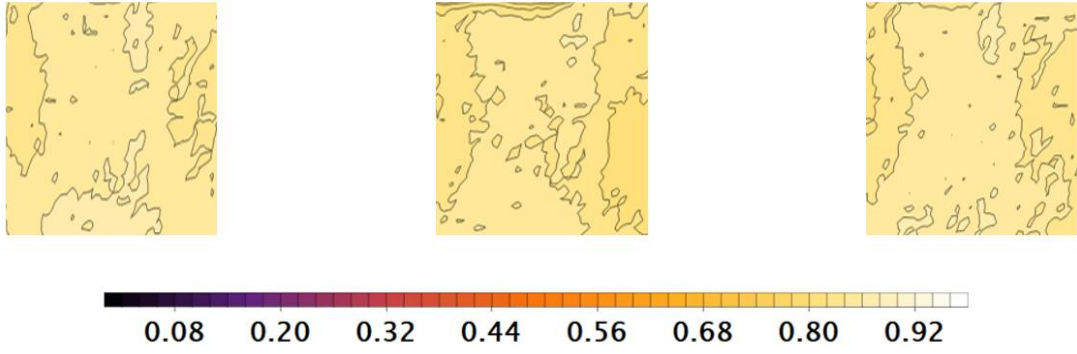
Şekil 21. %50/50 Co/PES-SiO₂ kumaşın emisivite haritası.



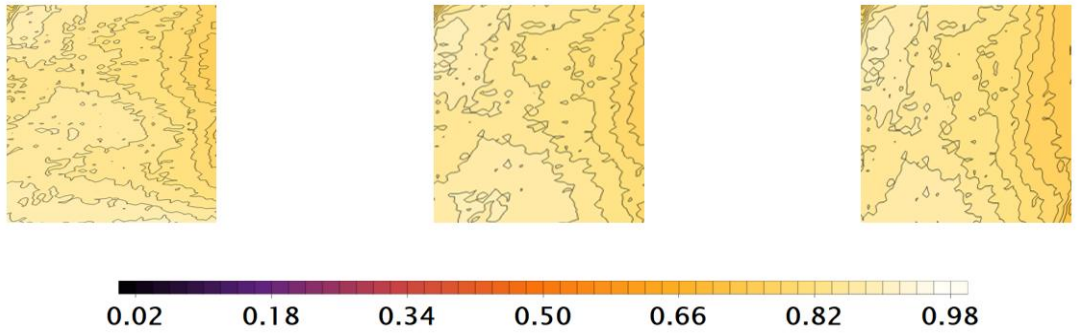
Şekil 22. %50/50 Co/PES-Al₂O₃ kumaşın emisivite haritası.



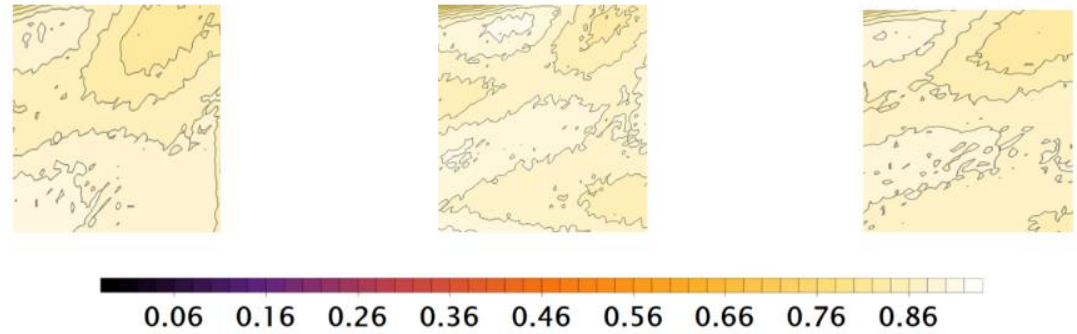
Şekil 23. %50/50 Co/PES-MgO kumaşın emisivite haritası.



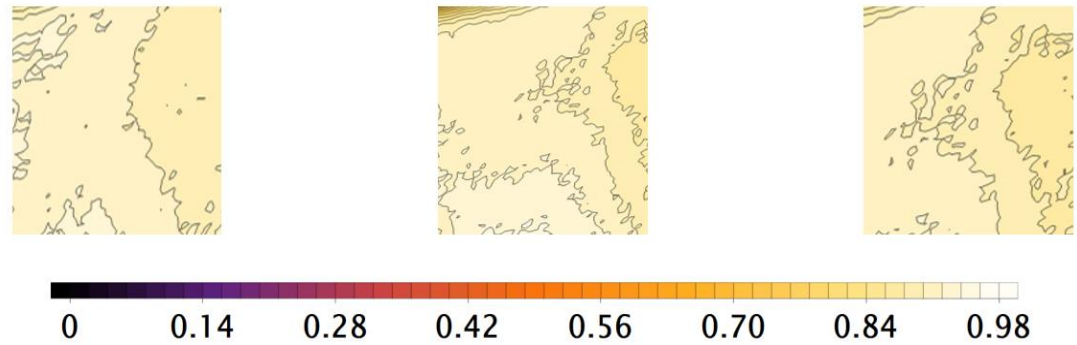
Şekil 24. %50/50 Co/PES-ZnO kumaşın emisivite haritası.



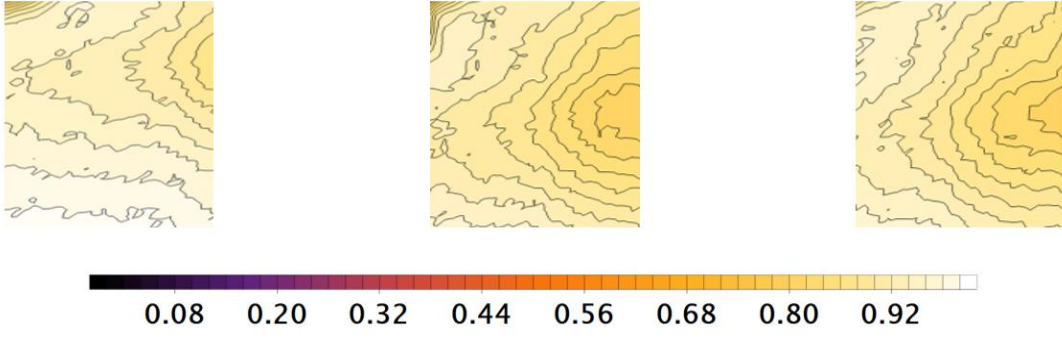
Şekil 25. %100 Viskon/KY kumaşın emisivite haritası.



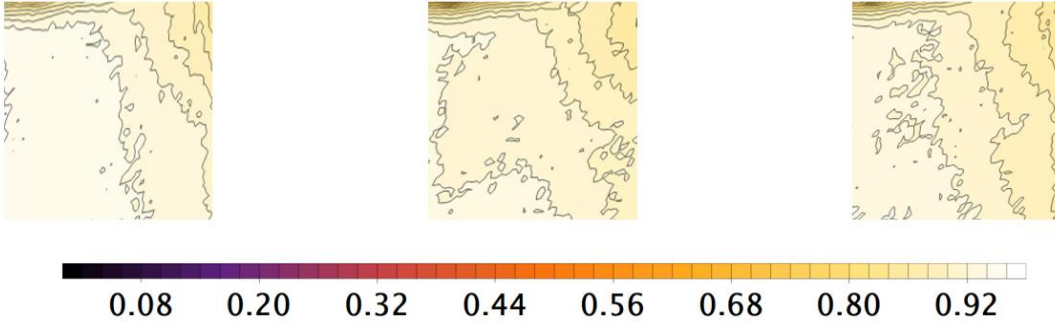
Şekil 26. %100 Viskon/BİK kumaşın emisivite haritası.



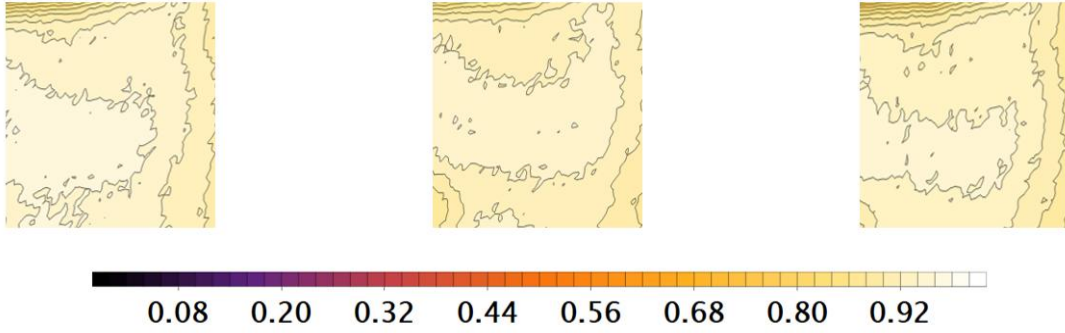
Şekil 27. %100 Viskon/TiO₂ kumaşın emisivite haritası.



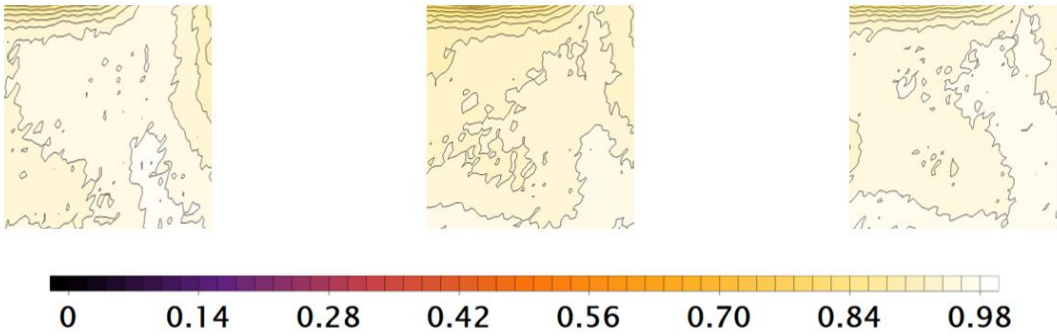
Şekil 28. %100 Viskon/CeO₂ kumaşın emisivite haritası.



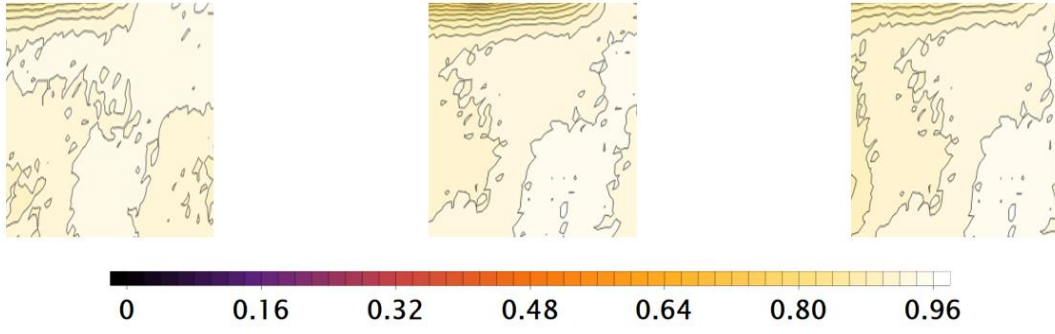
Şekil 29. %100 Viskon/SiO₂ kumaşın emisivite haritası.



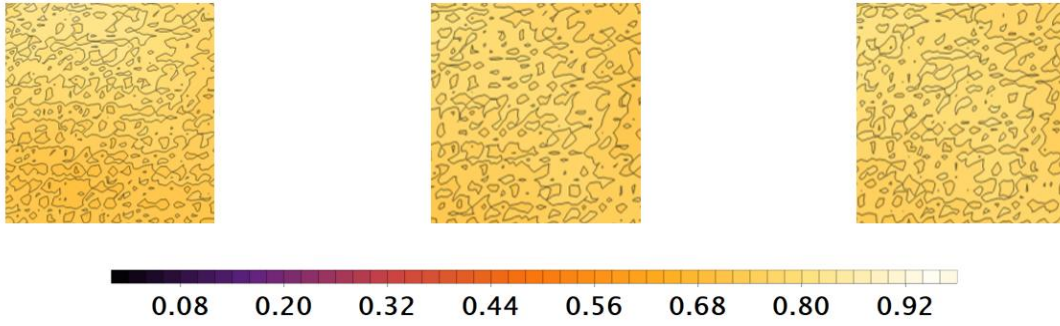
Şekil 30. %100 Viskon/Al₂O₃ kumaşın emisivite haritası.



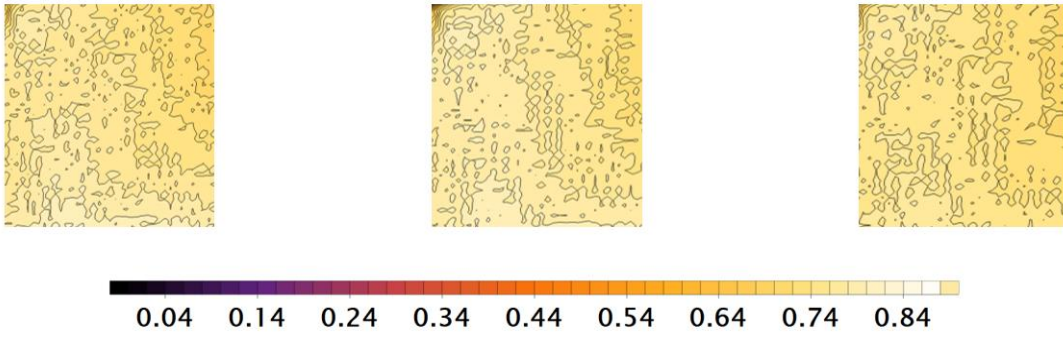
Şekil 31. %100 Viskon/MgO kumaşın emisivite haritası.



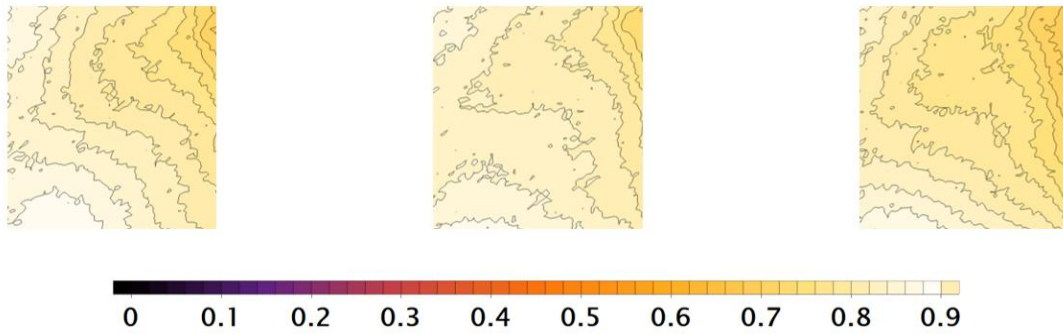
Şekil 32. %100 Viskon/ZnO kumaşın emisivite haritası.



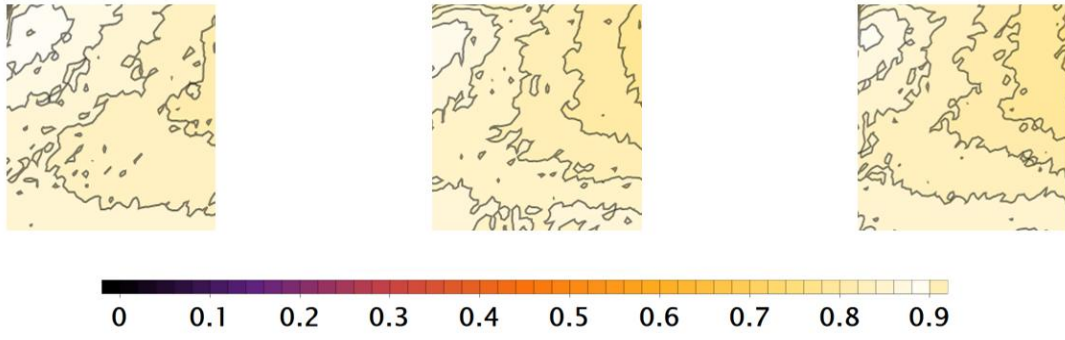
Şekil 33. %100 Akrilik/KY kumaşın emisivite haritası.



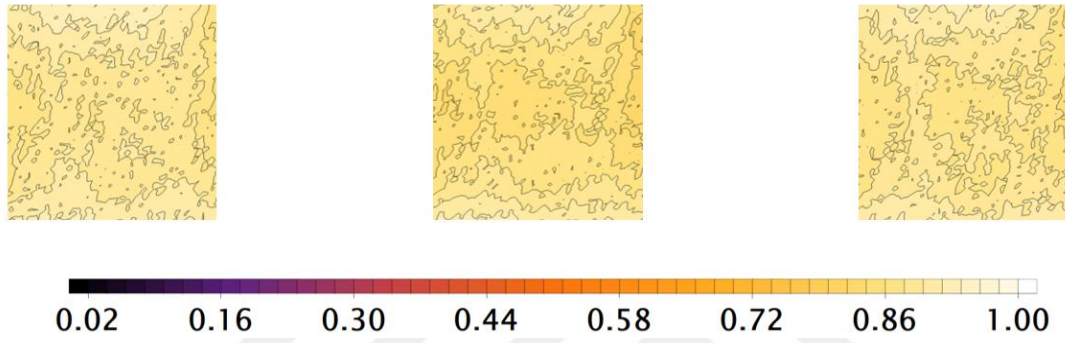
Şekil 34. %100 Akrilik/BİK kumaşın emisivite haritası.



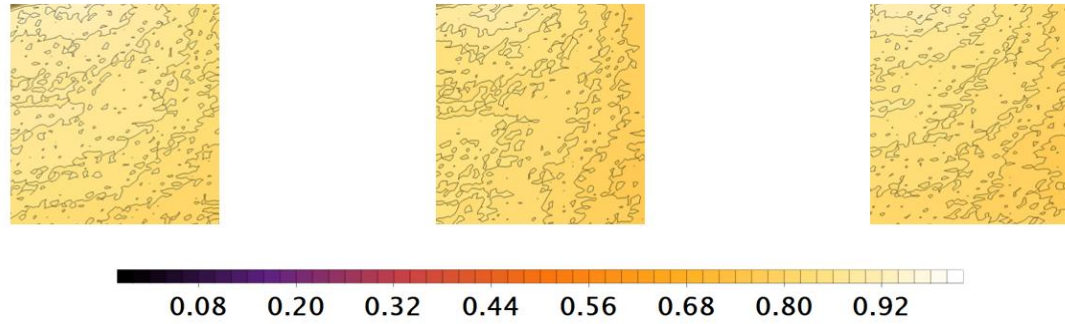
Şekil 35. %100 Akrilik/TiO₂ kumaşın emisivite haritası.



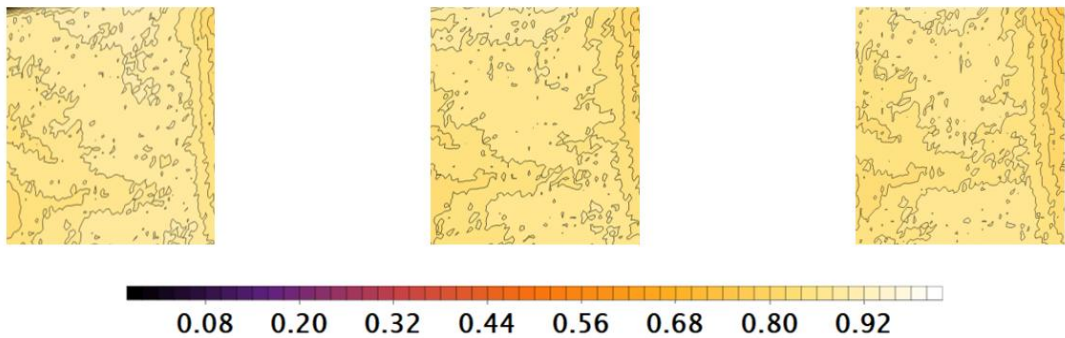
Şekil 36. %100 Akrilik/CeO₂ kumaşın emisivite haritası.



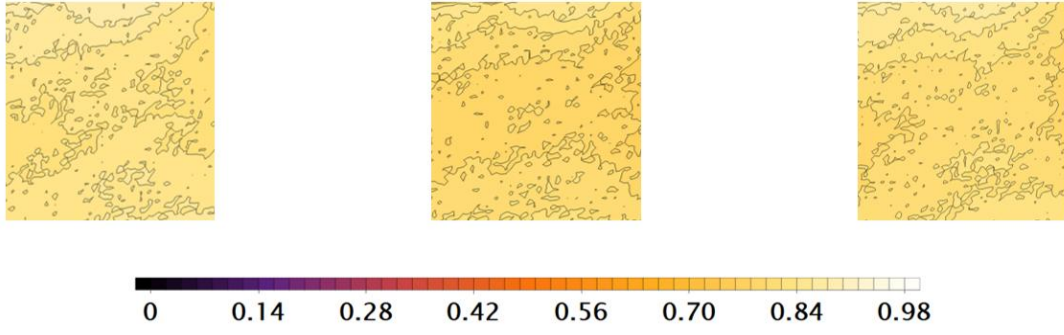
Şekil 37. %100 Akrilik/SiO₂ kumaşın emisivite haritası.



Şekil 38. %100 Akrilik/Al₂O₃ kumaşın emisivite haritası.



Şekil 39. %100 Akrilik/MgO kumaşın emisivite haritası.



Şekil 40. %100 Akrilik/ZnO kumaşın emisivite haritası.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İsmail YÜCE

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm	Okul	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Tekstil Eğitimi	Marmara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü	2010
Lisans	Tekstil Terbiye Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi/Teknik Eğitim Fakültesi	2022
Lise	Tekstil Boya Baskı Desen	Edirne Anadolu Teknik Meslek Lisesi	1998

İş Deneyimi

Kuruluş	Ünvan	Yıl
Trakya Üniversitesi/Edirne Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü	Öğretim Görevlisi	2015-Devam
Kırklareli Üniversitesi/Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/Tekstil, Giyim, Ayakkabı Ve Deri Bölümü	Öğretim Görevlisi	2009-2015
Sanko Tekstil A.Ş.	Üretim Mühendisi	2004-2006

Eserler

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M., Voti R.L., Cesarini G., Sibilia C. and Larciprete M. C. (2022) Titanium and Silicon Dioxide-Coated Fabrics for Management and Tuning of Infrared Radiation. Sensors, 22(10), 1-15., Doi: 10.3390/s22103918.
2. Yuce I. (2019) Textile Products Used in Filter Production and Their Usage Areas. Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 50-59.
3. Sunter E. N., Yuce I., Canoglu S. (2019) Alternative Fibers II: Pineapple, Polar Bear, Banana And Caribou Fibers. Annals of the University of Oradea: Fascicle of Textiles, Leatherwork, 20(2), 97-102.
4. Yuce I., Sunter E. N., Canoglu S. (2019) Alternative Fibers I: Feather Fibers and Peanut Hull Fibers. Annals of the University of Oradea: Fascicle of Textiles, Leatherwork., 20(1), 119-124.

5. Yuce I. (2018) Yarns Emitting Far Infrared Rays. International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESN), 4(3), 34-38.
6. Yuce I., Yukseloglu S. M., Canoglu S. (2018) An Analysis of Conductive Fibers as Smart Textiles. Annals of The University of Oradea Fascicle of Textiles-Leatherwork, 19(2), 105-110.
7. Yuce I., Yukseloglu S. M., Canoglu S. (2017) Şekil Hafızalı Tekstiller ve Şekil Hafızalı Apre Uygulamaları. Electronic Journal of Vocational Colleges (EJOVOC), 7(3), 41-47.
8. Yuce I. (2017) Uzak Kızılötesi Işın Yayan Kumaş ve İplikler. Trakya University Journal of Engineering Sciences, 18(2), 145-151.
9. Yuce I. (2017) Shape Memory Polymers and Shape Memory Alloys: Use in Smart Textiles. International Journal of Development Research, 7(11), 16730-16736.
10. Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M. (2017) Textile Surface Modification by Pyhsical Vapor Deposition – (Review). Annals Of The University of Oradea: Fascicle of Textiles , Leatherwork, 18(2), 123-128.
11. Yuce I. (2015). Kıl Kökenli Lüks Liflerin Ayırt Etme Yöntemleri. International journal of Science Culture and Sport, 3(11), 727-738., Doi: 10.14486/IJSCS337.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

1. Becenen N., Yuce I., Eyi G. (2022) Increasing The Thermal Resistance of Denim Fabric. 3 rd International Congress of Innovative Textiles (ICONTEX 2022), 278-282 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).
2. Yuce I. (2018) An Analysis of Mosquito Repellent Textile Products. 6 th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES 2018), 1(1), 498-506., Doi: 10.33793/acperpro.01.01.95 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).
3. Yuce I., Yukseloglu S. M., Canoglu S. (2018) An Analysis of Conductive Fibers as Smart Textiles. International Sicentific confoerence: Innovative solutions for sustainable development of textiles and leather industry (Tam Metin Bildiri/Poster).
4. Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M. (2018) Historical Development of Swimsuit as a Textile Product and Its Effect on Swimming Performance. 8th International

Istanbul Textile Conference - Evolution Technical Textile (ETT2018) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).

5. Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M. (2018) Textiles Emitting Far Infrared Rays. 8th International Istanbul Textile Conference - Evolution Technical Textile (ETT2018) (Tam Metin Bildiri/Poster).

6. Yuce I. (2017) Yarns That Emit Far Infrared Rays (Review). 4. International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2017) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

7. Yuce I. (2017) Application of Grafting Modification Method to Textile Surfaces – (Review). International Science and Technology Conference (ISTEC 2017), 135-139. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).

8. Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M. (2017) Textile Surface Modification by Physical Vapor Deposition – (Review). International Scientific Conference Innovative Solutions for Sustainable Development of Textiles and Leather Industry, 18, 101-102. (Tam Metin Bildiri/Poster).

9. Yuce I., Canoglu S., Yukseloglu S. M. (2016) Shape Memory Polymers and Shape Memory Alloys Use in Smart Textiles. 16 th World Textile Conference AUTEX 2016 (Özet Bildiri/Poster).

10. Sokmen N., Yuce I. (2016) Dyeing Polyester Wool Blend Yarn with Microwave Heating. 16 th World Textile Conference AUTEX 2016 (Özet Bildiri/Poster).

11. Yukseloglu S. M., Yuce I., Canoglu S. (2016) Shape Memory Fabric Designed For All Season. 8. Uluslararası AR-GE Proje Pazarı (Tam Metin Bildiri/Poster).

12. Yuce I., Yukseloglu S. M., Canoglu S. (2016) Akıllı Tekstiller İçin Şekil Hafızalı Bitim Uygulamaları. BEZCE 2016 "Anadolu'ya Dokunan Bezler" (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).

13. Yuce I. (2013) Tekstil Yardımcı Kimyasalları ve Çevre. Doğunun Batısı Batının Doğusu Uluslararası Balkanlar Konferansı (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

14. Yuce I. (2011) Çoklu Zekâ Kuramına Göre Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin İncelenmesi. UYK2011, 3(1), 1876-1880., Doi: 10.2399/uyk2011 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).

Projelerde Yaptığı Görevler:

1. İpekli Kumaş ile Edirne Kırmızısının Buluşması, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi, Yürütücü: Nilgün Becenen, Araştırmacı: İsmail Yüce, 31/03/2022 (Devam Ediyor) (Ulusal).
2. Abiye giyimde drapaj tekniği ve model uygulama eğitimi, Kalkınma Bakanlığı, Yürütücü: İsmail Yüce, Yürütücü: Nilgün Becenen, 31/01/2020 - 01/03/2021 (Ulusal).
3. Uzak kızılötesi Işın (FIR) Yayma Özelliğine Sahip Kumaşların Geliştirilmesi Üzerine Bir Çalışma, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi, Yürütücü: Canoğlu Suat, Araştırmacı: Yüce İsmail, Araştırmacı: Yükseloğlu Sevhan Müge, 06/02/2018 (Devam Ediyor) (Ulusal)
4. Giyim Atölyesinin Giydirilmesi, Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projesi, Yürütücü: Tuncay Didem, Araştırmacı: Şen Hayri, Araştırmacı: Yüce İsmail, 13/07/2015 - 18/07/2016 (Ulusal).