

POMZA, AMORF SİLİKA VE KOLEMANİT KATKILI BASKI VE SOL JEL YÖNTEMİ KULLANILARAK POLYESTER KUMAŞLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Kadri AKÇALI^{1*}, Meliha OKTAV BULUT²

¹Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Bartın, 74600, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, 32100, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 04.03.2022 Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.04.2022 DOI: 10.54365/adyumbd.1082701

ÖZET

Günümüzde konvansiyonel yöntemler yerine alternatif olarak düşük maliyetli, çevreye dost ve doğal esaslı malzemelerin kullanımı ile son ürünlerin özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları tekstil sektöründe de diğer sektörlerde olduğu gibi ön plana çıkmaktadır. Çalışma kapsamında % 100 polyester dokuma kumaş numunelerinin katı partiküllü pomza, amorf silika ve kolemanit katkı malzemeleri kullanılarak pigment baskı tekniği ile kaplanması ve sol jel yöntemi ile baskı fiksajının gerçekleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Farklı katkı oranları ile gerçekleştirilen baskı işlemleri sonrasında mevcut kumaş numunelerinin yüzey analizleri yapılarak, mukavemet, aşınma direnci, UV koruma ve hava geçirgenliği özellikleri karşılaştırılarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak farklı alanlarda kullanım olanaklarına sahip, düşük sıcaklık ve düşük enerji maliyetli, minimum kimyasal kullanımına olanak tanıyan yeni bir işlem adımı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Amorf silika, Kolemanit, Sol jel, Baskı

IMPROVING THE PHYSICAL PROPERTIES OF POLYESTER FABRIC BY USING PUMICE, AMORPHOUS SILICA AND COLEMANITE ADDITIVE PRINTING AND SOL GEL METHODS

ABSTRACT

Today, the use of low-cost, environmentally friendly and natural-based materials as an alternative to conventional methods and the development of the properties of the final products come to the fore in the textile sector, as in other sectors. In this study, 100% polyester woven fabric samples were coated with pigment printing technique using solid particle pumice, amorphous silica and colemanite additives and printing fixation was carried out by sol gel method. After the printing processes carried out with different additive ratios, the surface analyzes of the existing fabric samples were made and the results obtained were evaluated by comparing their strength, abrasion resistance, UV protection and air permeability properties. As a result, a new process step has been created, which has the possibilities of use in different areas, low temperature and low energy cost, and allows the use of minimum chemicals.

Keywords: Pumice, Amorphous silica, Colemanite, Sol gel, Printing

1. Giriş

Günümüzde meydana gelen teknolojik değişimler ve ekonomik öncelikler tekstil materyallerinden beklenen özelliklerin değişmesine ve materyal uygulamaları üzerine farklı bakış açılarının oluşmasına neden olmuştur. Özellikle son yıllarda gerçekleştirilen akademik çalışmalarda

*e-posta¹ : akcali@bartin.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8737-0140> (Sorumlu Yazar)

e-posta² : oktavbulut@sdu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0009-5981>

düşük maliyetli, çevreye dost ve enerji maliyetinin minimum olduğu alternatif tekstil bitim işlemleri çalışmalarda sıklıkla yer almaktadır. Tekstil alanında geleneksel yöntemler ile belirli özellikleri barındıran şekilde son ürün haline getirilen kumaş yapılarının yerine multifonksiyonel özelliklere sahip yeni ürün çeşitlerinin üretilmesi alternatif yöntemlerinin geliştirilmesinin temelinde yer almaktadır.

Tekstil bitim işlemlerinde kullanılan alternatif yöntemlerin içerisinde sol jel yönteminin kullanımı geniş yer almaktadır. Solüsyon ve jelleşme kelimelerinden ismini alan sol jel yöntemi ile işlem başlangıç adımında oluşturulan çözelti ile sol eldesi sağlanmakta ve meydana gelen hidroliz, polikondenzasyon ve jelleşme reaksiyonları sonrası jel eldesi söz konusudur [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Yaş kimyasal tekniklerden biri olan bu yöntem ile sol jel içerisinde kullanılan kimyasal malzemenin sahip olduğu özelliklerin kumaş yüzeyine aktarımı amaçlanmakta olup, kumaşlara farklı fonksiyonel kullanım özellikleri kazandırılması sağlanabilmektedir. Özellikle düşük sıcaklıklar altında gerçekleşen ve istenilen şekil ve formatta ürünlerin eldesine imkân tanınması sol jel metodunun farklı bilimsel disiplinler ve mühendislik alanlarında tercih edilmesini sağlamaktadır [7, 8].

Temel olarak sol jel işlemi; uygun bir çözücü içerisinde, asit yada baz katalizörlü ortamda, bir metal alkoksit ($M(OR)_n$) veya metal tuzu ($M_A X_n$) ön başlatıcının kullanılması ile hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi sonucu meydana gelmektedir [1, 2, 4, 5]. Su dahil olmak üzere birçok çözücü içerisinde rahatlıkla çözünme ve reaksiyona girme eğilimleri nedeniyle metal alkoksitler yaygın olarak kullanılan ön başlatıcılardır. Sol jel prosesinde yaygın olarak kullanılan başlatıcı malzeme silika atomunda dört alkoksi grup ($O-CH_3$) taşıyan silika bileşiklerinden oluşmaktadır. Geniş bir kullanım oranına sahip tetraetoksilan (TEOS, $Si(OC_2H_5)_4$) bu bileşiklere örnek olarak verilebilir [3, 5, 7].

Sol jel işleminde ilk adım olan asit ya da alkali katalizli olarak gerçekleştirilen hidroliz reaksiyonu sırasında alkoksi grupları ($-OR$), hidroksil ($-OH$) grupları ile yer değiştirmektedirler. Reaksiyon sonucunda meydana çıkan hidroliz ürünleri çözelti içerisinde bulunan ve çapraz bağlar ile bağlanan metal partikülleridir. Bu sırada çözeltiler; saydam, stabil ve 50 nm'den daha küçük partikül çapına sahip nano büyüklükte dispersiyonlardır. Bu nanosollerin sahip olduğu; yüksek depolama stabilitesi, tekstil yüzeylerine iyi yapışma özelliği ve düşük sıcaklıklar altında hızlı kuruma sürelerine sahip olma özellikleri önemli avantajlar oluşturmaktadır [2]. Hidroliz reaksiyonu sonrasında çözelti içerisinde metal oksitler ile metal hidroksitler arasında kondenzasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Meydana gelen kondenzasyon reaksiyonları sonucunda polimerizasyon derecesi kritik bir değere ulaşmakta ve jelleşme meydana gelmektedir [3, 5]. Hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları, hazırlanan çözeltinin karıştırılmaya başladığı anda birçok bölgede meydana gelmektedir. Reaksiyonların devamlılığı süresince çözelti içerisinde geniş demetler halinde ağsı yapı oluşmaya başlar. Bu ağsı yapılar giderek büyüyerek birbirlerine bağlanma eğilimi gösterirler ve jelleşme durumu ortaya çıkar. Reaksiyon hızına ve şekline bağlı olarak oluşan ağsı jel yapıların ve buna bağlı olarak son ürünün mikro yapısı kontrol edilebilmektedir [3, 9, 10].

Sol jel yöntemi kullanılarak elde edilen sol jel çözeltilerinin farklı yöntemler kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemler daldırma, püskürtme yolu ile kaplama, akış yöntemi ile kaplama, çekim ve döndürme yöntemi ile kaplama, laminer kaplama, merdaneli kaplama ve baskı yolu ile kaplama yöntemleridir.

Sol jel yönteminin kullanımı ile literatürde yer alan çalışmalarda tekstil kumaşlarına güç tutuşurluk, yağ iticilik, yüksek yıkma ve renk haslıkları, UV direncin geliştirilmesi, hava geçirgenlik değerinin iyileştirilmesi, anti statiklik, güç tutuşurluk gibi birçok farklı özelliğin kazandırılması sözkonusudur [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

Asidik ve bazik karakterli volkanik kayaç türlerinden biri olan pomza; makro ve mikro ölçekli gözenekli bir yapıda olup bu gözeneklerin varlığı sayesinde ısı ve ses yalıtımında yüksek özelliklere sahiptir [22, 23, 24, 25]. Yapısındaki SiO_2 sayesinde abrasif (aşındırıcı) özellik göstermekte, Al_2O_3 bileşimi ise ısıya karşı yüksek dayanım özelliği göstermesini sağlamaktadır. Ayrıca kimyasal yapısında bulunan Na_2O ve K_2O nedeniyle tekstil sanayinde kullanılmaktadır [24, 26, 27].

Amorf silika yapısında kolloidal silis partikülleri içeren akışkanların yeryüzüne çıkararak soğuması sonucu oluşan beyaz renkli tortul bir kayaç türüdür [28, 29, 30]. Yapısında yer alan dayanıklı Si-O bağlarının varlığı ile termal genişleme katsayısı düşük bir malzeme özelliği gösteren amorf silika; ultraviyole ışınlarına karşı dayanımı ile ideal bir refraktif malzemedir [31, 32].

Ülkemizde özellikle volkanik ve hidrotermal aktivitenin yüksek olduğu bölgelerde sıklıkla bulunan bor elementinin yapısında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren ve ticari önemi olan yaklaşık 230 çeşidi bulunmaktadır. Bor mineralleri içerisinde en yaygın olarak bulunanlardan biri de kolemanittir. Kolemanit; silika, kalsiyum, bor, magnezyum, demir ve potasyum oksitleri içeren ve yapısında %50,8 oranında B_2O_3 bulunan birincil bir bor türevidir Cam elyafı eldesinde kullanımı yanısıra nükleer atık depolama alanlarında ve alev geciktirici olarak kullanım alanlarına sahiptir [33, 34].

Çalışma kapsamında doğal yollar ile eldesi sağlanan pomza, amorf silika ve kolemanit kullanılarak baskı ile sol jel teknolojisinin birlikte kullanımına olanak sağlayan yeni bir işlem geliştirilmiş olup; polyester kumaşların fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Yeni oluşturulan işlem adımı ile baskı patının fiksaj işlemlerinde kullanılan yardımcı kimyasallar (binder vs.) yerine sol jel yöntemi kullanılmış olup, minimum düzeyde kimyasal kullanımı sağlanmıştır. Çalışmada kumaş numunelerine katı partiküllü ve doğal esaslı malzemelerin kullanımı ile sahip olduğu özelliklerinin geliştirilmesi sağlanması yanı sıra düşük enerji maliyetli ve çevreye dost bir prosesin oluşturulması söz konusudur.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal Özellikleri

Çalışma kapsamında %100 polyester (108 g/m^2) dimi dokuma kumaş kullanılmış olup, kumaş sıklık değerleri $50 \text{ çözgü/tel} \times 44 \text{ atkı/tel}$ 'dir. Sol jel çözeltisinin hazırlanması için çözücü olarak etanol (C_2H_5OH , %96, Merck, Almanya) ve saf su kullanılmıştır. Bazik hidroliz işleminde pH ayarlayıcı olarak 0,1 N sodyum hidroksit ($NaOH$, % 100, pelet, Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Sol jel çözeltisi için başlatıcı olarak ise; TEOS (% 98, Sigma-Aldrich, Almanya) metal alkoksiti kullanılmıştır.

Pomza ve kolemanit katkılı baskı patlarının hazırlanması işleminde sentetik kıvamlaştırıcı olarak Tubivis VP 681 (anyonik karboksilik asit polimerlerinin amonyum tuzu, CHT, Türkiye) ve fiksator olarak Tubiprint Fixerer RE (non-iyonik melamin formaldehit türevi, CHT, Türkiye) kullanımı söz konusudur. Amorf silika katkılı baskı patlarında ise; kıvamlaştırıcı olarak Alginat SMT (anyonik sodyum alginat, CHT, Türkiye) ve iyon tutucu olarak Verolan TTY (anyonik alkil fosfonat karışımı, Rudolf Duraner, Almanya) seçilmiştir.

Baskı patları katkı malzemesi olarak kullanımı gerçekleştirilen pomza Isparta ili Gelincik bölgesinden, amorf silika yine aynı ilde Keçiborlu İlçesinden temin edilmiş olup, kolemanit ise Balıkesir İli Bigadiç İlçesinde yer alan ETİ madencilik tesislerinden temin edilmiştir. Kullanılan tüm katkı malzemeleri 0,076 mm çaplı gözeneklere sahip 200 numara elekten geçirilmiştir. Malzemelere ait kimyasal ve fiziksel yapı çizelge 1'de verilmektedir.

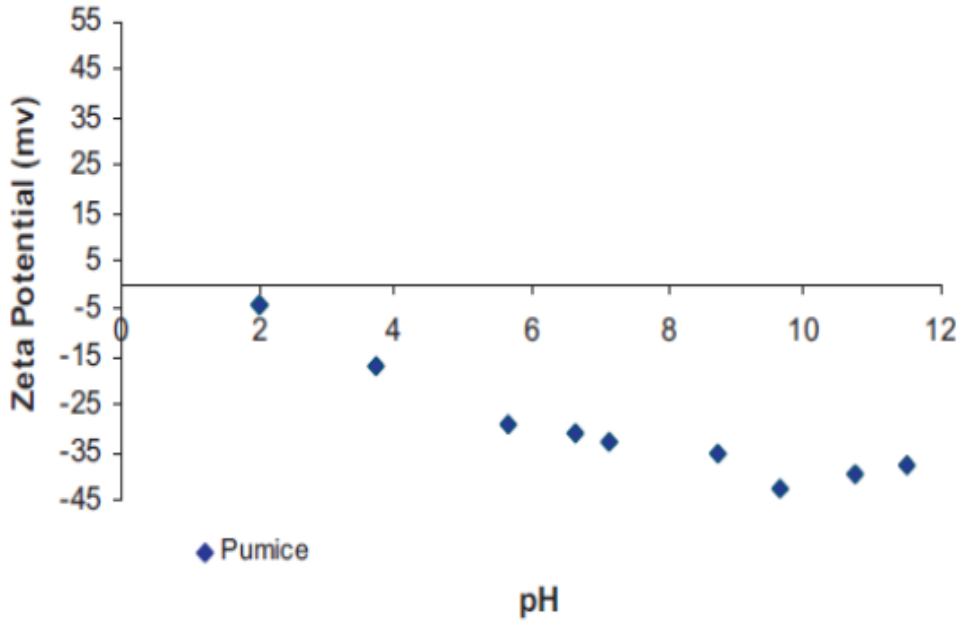
Çizelge 1. Pomza, amorf silika ve kolemanitin fiziksel ve kimyasal yapısı [21].

| İçerik | Birim | Pomza | Amorf silika | Kolemanit |
|----------|-------|-------|--------------|-------------|
| B_2O_3 | % | - | - | 40,00 |
| CaO | % | 4,68 | 0,31 | 27,00 |
| SiO_2 | % | 60,50 | 92,48 | 4,00 – 6,50 |

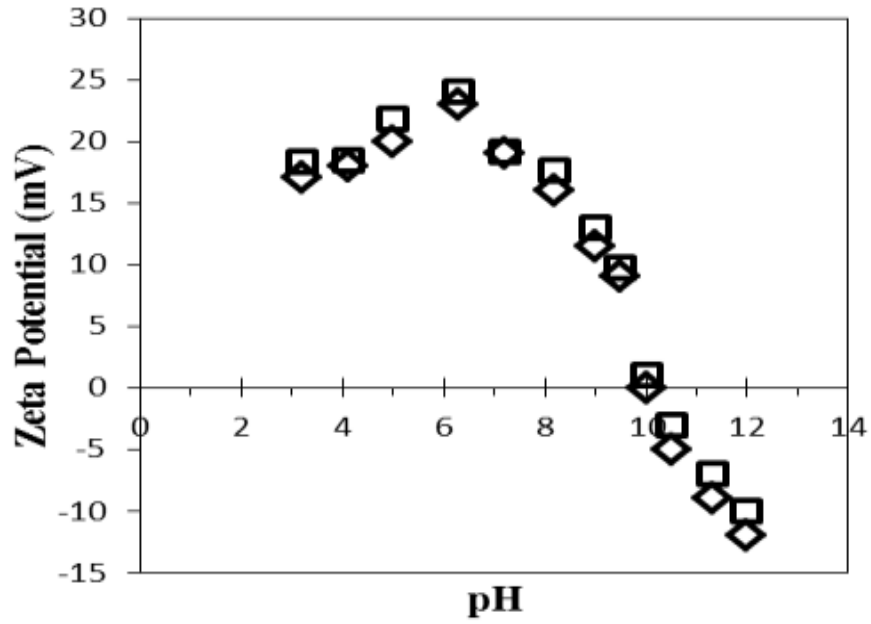
| | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| SO ₄ | % | - | - | 0,60 |
| As | ppm | - | - | 35 |
| Fe ₂ O ₃ | % | 3,38 | 0,09 | 0,08 |
| Al ₂ O ₃ | % | 17,15 | 2,60 | 0,40 |
| MgO | % | 2,09 | - | 3,00 |
| SrO | % | - | - | 1,50 |
| Na ₂ O | % | 4,30 | 1,08 | 0,35 |
| SO ₃ | % | 0,16 | 0,09 | - |
| K ₂ O | % | 4,54 | 0,04 | - |
| TiO ₂ | % | 0,41 | 1,34 | - |
| Limit oksijen indeksi (LOI) | % | 2,79 | 1,85 | 24,60 |
| Özgül ağırlık (Gs) | g/cm ³ | 2,40 | 2,39 | 2,42 |
| Sertlik | Mohs'a göre | 5-5,5 | 5,5-6 | 4-4,5 |

Çizelge 1. Devamı

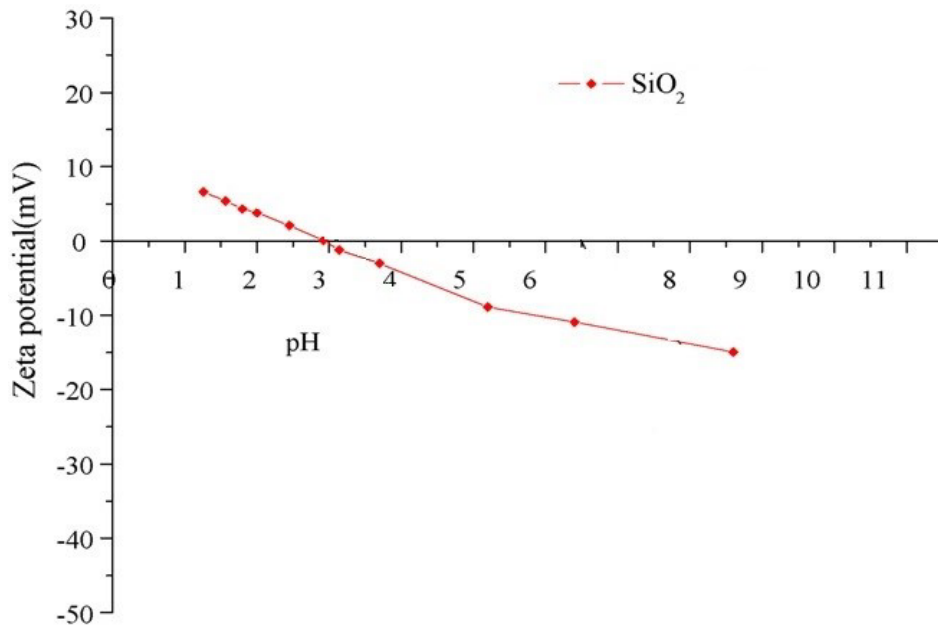
Kumaş numuneleri için katkı malzemesi olarak kullanılan pomza, amorf silika ve kolemanit malzemelerinin zeta potansiyel – pH grafikleri (şekil 1, şekil 2 ve şekil 3) incelendiğinde malzemelerin hepsinin bazik bölgede ortak özellikler gösterdiği ve negatif yüklere sahip oldukları görülmektedir. Bu durum pozitif yüklü metal alkoksitler ile bağların oluşmasını desteklemekte olup bu nedenle sol jel adımının bazik katalizli olarak gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 1. Pomza zeta potansiyel – pH grafiği [35].



Şekil 2. Kolemanit zeta potansiyel – pH grafiği [26].



Şekil 3. SiO₂ zeta potansiyel – pH grafiği [36].

2.2. Baskı ve Sol Jel Kaplama Metodu

Çalışmada kumaş numunelerinin kaplama işlemi iki basamakta gerçekleştirilmektedir. İlk basamak olarak kumaş numuneleri hazırlanan baskı patları ile baskı işlemine tabi tutulmakta olup, baskı

işlemi sonrası 100 °C’de 3 dakika kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Baskı işlemi iki türlü olarak gerçekleştirilmiş olup, baskı işleminde kumaş yüzeyine eşit baskı patının aktarımının sağlanması için işlemler sonrası yaş ağırlıklar tartılarak yaklaşık benzer baskı patı miktarını ihtiva eden kumaş numuneleri ile işlemlere devam edilmiştir. Tüm baskı reçetelerinde pomza, kolemanit ve amorf silika kullanım oranları 25, 50 ve 100 g olarak üç farklı oranda belirlenmiştir. Gerçekleştirilen pigment baskı işlemi için kullanılan reçeteler çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2. Pigment baskı için kullanılan baskı reçeteleri

| Pomza/kolemanit içeren baskı reçetesi | | Amorf silika içeren baskı reçetesi | |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| Pomza yada kolemanit | 25 / 50 / 100 g | Amorf Silika | 25 / 50 / 100 g |
| Su | x g | Su | x g |
| Tubivis VP 681 | 17 g | Alginat SMT | 40 g |
| Tubiprint Fixerer RE | 10 g | Verolan TTY | 1 g |
| 1000 g | | 1000 g | |

Baskı işlemi sonrasında 24 saat standart atmosfer şartlarında (%65±2 izafi rutubet ve 20±2 °C) kondisyonlama işlemi gerçekleştirilen kumaş numunelerine sol jel kaplama işlemi uygulanmıştır. Sol jel hazırlama için kullanılan temel reçete çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Temel sol jel reçetesi

| Kimyasal Maddeler | Miktar |
|-------------------|--------|
| TEOS | 11 ml |
| Etanol | 50 ml |
| Su | 35 ml |
| NaOH | * |

(*Sol jel çözeltisinin hazırlanması sırasında pH değerinin 9–10 arasında olacak miktarda 0,1 N NaOH eklenmiştir.)

Sol çözeltisi için kullanılan tüm kimyasallar oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile hazırlanmış ve işlem saydam bir çözelti elde edilinceye kadar devam ettirilmiştir. Elde edilen karışımın pH değeri 9,7 olarak ölçülmüştür. Saydam sol eldesi sonrası kumaş numuneleri çözelti içerisinden yatay fulard (ATAÇ) yardımı ile 2 bar basınç altında 3,5 m/dk hızla 2 pasaj olarak geçirilmiş ve 100 °C sıcaklık altında 3 dakika süresince fiksaj işlemine (Mathis Labsteamer) tabi tutulmuştur. Kumaş numuneleri tüm test ve analizler öncesinde 24 saat standart atmosfer koşullar altında kondisyonlanmıştır.

2.3. Kumaş Numunelerine Uygulanan Test ve Analizler

Kumaş numunelerinin yüzey morfolojilerinin görüntülenmesi ve % elementel EDS nokta analizleri için Tescan MAIA3 XMU marka yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu kullanılmış olup, tüm numuneler yüzey görüntülemesi öncesi yüksek vakumlu Au-Pd (altın-paladyum) kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Numune üzerindeki elementlerin belirlenmesi için nokta ve alan analizi yöntemleri tercih edilmiştir. Nitel analizler için ise Shimadzu marka IRAffinity-1 model FTIR (Fournier Transform Infrared – Fourier Dönüşümlü Kızılötesi) spektroskopisi cihazı kullanılmıştır.

Polyester kumaş numunelerinin kopma mukavemeti, % kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti değerlerinin ölçümü Llyod LR5K Plus mukavemet test cihazında gerçekleştirilmiş olup işlemler için sabit uzama hızı prensibi (CRE – constant rate elongation) kullanılmıştır. Kopma mukavemeti testi TS EN ISO 13934-1, yırtılma mukavemeti TS EN ISO 13937 – 2 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Pomza, kolemanit ve amorf silika katkılı baskı ve sol jel kaplama işlemine tabi tutulan kumaşların UV yansıtma ve absorban değerlerinin ölçümleri Shimadzu UV-3600 PLUS spektrometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm dalga boyu olarak AS/NZS 4399-1996 standardı kullanılmış UV bölge olarak 290 – 400 nm dalga boyları arası seçilmiştir.

Kumaşlara ait hava geçirgenlik değerlerinin ölçümü ASTM D 737 standardı kullanılarak Textest FX 3300 test cihazında yapılmıştır.

5000, 10000 ve 20000 devirlerde gerçekleştirilen aşınma direnci ölçümlerinde TS EN ISO 12945-2 standardı kullanılmış olup, Nu-Martindale M 406 boncuklanma ve aşınma test cihazında yapılan testler sonrası kumaş numunelerinde aşınma sonrası meydana gelen yüzde ağırlık değişimi aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık Kaybı (\%)} = \left[\frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \right] \times 100 \quad (1)$$

W₁: Test öncesi ağırlık (g)

W₂: Test sonrası ağırlık (g)

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm analiz ve testlerde elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi SPSS İstatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, değerlendirmede varyans homojenlik testi ve One way – Anova testi ile farklı post hoc (çoklu karşılaştırma) tekniklerinin kullanımı söz konusudur.

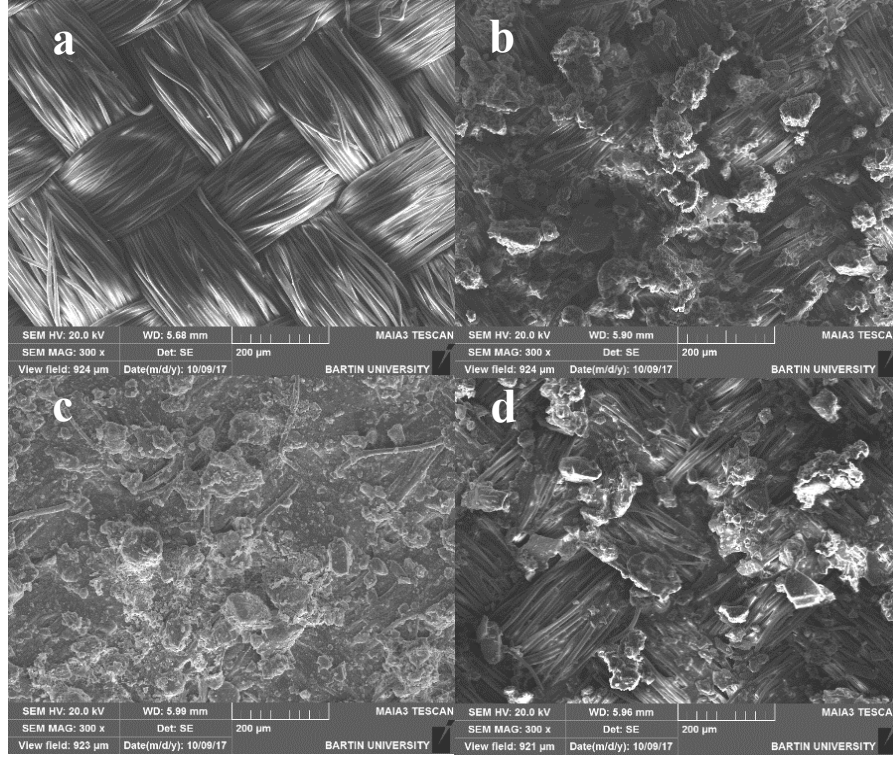
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kumaş Yüzey Morfolojileri, % Elementel ve Nitel Analiz Bulguları

Polyester kumaş numunelerine ait yüzey morfolojilerinin görüntülü analizleri için optimum sonuçların elde edildiği 50 g/kg katkılı pomza, kolemaniti ve amorf silica baskı ve sol jel kaplama işlemine tabi tutulmuş kumaş numuneleri kullanılmıştır. Polyester kumaş numunelerine ait SEM görüntüleri şekil 4’de verilmektedir.

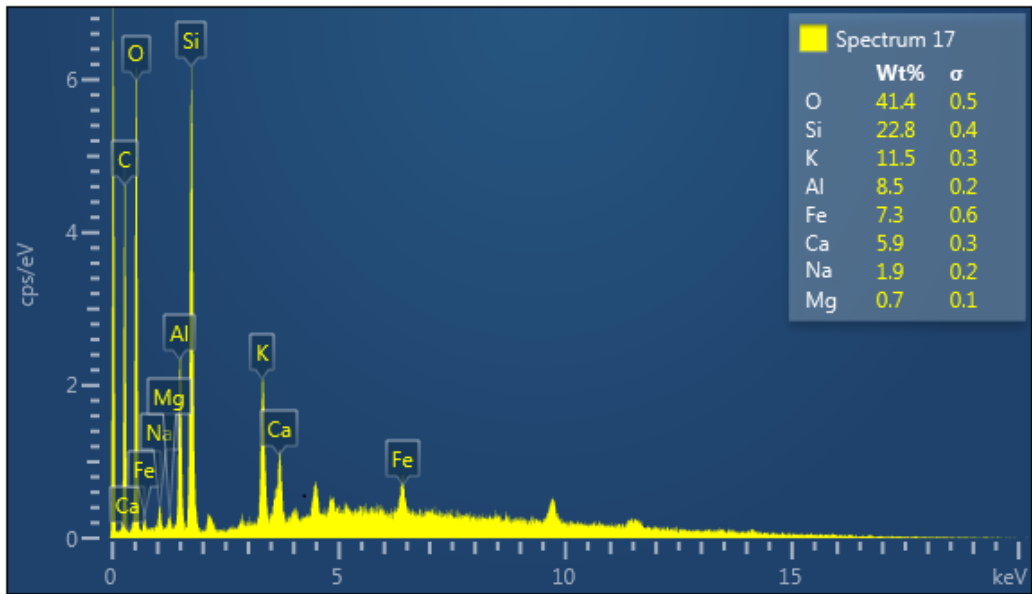
Polyester kumaş numunelerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde işlemsiz kumaş numunesine göre pomza, kolamanit ve amorf silica ile işleme alınan kumaş yüzeylerinde katkı malzemeleri ve sol jel kaynaklı yapıların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca amorf silica katkılı işlemler sonrası polyester

kumaş numunesinde görüntüsel olarak liflerin seçiminin düştüğü ve yüzeyde yoğun bir katmanın varlığı söz konusudur. Bu katman amorf silika ile yapılan baskı işlemlerinde baskı reçetesinde mevcut kuru madde oranı sentetik kıvamlaştırıcılardan daha fazla oranda olan Alginat SMT kaynaklı olduğu ön görülmektedir.

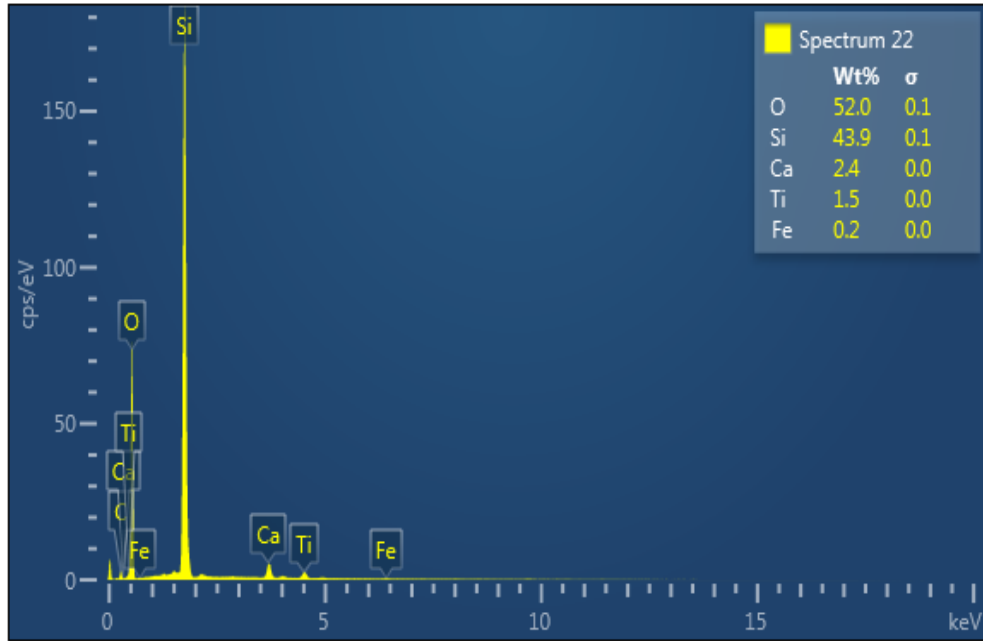


Şekil 4. Kumaş numunelerine ait SEM görüntüleri (a- işlemsiz kumaş, b- pomza katkılı kumaş, c- amorf silika katkılı kumaş, d- kolemanit katkılı kumaş)

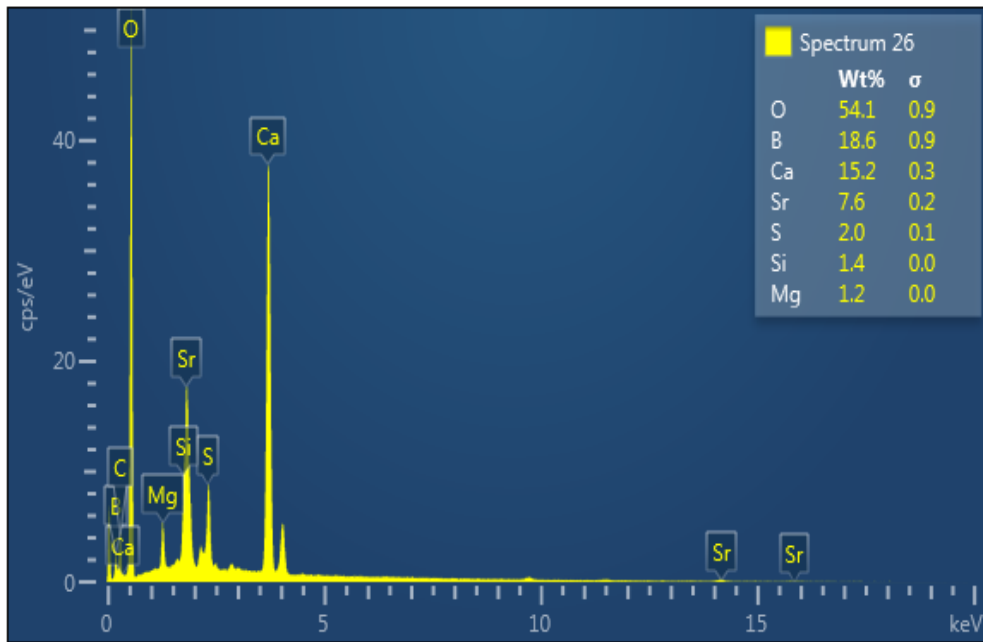
Polyester kumaş numunelerinin katkı malzemesi olarak işleme alındığı pomza, amorf silika ve kolemanit tozlarına ait EDS % elemental analiz sonuçları şekil 5, şekil 6 ve şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 5. Pomza EDS analiz sonuçları

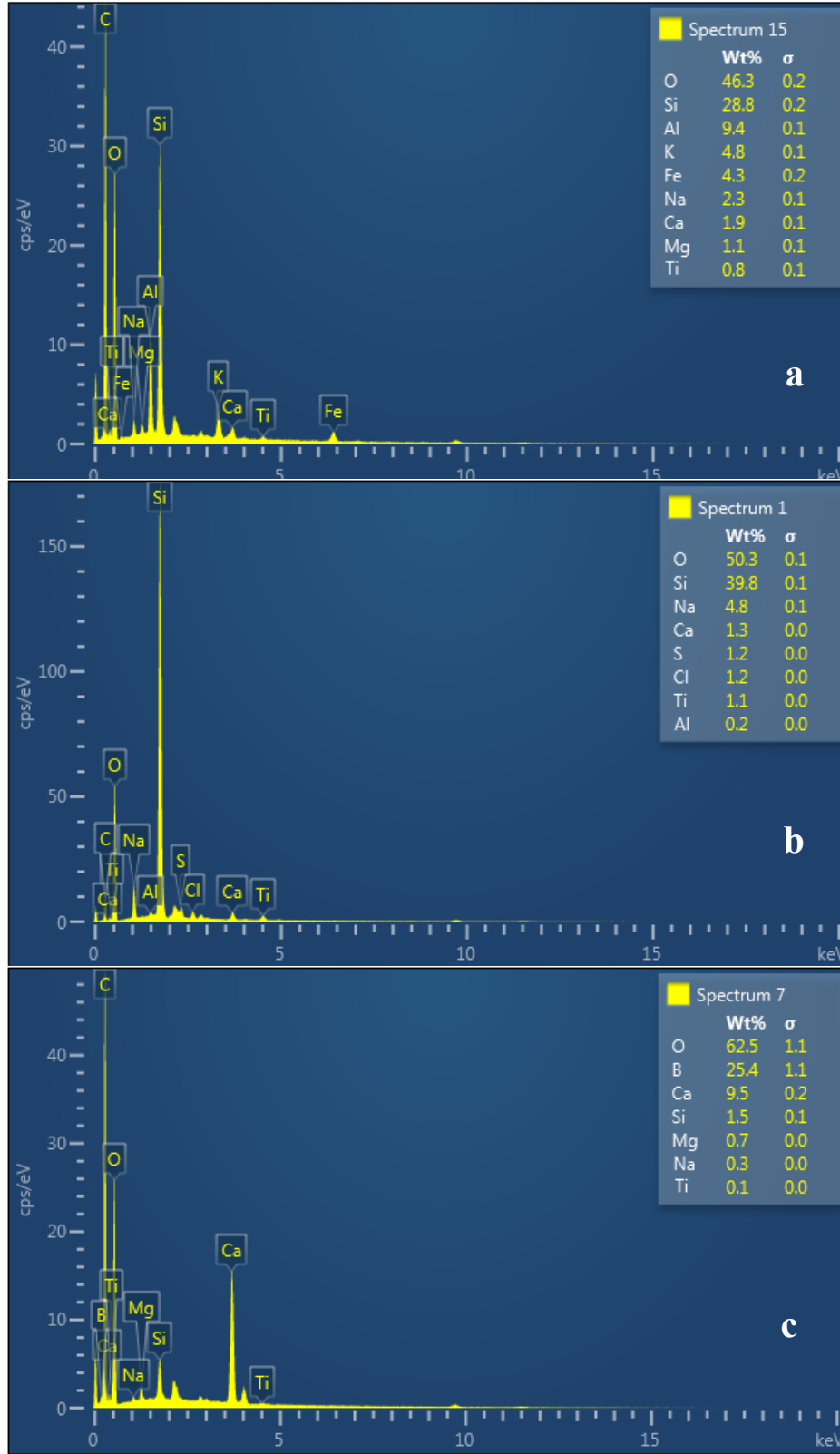


Şekil 6. Amorf silika EDS analiz sonuçları



Şekil 7. Kolemanit EDS analiz sonuçları

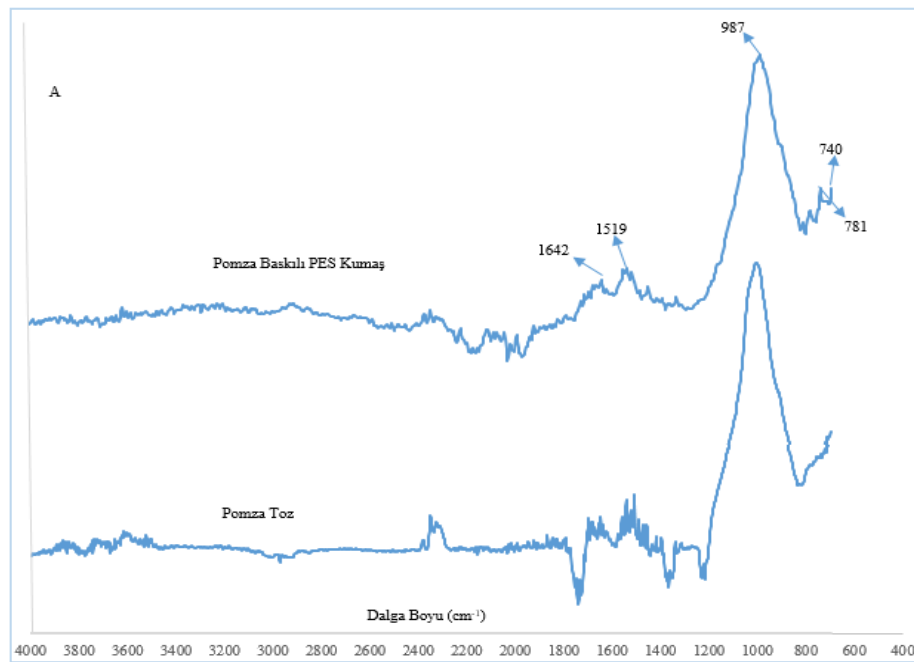
Şekilde 8'de ise pomza, amorf silika ve kolemanit ile işlemler sonrası kumaş yüzeylerinden elde edilen EDS % elemental analiz sonuçları yer almaktadır.



Şekil 8. İşlemler sonrası polyester kumaş numunelerine ait EDS analizi sonuçları (a- pomza reçeteli kumaş numunesi, b- amorf silika reçeteli kumaş numunesi, c- kolemanit reçeteli kumaş numunesi)

Şekilde 5, 6, 7 ve 8 incelendiğinde çalışma kapsamında katkı malzemesi olarak kullanılan pomza, amorf silika ve kolemanite ait kimyasal elementlerin kumaş numunelerinde de varlığı görülmektedir. Pomzaya ait olan silisyum (Si), potasyum (K), alüminyum (Al), demir (Fe), kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) elementleri polyester kumaş numunesi üzerinde farklı yüzdelik oranlarda bulunduğu gibi, amorf silika yapısında yer alan Si, O, Ca, titanyum (Ti) ve Al ile yine kolemanit yapısında yüksek oranlarda yer alan bor (B) ve Ca elementlerinin polyester kumaşlarda farklı yüzdelik oranlarda bulunduğu görülmektedir. Bu durum katkı malzemelerinin yapısında sahip oldukları elementlerin kumaş numunelerine aktarıldığını kanıtlar niteliktedir.

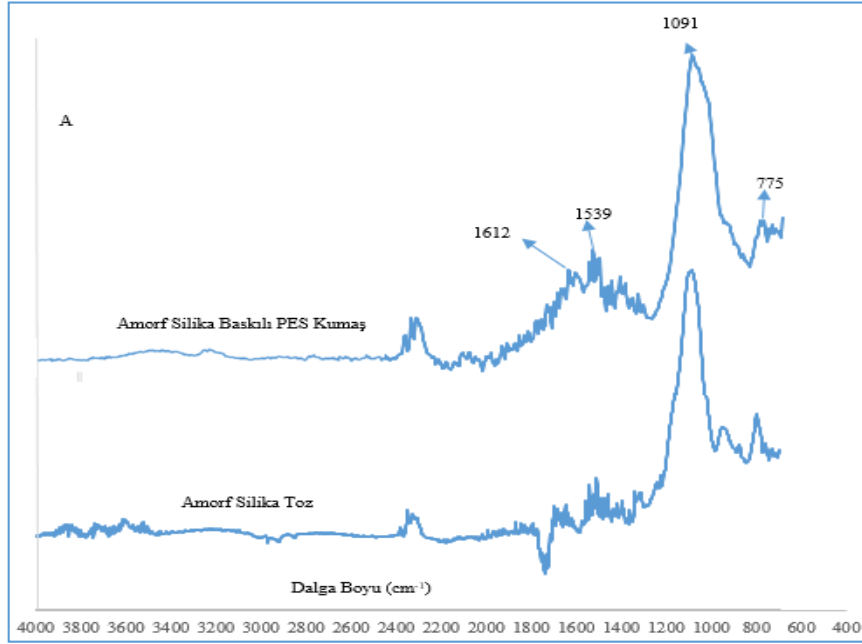
Polyester kumaş numunelerine ait $400\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında FTIR cihazı ile gerçekleştirilen nitel analizlerin sonuçları şekil 9, şekil 10 ve şekil 11’de verilmektedir.



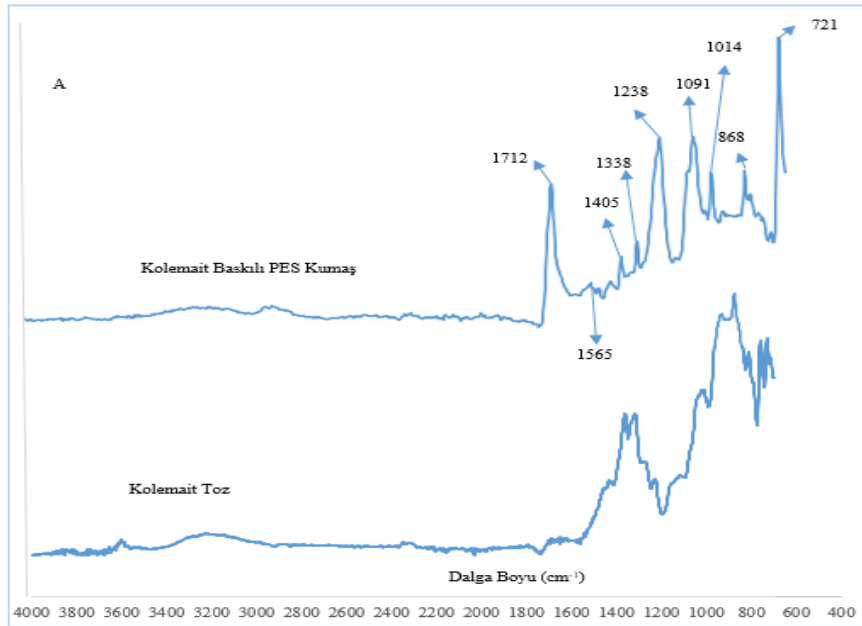
Şekil 9. Pomza toz ve pomza baskılı PES kumaşa ait F-TIR grafiği

Şekil 9’da verilen grafik incelendiğinde $2900\text{ cm}^{-1} - 3000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan bandın C – H bağı, $3400\text{ cm}^{-1} - 3600\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bölgede meydana gelen bandın ise polyester yapısındaki –COOH (karboksil) grubundan kaynaklandığı görülmektedir [18, 37]. $1555\text{ cm}^{-1} - 1650\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında yer alan bant C = O kaynaklıdır [38]. 740 cm^{-1} dalga boyunda meydana gelen pik Mg – Fe – OH arası bağlar, 987 cm^{-1} dalga boyundaki pik ise Si = O germe titreşimlerine ve Si – O bağlarına karşılık gelmektedir [13, 20, 38, 39, 40, 41].

Şekil 10 incelendiğinde $3000\text{ cm}^{-1} - 3200\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan bandın C – H bağı temsil ettiği, $3400\text{ cm}^{-1} - 3600\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bölgede meydana gelen bandın ise polyester yapısındaki –COOH (karboksil) grubundan kaynaklandığı görülmektedir [18, 37]. $1400\text{ cm}^{-1} - 1690\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasının COO- ve C=O nedenli olduğu ve bu durumun 1539 cm^{-1} ve 1612 cm^{-1} dalga boyunda pik oluşumunu desteklediği görülmektedir [42]. $1000\text{ cm}^{-1} - 1110\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasındaki bant Si = O germe titreşimlerine ve Si – O bağlarına karşılık gelmektedir. Bu durum 1091 cm^{-1} dalga boyunda oluşan pikin amorf silika yapısında bulunan SiO_2 kaynaklı olduğunu göstermektedir [13, 20, 40]. 775 cm^{-1} dalga boyunda oluşan pik ise amorf silika ve TEOS kaynaklı SiO_2 bileşiğini ifade etmektedir [20, 40].



Şekil 10. Amorf silika toz ve amorf silika baskılı PES kumaşa ait F-TIR grafiği



Şekil 11. Kolemanit toz ve kolemanit baskılı PES kumaşa ait F-TIR grafiği

Şekil 11’de ise kolemaniti katkılı işleme tabi tutulan kumaş numunesi ve kolemaniti tozu ile ilgili FTIR grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde $2900\text{ cm}^{-1} - 3000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan bandın C – H bağımlı temsil ettiği ve polyester yapısındaki –COOH (karboksil) grubundan kaynaklandığı görülmektedir [18, 37]. 1712 cm^{-1} ve 1565 cm^{-1} dalga boylu piklerin C=O (karbonil) kaynaklı olduğu [38] ve $1200\text{ cm}^{-1} - 1500\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında oluşan piklerin kolemanit yapısında bulunan B_2O_3 kaynaklı B – OH bağlarını temsil ettiği görülmektedir [41, 43]. 1091 cm^{-1} ve 1014 cm^{-1} dalga boyundaki pikler ise; Si = O kaynaklıdır [20, 38]. 868 cm^{-1} dalga boylu pik kolemanit ve TEOS kaynaklı SiO_2 bileşimini ifade etmektedir [20, 41]. 721 cm^{-1} dalga boylu pik $\text{B}_4 - \text{O}$ kaynaklıdır [44, 45, 46].

3.2. Polyester Kumaş Numunelerine ait Mukavemet Test Bulguları

Çalışma kapsamında polyester kumaş numunelerine uygulanan baskı ve sol jel kaplama işlemleri sonucunda kumaşlara kopma mukavemeti, % kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti testleri uygulanmıştır. İşlem standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen testlerde 10'ar adet numune ile test tekrarlanmış ve pomza, amorf silika ve kolemanit katkılı işlemler sonucunda elde edilen kumaş kopma mukavemeti ve % kopma uzaması ortalama değerleri çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Polyester kumaşa ait kopma mukavemeti ve % kopma uzaması değerleri

| İşlem Türü | Miktar (g/kg) | Kopma Mukavemeti (N) | | % Kopma Uzaması | |
|--------------------------------------|---------------|----------------------|---------|-----------------|-------|
| | | Çözgü | Atkı | Çözgü | Atkı |
| Pomza katkılı polyester kumaş | 100 | 997,298 | 868,730 | 28,74 | 31,60 |
| | 50 | 934,319 | 827,306 | 26,66 | 30,69 |
| | 25 | 907,882 | 800,050 | 25,03 | 29,28 |
| Amorf silika katkılı polyester kumaş | 100 | 923,495 | 801,522 | 25,95 | 30,85 |
| | 50 | 906,214 | 782,538 | 25,23 | 29,70 |
| | 25 | 900,025 | 769,064 | 24,50 | 28,78 |
| Kolemanit katkılı polyester kumaş | 100 | 993,731 | 900,096 | 28,59 | 30,62 |
| | 50 | 968,744 | 884,047 | 28,12 | 29,47 |
| | 25 | 944,281 | 879,774 | 26,28 | 28,39 |
| İşlemsiz Kumaş | ----- | 811,051 | 721,007 | 29,63 | 31,76 |

Çizelge 4 incelendiğinde tüm katkı malzemeleri kullanılarak işleme alınan polyester kumaş numunelerinin kopma mukavemeti değerleri işlemsiz kumaş numunesine göre hem atkı hemde çözgü yönünde daha yüksek değerlere sahiptir. Ortalama değerler incelendiğinde çözgü ve atkı yönlerinde elde edilen en yüksek kopma mukavemeti değerleri kolemanit katkılı işlemler sonucunda elde edilmiş olup, katkı malzemesinin kullanım miktarına göre en üst değerler tüm malzeme çeşitlerinde 100 g/kg kullanım miktarında elde edilmiştir. İşlem görmemiş kumaş elyaf eksenine paralel bir kuvvet uygulandığında elyaf yapısında yer alan makromolekülleri birbirine bağlayan bağlarda uygulanan kuvvete karşı bir direnç oluşturmaktadır, uygulanan kuvvet tepki direncinin üstüne çıktığında kuvvet kırılma eğilimi göstererek elyafın kopmasına neden olmaktadır. Oluşturulan işlem basamağı ile kumaş yüzeyine ikincil bir tabaka uygulanması nedeniyle tüm katkı malzemeleri ile işleme alınan kumaşların kopma mukavemeti değerleri yükselmiştir [6, 21]. Yine çizelge 4 incelendiğinde işlem gören kumaş numunelerini sahip olduğu % kopma uzama değerlerinde bir miktar düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bu değer değişiminin temel nedeni işlemler sonucunda kumaş yüzeyinde ikincil bir sert baskı ve sol jel katmanının oluşması ile açıklanmaktadır [21].

Kumaş numunelerine ait yırtılma mukavemeti değerleri çizelge 5'te verilmektedir.

Çizelge 5. Polyester kumaşa ait yırtılma mukavemeti değerleri

| İşlem Türü | Miktar (g/kg) | Yırtılma Mukavemeti (N) | |
|-------------------------------|---------------|-------------------------|-------|
| | | Çözgü | Atkı |
| Pomza katkılı polyester kumaş | 100 | 44,93 | 34,52 |
| | 50 | 43,02 | 33,83 |
| | 25 | 40,33 | 31,08 |

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Amorf silika katkılı polyester kumaş | 100 | 44,95 | 34,05 |
| | 50 | 43,19 | 33,36 |
| | 25 | 38,10 | 31,28 |
| Kolemanit katkılı polyester kumaş | 100 | 47,14 | 37,16 |
| | 50 | 46,09 | 36,08 |
| | 25 | 43,27 | 34,22 |
| İşlemsiz Kumaş | ----- | 37,56 | 30,91 |

Çizelge 5. Devamı

Çizelge 5 incelendiğinde gerçekleşen işlemler sonrası en yüksek yırtılma mukavemeti değerinin 100 g/kg kolemanit katkı malzemesi içeren kumaş numunesinde olduğu, tüm katkı malzemeleri için katkı malzemesi düzeyine paralel olarak yırtılma mukavemeti değerlerinin işlemsiz kumaş numunesine göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

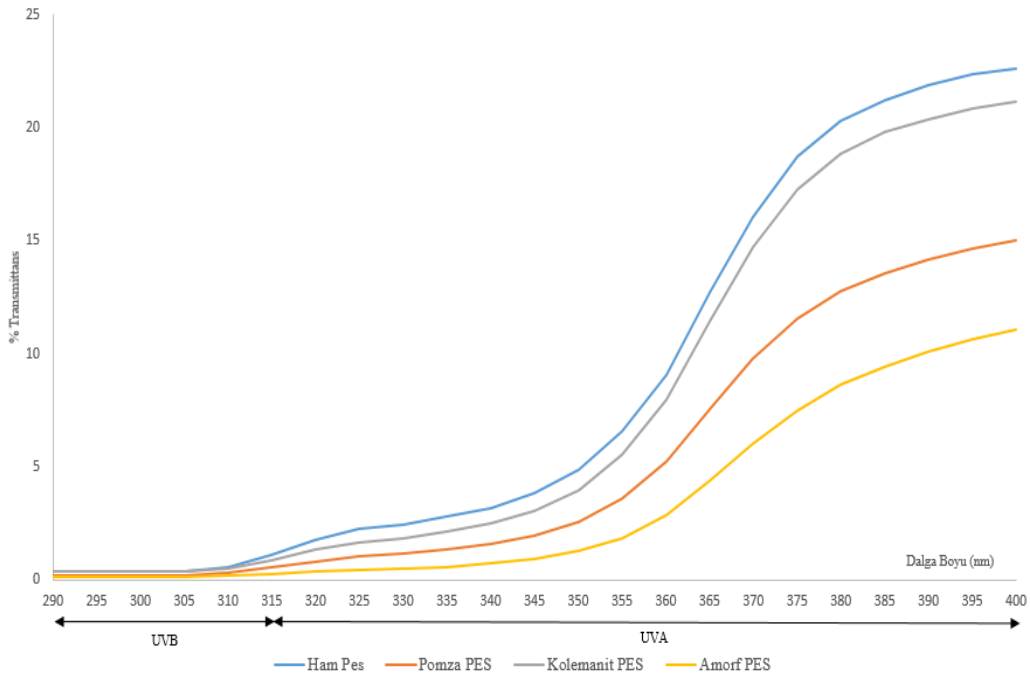
3.3. Kumaş Numunelerinin UV Yansıtma ve Transmittans (Geçirgenlik) Ölçüm Bulguları

Tüm tekstil kumaş yapılarının güneşin UV radyasyonunu farklı oranlarda yansıtma ve geçirgenlik özellikleri bulunmaktadır [47, 48, 49]. Çalışma kapsamında baskı ve sol jel kaplama işlemlerinden geçirilen kumaş numunelerinin 5nm dalga boyu aralıklı UV A (315 – 400 nm) ve UV B (290 – 315 nm) bölgelerinde AS / NZS 4399 – 1996 standardına uygun olarak ölçümleri yapılmıştır. UVA ve UVB değerlerinin ölçümlerinde kullanılan denklemler aşağıda verilmektedir.

$$UVA = [(T_{315} + T_{320} + \dots + T_{400}) / 18] \quad (2)$$

$$UVB = [(T_{290} + T_{295} + \dots + T_{315}) / 6] \quad (3)$$

Polyester kumaş numunelerine ait % transmittans ölçüm grafiği şekil 12’de verilmektedir.



Şekil 12. Polyester kumaş numuneleri % transmittans ölçüm grafiği

Polyester kumaş numunelerine ait UVA ve UVB değerleri ise çizelge 6'da yer almaktadır.

Çizelge 6. Polyester kumaş numuneleri % UVA ve % UVB değerleri

| Numune | % UV A | % UV B |
|--------------------------------------|--------|--------|
| İşlemsiz Polyester Kumaş | 10,77 | 0,52 |
| Pomza Baskılı Polyester Kumaş | 6,61 | 0,28 |
| Kolemanit Baskılı Polyester Kumaş | 9,74 | 0,46 |
| Amorf Silika Baskılı Polyester Kumaş | 4,31 | 0,17 |

Elde edilen veriler incelendiğinde amorf silika katkılı baskı ve sol jel işlemi sonrası polyester kumaş numunelerinin UV A ve UV B bölgelerinde en düşük % transmittans değerlerine sahip oldukları sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 7. AS/NZS 4399 – 1966 standardı UPF değerlendirme çizelgesi

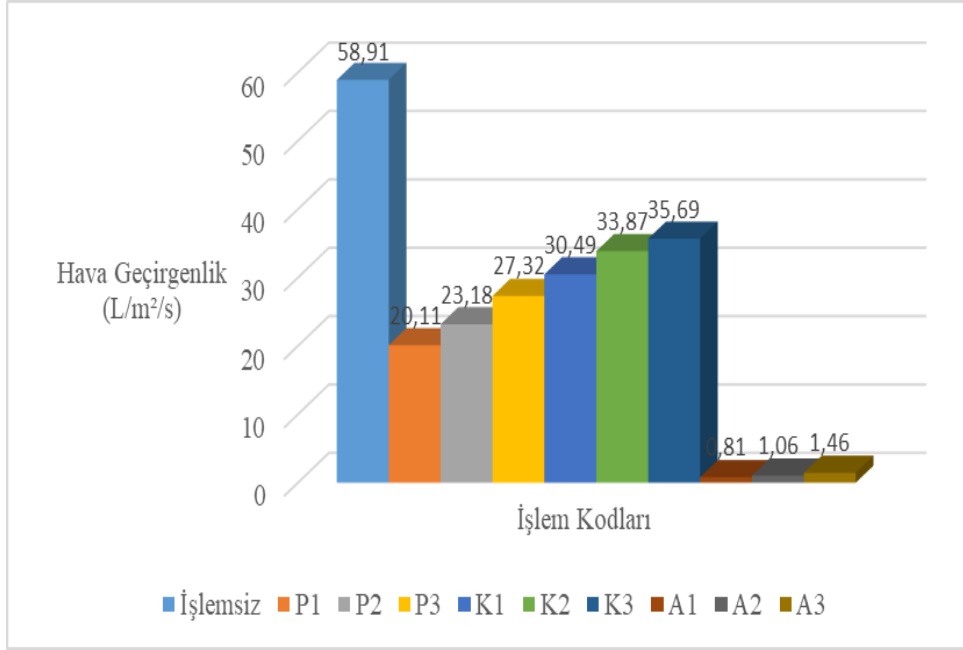
| UPF Değeri | Ortalama UVA | Değerlendirme |
|------------|--------------|---------------|
| 15 – 24 | 6,7 – 4,2 | İyi |
| 25 – 30 | 4,1 – 2,6 | Oldukça İyi |
| > 40 | < 2,5 | Mükemmel |

Çizelge 7'de verilen UPF değerlendirme tablosu incelendiğinde amorf silika katkılı polyester kumaş numunelerinin iyi UV geçirgenlik değerine sahip oldukları ve bu durumun amorf silikanın sahip olduğu refraktif optik malzeme özelliği kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır. Amorf silikanın refraktif özellik göstermesinin temel nedeni yapısında bulunan hidroksillerin (OH-) bazı dalga boylarını iyi absorblayabilmesi ve Si - O titreşiminin yüksek aralıklarda absorblayabilme özelliğidir [50].

3.4. Kumaş Numunelerinin Hava Geçirgenlik Değeri Bulguları

Çalışma kapsamında elde edilen kumaş numunelerine standartlara uygun şekilde 10 farklı bölgeden hava geçirgenlik değer ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ortalama sonuçlar şekil 13'te grafik olarak sunulmuştur.

Şekil 13'te verilen grafik incelendiğinde tüm farklı katkı malzemelerinin kullanıldığı işlemler sonrasında el edilen kumaş numunelerinin hava geçirgenlik değerlerinin işlemsiz kumaş numunesine göre düşük olduğu görülmektedir. En düşük hava geçirgenlik değeri amorf silika katkılı yapılan işlemler sonucu elde edilmiş olup, katkı malzeme miktarının en düşük olduğu (25g/kg) işlemler sonucunda hava geçirgenlik değerlerinin daha yüksek oranlarda sağlanması söz konusudur.



Şekil 13. Polyester kumaş numuneleri ortalama hava geçirgenlik değer grafiği

3.5. Kumaş Numunelerinin Aşınma Direnci Bulguları

Çalışma kapsamında kumaş numunelerinin aşınma direnci değerlerinin ölçümünde kumaş gramajının 500 g/m² değerinden düşük olması nedeniyle 9 kg/Pa ağırlık kullanılmış olup, test standartlarına uygun olarak 5 numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler için farklı devirler (5000, 10000, 20000) sonrası % ağırlık değişim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 8’de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde 20000 devir sonrası en düşük % ağırlık kaybı değerine amorf silika katkılı baskı ve sol jel işleminden geçirilen polyester kumaş numunelerinin sahip olduğu görülmektedir. Tüm kumaş numuneleri işlemsiz polyester kumaş numunesine oranla aşınma direncine karşı daha dayanımlı hale gelmiş olup 5000, 10000 ve 20000 devirler sonrası elde edilen % ağırlık kaybı değerleri bu durumu kanıtlar niteliktedir. Kumaşlar üzerinde oluşturulan ikincil tabaka sayesinde kumaşların gramajlarında artış görülürken aşınma karşısında yüksek direnç gösterdikleri sonucu elde edilmiştir.

Çizelge 8. Polyester kumaş numuneleri aşınma direnci test sonuçları

| Numune | Gramaj (g/m ²) | 5000 devir sonrası Gramaj (g/m ²) | % Ağırlık Kaybı | 10000 devir sonrası Gramaj (g/m ²) | % Ağırlık Kaybı | 20000 devir sonrası Gramaj (g/m ²) | % Ağırlık Kaybı |
|----------|----------------------------|---|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|
| İşlemsiz | 0,185 | 0,176 | 4,864 | 0,169 | 8,648 | 0,165 | 10,810 |
| *P1 | 0,301 | 0,294 | 2,325 | 0,290 | 3,654 | 0,287 | 4,651 |
| *P2 | 0,290 | 0,282 | 2,758 | 0,279 | 3,793 | 0,277 | 4,482 |
| *P3 | 0,285 | 0,278 | 2,456 | 0,276 | 3,157 | 0,273 | 4,210 |
| *A1 | 0,302 | 0,297 | 1,655 | 0,295 | 2,317 | 0,292 | 3,311 |
| *A2 | 0,294 | 0,290 | 1,360 | 0,288 | 2,040 | 0,286 | 2,721 |
| *A3 | 0,290 | 0,286 | 1,379 | 0,284 | 2,068 | 0,283 | 2,413 |
| *K1 | 0,267 | 0,251 | 5,992 | 0,249 | 6,741 | 0,246 | 7,865 |
| *K2 | 0,251 | 0,234 | 6,772 | 0,231 | 7,968 | 0,229 | 8,764 |
| *K3 | 0,246 | 0,233 | 5,284 | 0,230 | 6,504 | 0,227 | 7,723 |

* P1: 100g/kg pomza katkılı kumaş, P2: 50g/kg pomza katkılı kumaş, P3: 25g/kg pomza katkılı kumaş, A1: 100g/kg amorf silika katkılı kumaş, A2: 50g/kg amorf silika katkılı kumaş, A3: 25g/kg amorf silika katkılı kumaş, K1: 100g/kg kolemanit katkılı kumaş, K2: 50g/kg kolemanit katkılı kumaş, K3: 25g/kg kolemanit katkılı kumaş

4. Sonuç

Çalışma kapsamında polyester kumaş numuneleri pomza, amorf silika ve kolemanit katkı malzemeleri kullanılarak baskı işlemine alınmıştır. Baskı işlemi reçetesinde standart baskı yöntemi yerine sadece kıvamlaştırıcı kullanımı söz konusu olup, baskı fiksajı sol jel kaplama işlemi ile gerçekleştirilerek doğal esaslı malzemeler içeren ikincil tabakanın korunması sağlanmıştır.

Sol jel yöntemi seçiminde katkı malzemesi olarak kullanımı söz konusu olan pomza, amorf silika ve kolemanit maddelerinin zeta potansiyelleri incelenerek bazik katalizli bir sol jel yöntemi seçilmiştir. Gerçekleştirilen yüzey görüntülemeleri, EDS ve FTIR analizleri sonucunda katkı malzemelerinin sahip olduğu yapısal elementlerin kumaşa aktarıldığı elde edilen sonuçlar ile kanıtlanmıştır. Bu durum kumaş numunelerinde farklı kimyasal bağların oluşmasına ve farklı fonksiyonel özellikler göstermesine katkıda bulunmuştur.

Elde edilen test sonuçları oluşturulan işlem adımları ile işlemsiz polyester kumaş numunelerine kopma mukavemeti, %kopma uzaması ve yırtılma mukavemeti değerlerinde iyileşmeler sağlandığını, UV geçirgenlik sonuçları ile özellikle amorf silika kullanılan işlemler sonrası polyester kumaş numunesinin UV koruma özelliğinin iyi değer aralığına ulaştığını, aşınma direncine karşı kumaş davranışlarının geliştirildiğini göstermektedir. Ayrıca polyester elyafının sahip olduğu üstün mukavemet özelliklerinin geliştirilmesinde üretim prosesleri yerine alternatif bir yöntem geliştirilerek iyileştirmelerin elde edilmesi söz konusudur.

Çalışma ile pigment baskıcılıkta kullanılan binder kullanımı nedeniyle oluşan atık oranındaki artış ve yüksek sıcaklıkla yapılan ve maliyeti yüksek fiksaj işlemleri yerine sol jel yöntemi ile alternatif bir yöntemin oluşturulması gerçekleşmiştir. Ayrıca doğal yollar ile elde edilen malzemelerin özelliklerinin kumaş yapılarına aktarımı alternatif bir yöntem oluşturulması adına olumlu bir nokta olarak göze çarpmaktadır.

Gerek kaynakların verimli kullanımı, gerek çevreye dost olması ve düşük fiksaj sıcaklığı nedeniyle düşük enerji maliyeti ile ön plana çıkan yeni yönteminin tekstilde farklı uygulamaları çalışılmış ve gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılar için iyi bir kaynak oluşturulması amaçlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Teşekkür

Bu çalışma; Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4030-D1-14 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Mackenzie JD, Bescher EP. Chemical routes in the synthesis of nanomaterials using the sol-gel process. *Accounts of Chemical Research* 2007; 40(9): 810-818.
- [2] Mete G. Sol-jel teknolojisini kullanarak pamuklu kumaşa su, yağ iticilik ve güç tutuşurluk özelliklerinin kazandırılması. Yüksek lisans tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi; 2013.
- [3] Brinker C, Scherer G. Sol-gel science the physics and chemistry of sol-gel processing. New York: Academic Press; 2013.
- [4] Guglielmi M, KICKELBICK G, Martucci, A. Sol-gel nanocomposites. New York: Springer; 2014.
- [5] Topel E. Sol-jel teknolojisi ile tekstil materyallerinin boyanması ve haslık özelliklerinin geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2014.
- [6] Akçalı K. Doğal esaslı malzemeler kullanılarak sol jel kaplama metodu ile pamuklu ve polyester kumaşların fiziksel özelliklerinin araştırılması. Doktora tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2017.
- [7] Livage J, Beteille F, Roux C. Sol – gel synthesis of oxide materials. *Acta Materialia* 1998; 46(3): 743-750.
- [8] Toygun Ş, Köneçoğlu G, Kalpaklı Y. General principles of sol-gel. *Sigma* 2013; 31: 456-476.
- [9] Şahin S. Medikal alanda kullanılan tekstillerde antibakteriyel etkiler için sol-jel uygulamaları. Yüksek lisans tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2011.
- [10] Gökse E. Sol – jel yöntemiyle antibakteriyel ince film kaplanması. Yüksek lisans tezi. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi; 2016.
- [11] Mahlting B, Böttcher H. Modified silica sol coating for water-repellent textiles. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 2003; 27: 43-52.
- [12] Schindler WD, Hauser PJ. Chemical finishing of textiles. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC; 2004.
- [13] Cireli A, Onar N, Ebeoğlu MF, Kayatekin I, Kutlu B, Culha O, Çelik E. Development of flame retardancy properties of new halogen-free phosphorous doped SiO₂ thin films on fabrics. *Journal of Applied Polymer Science* 2007; 105: 3747-3756.
- [14] Li F, Xing Y, Ding X. Silica xerogel coating on the surface of natural and synthetic fabrics. *Surface and Coatings Technology* 2008; 202: 4721-4727.
- [15] Onar N. Sol-jel yöntemi kullanılarak tekstil materyallerinin elektriksel, manyetik ve mikrodalga özelliklerinin modifikasyonu ile görünmezlik özelliği kazandırılması. Doktora tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi; 2009.
- [16] Kan H, Zhang L, Xu H, Mao Z, Cao H. Optimization of conditions for nanocrystal ZnO in-situ growing on SiO₂ – coated cotton fabric. *Textile Research Journal* 2010; 80(7): 660-670.
- [17] Brancatelli G, Colleoni C, Massafra MR, Rosace G. Effect of hybrid phosphorus-doped silica thin films produced by sol-gel method on the thermal behavior of cotton fabrics. *Polymer Degradation and Stability* 2011; 96(4): 483-490.
- [18] Parvinzadeh M, Ebrahimi I. Atmospheric air-plasma treatment of polyester fiber to improve the performance of nanoemulsion silicone. *Applied Surface Science* 2011; 257: 4062-4068.
- [19] Ferrero F, Periolatto M. Application of fluorinated compounds to cotton fabrics via sol-gel. *Applied Surface Science* 2013; 275: 201-207.
- [20] Onar N, Mete G, Akşit A, Kutlu B, Çelik E. Water and oil repellency properties of cotton fabric treated with silane, Zr, Ti based nanosols. *International Journal of Textile Science* 2015; 4(4): 84-96.
- [21] Akçalı K, Oktav Bulut M. A new finishing process of cotton fabric. *Industria Textila* 2019; 2: 101-110.
- [22] Gündüz L, Sarıışık A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O. Pomza teknolojisi cilt 1. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 1998.
- [23] Karabay D. Değişik oranlarda pomza, talk ve serpantin ilavelerinin fayans masse üzerine etkileri. Yüksek lisans tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi; 2006.
- [24] Aksoy E. Isparta gelincik pomza yataklarının jeolojisi, fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi; 2010.

- [25] Amato G, Campione G, Cavaleri L, Minafo N, Miraglia N. The use of pumice lightweight concrete for masonry applications. *Materials and Structure* 2012; 45(5): 679-693.
- [26] Tuncer G, Özkan ŞG. Pomza madenciliğine genel bir bakış. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2001; 7(2): 269-276.
- [27] Durgun, MY. Pomza, kolemanit, barit ve yüksek fırın cürufu katkılı boyalarla kaplanan beton ve donatıların korozyon performansı. Yüksek lisans tezi. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi; 2011.
- [28] Davraz M. Isparta keçi borlu yöresi doğal amorf silika oluşumlarının geleneksel ve hafif beton endüstrilerinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2004.
- [29] Dereli B. Bor ve amorf silikanın betonitin mühendislik özelliklerine etkisi. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2013.
- [30] Coşan FŞ. Amorf silika, volkanik tüf ve kireç kullanılarak iyileştirilmiş yüksek plastisiteli kilin mühendislik özellikleri. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2016.
- [31] Beall HG. Industrial application of silica. *Silica Physical Behaviour, Geochemistry and Materials Applications* 1994; 29: 469-504.
- [32] Shackelford J, Doremus RH. *Ceramic and glass materials structure, properties and processing*. New York: Springer; 2008.
- [33] Çetin B. Poliinden/kolemanit kompozitin sentezi, karakterizasyonu ve elektrokimyasal özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2011.
- [34] Polat H. Kolemanitli betonların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2012.
- [35] Asgari G, Roshani B, Ghanizadeh G. The investigation of kinetic and isotherm of fluoride adsorption onto functionalized pumice stone. *Journal of Hazardous Materials* 2012; 217: 123-132.
- [36] Zhao X, Shi Y, Wang T, Cai Y, Jiang G. Preparation of silica-magnetite nanoparticle mixed hemimicelle sorbents for extraction of several typical phenolic compounds from environmental water samples. *Journal of Chromatography A* 2008; 1188: 140-147.
- [37] Yaman N, Özdoğan E, Koçum İC, Ayhan H, Öktem T, Seventekin N. Improvement surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2009; 1: 45-51.
- [38] Pasqui D, Barbucci R. Synthesis, characterization and self cleaning properties of titania nanoparticles grafted on polyester fabrics. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2014; 274: 1-6.
- [39] Tyagi B, Chudasama CD, Jasra RV. Determination of structural modification in acid activated montmorillonite clay by FT-IR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A* 2006; 64: 273-278.
- [40] Tunç S, Duman O. Effect of electrolytes on the electrokinetic properties of pumice suspensions. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2009; 30: 548-555.
- [41] Oktav Bulut M, Çimen Ö, Akbulut Y, Akçalı K, Dereli B. Application of amorphous silica, colemanite and pumice on cotton fabric by screen printing method. *Industria Textila* 2015; 66(5): 289-296.
- [42] Kitadai N, Yokoyama T, Nakashima S. ATR-IR spectroscopic study of l-lysine adsorption on amorphous silica. *Journal of Colloid and Interface Science* 2009; 329: 31-37.
- [43] Kalay Ş, Yılmaz Z, Çulha M. Synthesis of boron nitride nanotubes from unprocessed colemanite. *Bellstein Journal of Nanotechnology* 2013; 4: 843-851.
- [44] Jun L, Shuping X, Shiyang G. F-TIR and raman spectroscopic study of hydrated borates. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 1995; 51: 519-532.
- [45] Budak A, Gönen M. Extraction of boric acid from colemanite mineral by supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids* 2014; 92: 183-189.
- [46] Kızılca M, Copur M. Thermal dehydration of colemanite: kinetics and mechanism determined using the master plots method. *Canadian Metallurgical Quarterly* 2017; 56(3): 259-271.
- [47] Saravanan D. UV protection textile materials. *AUTEX Research Journal* 2007; 7(1): 53-62.
- [48] Akaydın M, İkiz Y, Kurban NS. Pamuklu örme kumaşlarda UV ışınlarının geçirgenliğinin ölçümü ve değerlendirilmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2009; 3: 212-217.

- [49] Merdan N, Acar K. Tekstilde UV absorban madde uygulamaları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2009; 8(16): 1-12.
- [50] Ateşer HO. Amorf silika seramiklerinin andaluzit katkisiyle sinterlenme ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2010.