



Araştırma Makalesi

## Journal of Innovative Engineering and Natural Science

(Yenilikçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/jiens>

# Manyetik ve fotokatalitik polimer tanecikleri ile atık suların renksizleştirilmesi ve yeniden kullanım denemeleri

Şeyma Yalçın Turan<sup>a</sup>, Ali Kara<sup>b</sup>, Gizem Bayaçalı Uygun<sup>a</sup> ve İrem Özyurt<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Karesi Polyester, Ar-Ge Merkezi, Bursa 16580, Türkiye

<sup>b</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa 16059, Türkiye

### MAKELE BİLGİSİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş 13 Ağustos 2024

Düzeltilme 20 Ekim 2024

Kabul 6 Kasım 2024

Çevrimiçi mevcut

#### Anahtar Kelimeler:

Polimer partikül

Tekstil atık suyu

Adsorpsiyon

Heterojen fotokataliz

### ÖZET

Tekstil endüstrisi, yüksek istihdam potansiyeli ve sürekli yenilik ve gelişim fırsatlarıyla birçok ülke için kritik bir sektördür. Ancak, bu sektör aynı zamanda su tüketimi açısından da en büyük tüketicilerden biridir. Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde oluşan renkli atık suyun renksizleştirilmesi için manyetik ve fotokatalitik özelliklere sahip polimer tanecikler sentezlendi ve atık su arıtma deneyleri gerçekleştirildi. Polimer tanecikler, süspansiyon polimerizasyon yöntemiyle sentezlendi ve SEM, FTIR, BET ve ESR ile karakterize edildi. Bu tanecikler, Karesi polyester şirketinden alınan atık suyun renksizleştirilmesinde adsorpsiyon ve heterojen fotokataliz yöntemleri bir arada kullanıldı. Deneyler üç döngü boyunca tekrarlandı. İşlemlerin ardından, renksizleştirilmiş sularla boyama deneyleri yapıldı. Sonuçlar, %99,68'e kadar uzanan giderim verimliliklerini gösterdi. Bu, polimer taneciklerin su arıtımı için etkili, çevre dostu ve yenilikçi bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

## Experiments on decolorization and reuse of wastewater using magnetic and photocatalytic polymer particles

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 13 August 2024

Received in revised form 20 October 2024

Accepted 6 November 2024

Available online

#### Keywords:

Polymer particle

Textile wastewater

Adsorption

Heterogeneous photocatalysis

### ABSTRACT

The textile industry is an important sector for many countries due to its high employment potential and continuous opportunities for innovation and development. However, this sector is also one of the largest consumers of water. In this study, polymer particles with magnetic and photocatalytic properties were synthesized for the decolorization of colored wastewater generated in the textile industry, and wastewater treatment experiments were conducted. The polymer particles were synthesized using the suspension polymerization method and characterized by SEM, FTIR, BET and ESR. These particles were used for the decolorization of wastewater from Karesi Polyester Company, employing both adsorption and heterogeneous photocatalysis methods simultaneously. The experiments were repeated over three cycles. Following the treatments, dyeing experiments were conducted with the decolorized waters. The results demonstrated removal efficiencies of up to 99.68%. This indicates that polymer particles can be effectively utilized as an environmentally friendly and innovative method for water treatment.

## I. GİRİŞ

Tekstil endüstrisi, hem ekonomik büyüklüğü hem de çevresel etkileri nedeniyle dikkat çeken bir sektördür. Üretim süreçlerinde kullanılan su miktarı ve bu suların gerektiği şekilde arıtılmadan doğaya salınması, ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Özellikle boyama işlemleri, tekstil üretiminde en fazla su tüketilen aşamalardan biridir [1]. Literatürde, bir kilogram tekstil ürününün boyanması için yaklaşık 100 ila 150 litre su kullanıldığı belirtilmektedir [2]. Bu aşamada kullanılan su, boyaların çözülmesini ve kumaşın homojen bir şekilde

renklenmesini sağlarken, zararlı kimyasal maddelerle yüklü atık su oluşumuna da yol açar. Yıkama, durulama ve diğer ön işlem basamakları da bu yüksek su tüketimine eklenerek, atık suyun çevreye olan zararını daha da artırır. Tekstil boyama işlemlerinden kaynaklanan atık sular, yüksek renk konsantrasyonu, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toksik bileşikler içermesi nedeniyle arıtımı zor sular olarak sınıflandırılır [3]. Bu bağlamda, çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirmek için ileri su arıtım teknolojilerinin kullanılması zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle azo boyarmaddeler, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve iki azot atomu arasındaki çift bağ içeren azo (-N=N-) grubuna ve aril gruplarına sahip organik bileşiklerdir [4]. Bu boyarmaddeler boyama işlemlerinde sıkça kullanılmakta ve kontrolsüz deşarjı çevre için büyük bir kirlilik potansiyeli yaratmaktadır. Azo boyarmaddeler sucül ekosistemlerde güneş ışığının suya nüfuz etmesini engelleyerek fotosentezi sınırlar ve su yaşamını tehdit eder [5]. Ayrıca, biyolojik arıtma yöntemlerine karşı dirençli olmaları nedeniyle, geleneksel yöntemlerle uzaklaştırılmaları zor ve maliyetli olabilmektedir. Bu durum, azo boyarmaddelerin arıtılmasını tekstil atık sularının yönetiminde kritik bir sorun haline getirmektedir. Tekstil endüstrisinde azo boyarmaddelerin çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla çeşitli fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Fiziksel yöntemler arasında çöktürme, filtrasyon ve aktif karbon adsorpsiyonu gibi teknikler yer alır [6]. Ancak, bu yöntemlerin dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin, çöktürme ve filtrasyon süreçleri, ikincil kirlilik yaratabilecek atıklar üretebilir ve bu atıkların bertarafı ek maliyetler doğurabilir. Kimyasal yöntemler ise pıhtılaşma-çöktürme, oksidasyon ve ileri oksidasyon süreçleri gibi tekniklerle boyar maddelerin kimyasal yapısını bozarak onları daha az zararlı bileşiklere dönüştürmeyi hedefler [7]. Ancak, kimyasal arıtma yöntemlerinden bazıları yüksek kimyasal tüketimine yol açabilir ve bu da ekolojik ve ekonomik açıdan bazı sorunlar yaratabilir. Dolayısıyla, sürdürülebilir ve çevre dostu arıtma yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Literatürde, heterojen fotokataliz kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir kısmı, belirli bir boyarmaddenin giderilmesine odaklanmıştır. Örneğin, Daneshvar ve ark., asidik kırmızı 14 boyasının fotokatalitik degradasyonunu incelemişler ve UV/TiO<sub>2</sub> süspansiyonu kullanarak 3,5 saat içinde boyarmaddenin tamamen giderildiğini tespit etmişlerdir [8]. Chen, hidrolize edilmiş reaktif turuncu 16'nın TiO<sub>2</sub> ile arıtımını araştırmış ve 80. dakikada boyarmadde çözüldüğünde %100 dekolizasyon elde etmiştir [9]. Muruganandham ve Swaminathan ise güneş ışığı altında reaktif turuncu 4 boyasının fotokatalitik dekolizasyonunu TiO<sub>2</sub> kullanarak gerçekleştirmişlerdir [10]. Dalal ve ark., çinko sülfür gömülü indirgenmiş grafen oksit kullanarak Kongo Kırmızısı'nın fotokatalitik degradasyonunu ele almışlardır [11]. Khan ve ekibi ise azot katkılı TiO<sub>2</sub> kullanarak reaktif siyah 5 boyasının fotokatalitik dekolizasyonundaki etkinliğini değerlendirmiştir [12].

Bu çalışmada ise literatürde yaygın olarak kullanılan boyarmadde çözümleri yerine, Karesi Polyester firmasının atık su arıtım ünitesinden alınan, membran filtrasyon ve ters ozmoz işlemlerinden geçirilmiş gerçek endüstriyel atık sular kullanılmıştır. Membran filtrasyon ve ters ozmoz işlemleri, dispers boyalar ve katı maddelerin uzaklaştırılmasında etkili olsa da azo boyarmaddeler gibi suda iyi çözünen kirlenmeler hâlâ atık sularda kalmaktadır. İşletmede bu boyarmaddelerin giderimi genellikle kimyasal çöktürme yöntemiyle sağlanmaktadır. Ancak bu süreç ikincil kirlilik yaratabilmektedir. Çalışmanın temel amacı, polimer partiküller aracılığıyla adsorpsiyon ve heterojen fotokataliz yöntemlerini birleştirerek bu atık suların etkin bir şekilde arıtılması ve kimyasal çöktürmenin yarattığı olumsuz etkilerden kaçınılmasıdır. Ayrıca, kullanılan polimerlerin manyetik özelliği sayesinde, harici bir mıknatıs yardımıyla polimer partiküller sulu çözümden kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir. Gerçek endüstriyel atık su örnekleri, laboratuvar ortamında kullanılan boyarmadde

çözeltilerine kıyasla birçok boyarmaddenin kombinasyonunu içeren çok daha karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, adsorpsiyon ve heterojen fotokataliz yöntemlerini birlikte kullanan bu polimerlerin bu karmaşık karışımlar üzerindeki etkinliğinin değerlendirilmesi önemlidir. Çalışmanın bir diğer amacı, arıtılmış suyun boyama süreçlerinde kullanılabilirliğini değerlendirmek için geri kazanılan suyla yapılan boyama testleri sonucunda boyama performansını incelemektir.

## II. DENEYSEL METOT / TEORİK METOD

### 2.1 Materyal

Polimer tanecikler, Bursa Uludağ Üniversitesi Polimer Araştırma Laboratuvarı'nda sentezlenmiştir. Divinil benzen, polivinil alkol, benzoil peroksit, 4-vinil piridin, toluen, baryum ferrit ve anataz TiO<sub>2</sub> Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Hidroklorik asit (%37) ve sodyum hidroksit ise Merck'ten temin edilmiştir. Çalışmada kullanılacak atık su, Karesi Polyester ve Petrokimya Sanayi A.Ş.'den sağlanmıştır.

### 2.2 Polimer partiküllerin sentezi

Çalışmada kullanılan manyetik ve fotokatalitik çapraz bağlı polimer partiküller, Bursa Uludağ Üniversitesi Polimer Araştırma Laboratuvarı'nda özel olarak tasarlanmış bir Pyrex cam reaktörde süspansiyon polimerizasyon yöntemiyle sentezlenmiştir. Dispersiyon fazı, polivinil alkol ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Organik faz, çapraz bağlayıcı olarak divinil benzen, gözenek yapıcı olarak toluen, monomer olarak 4-vinil piridin ve termal başlatıcı olarak benzoil peroksit kullanılarak oluşturulmuştur. Manyetik özellik sağlamak amacıyla baryum ferrit ve fotokatalizör olarak TiO<sub>2</sub> eklenmiştir. Reaksiyon, 65 °C sıcaklıkta ve 800 rpm karıştırma hızında 7 saat boyunca devam etmiştir. Reaksiyonun ardından, dispersiyon fazı dekant edilerek tanecikler ayrılmış ve vakumlu bir fırında 70 °C sıcaklıkta 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Kurutulmuş polimer tanecikleri, parçacık boyutlarına göre ayırmak amacıyla bir elek kullanılarak eleme işlemine tabi tutulmuştur.

### 2.3 Karakterizasyon

Kullanılan polimer taneciklerin yüzey görüntüleri, Carl Zeiss Evo 40 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak elde edilmiştir. Polimer partiküllerinin yapısındaki bağlar, Bruker Alpha marka Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) cihazıyla 400-4000 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında incelenmiştir. Polimerik yapının yüzey özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Quantachrome Corporation Autosorb-6 marka cihaz kullanılarak BET (Brunauer-Emmett-Teller) analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, manyetik alana duyarlılığını kanıtlamak için Bruker ELEXSYS E580 marka Elektron Spin Rezonansı (ESR) spektroskopisi kullanılmıştır.

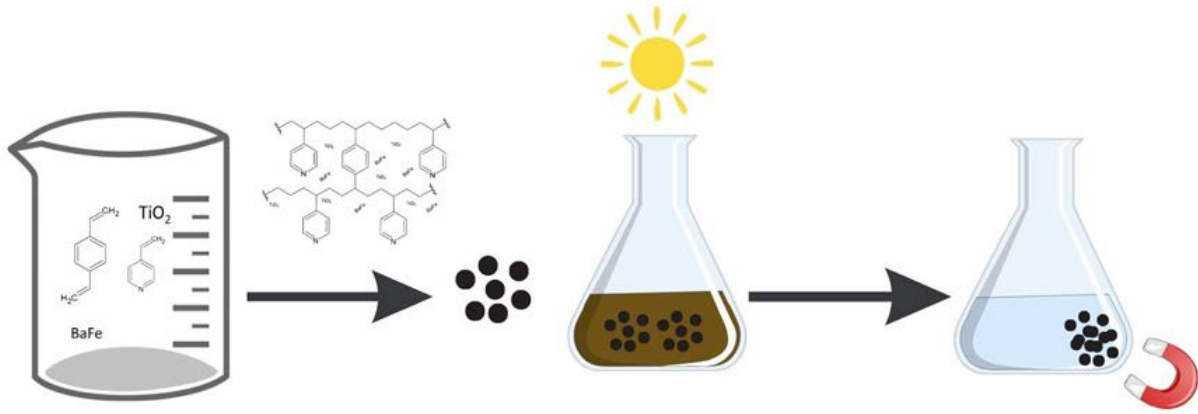
### 2.4 Atık su renksizleştirme çalışmaları

Bu çalışmada, Karesi Polyester ve Petrokimya Şirketi'nin atık su arıtım bölümünden alınan numuneler kullanılmıştır. İşletmede gerçekleşen prosesler sonucunda oluşan atık sular, atık su arıtma birimine yönlendirilir ve burada ters ozmoz ile membran filtrasyon gibi çeşitli arıtma prosesleri uygulanır. Bu prosesler sonucunda,

tekstil atık sularında bulunan dispers boyarmaddeler, katı maddeler gibi birçok kirletici uzaklaştırılır. Ancak azo boyarmaddeler, suda yüksek çözünürlük sağladıkları için bu işlemler sonrasında su içerisinde kalabilir.

Çalışma kapsamında, arıtma süreçlerinin ardından içerisinde azo boyarmaddelerin bulunduğu ve kimyasal çöktürme işlemine girmeden önceki atık su üzerinde deneyler yapılmıştır. Kimyasal çöktürme gibi ek kirlilik oluşturabilecek proseslere alternatif bir yaklaşım benimsenmiştir. Alınan atık sular, polimer partikülleri ile arıtılmıştır. Arıtım işlemi, her 1 litre atık suya 1 gram polimer eklenerek ve 24 saat karanlık ortamda ve 4 saat boyunca güneş ışığı altında bekletilerek gerçekleştirilmiştir.

Polimerin tekrar kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla bazı deneyler yapılmıştır. Polimerler, arıtım işleminden sonra sudan ayrıştırılmış ve herhangi bir rejenerasyon işlemine tabi tutulmaksızın, atık suların arıtımı için tekrar kullanılmıştır. Bu işlem, üç döngü boyunca tekrarlanmıştır. Her bir denemeden sonra atık su numunesi alınmış ve KOİ testleri gerçekleştirilmiştir. KOİ testleri Karesi Polyester firmasında bulunan atık su arıtım laboratuvarında Hach marka hazır KOİ test kitleri kullanılarak yapılmıştır. Arıtılmış atık suların tekrar kumaş boyama prosesinde kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla, bu sular ile işletmede endüstriyel amaçlarla üretilen rastgele renklerle kumaş boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir.



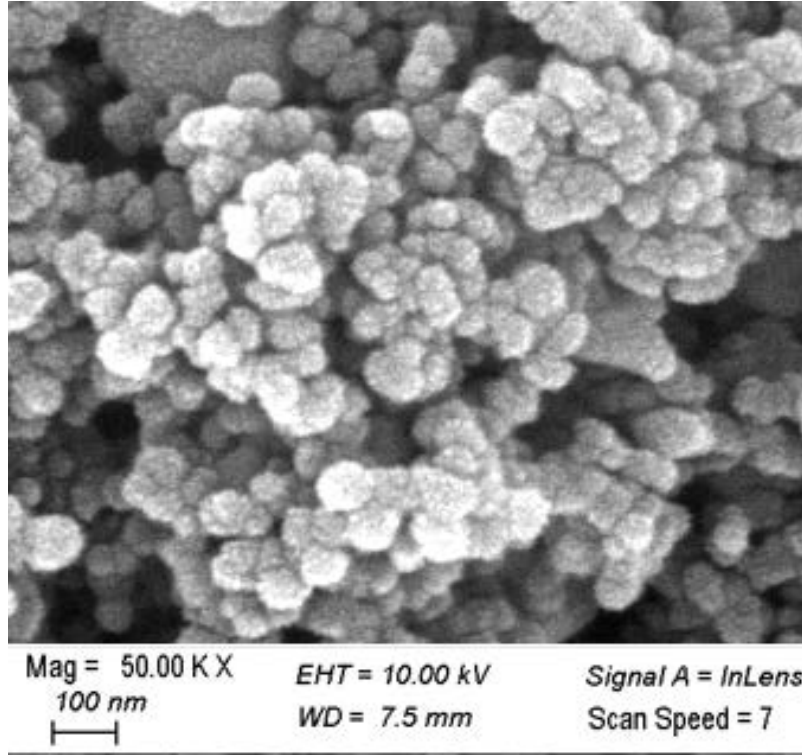
Şekil 1. Atık suyun renksizleştirilmesi şematik gösterimi

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Karakterizasyon

##### 3.1.1 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

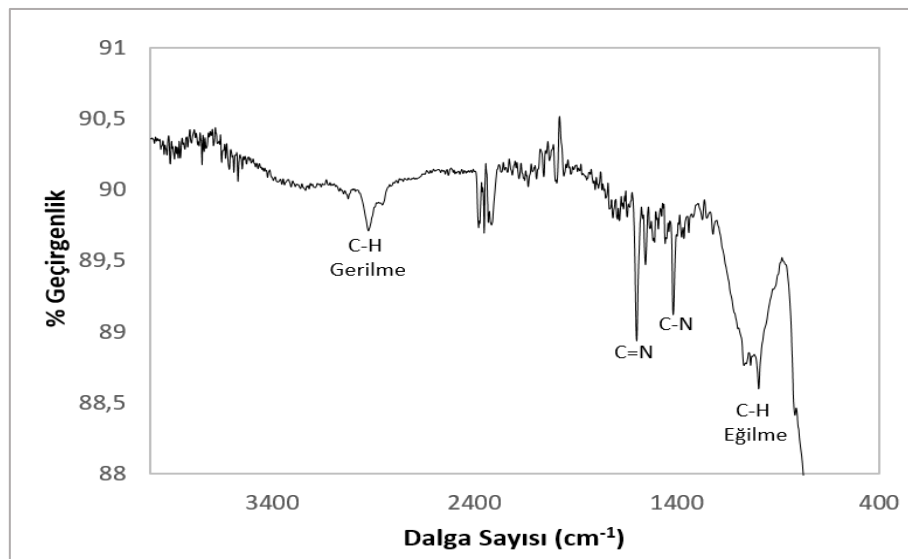
Polimerlerin SEM ile elde edilen görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Polimerler, iç içe geçmiş küresel forma yakın tanecikler olarak görünmektedir.



Şekil 2. Polimer partiküllerin SEM görüntüsü

### 3.1.2 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Polimer partiküllerinin FTIR spektrumu Şekil 3'te sunulmuştur. Spektrumda,  $1595\text{ cm}^{-1}$  ve  $1412\text{ cm}^{-1}$  dalga sayılarında gözlemlenen pikler, sırasıyla piridin halkasında bulunan C=N ve C-N bağlarının varlığını işaret etmektedir [13]. Yaklaşık  $3000\text{ cm}^{-1}$  bölgesindeki pikler, moleküler yapı içindeki C-H bağlarının gerilme titreşimlerini yansıtırken,  $1000\text{-}900\text{ cm}^{-1}$  aralığındaki pikler ise C-H eğilme titreşimlerine karşılık gelmektedir.



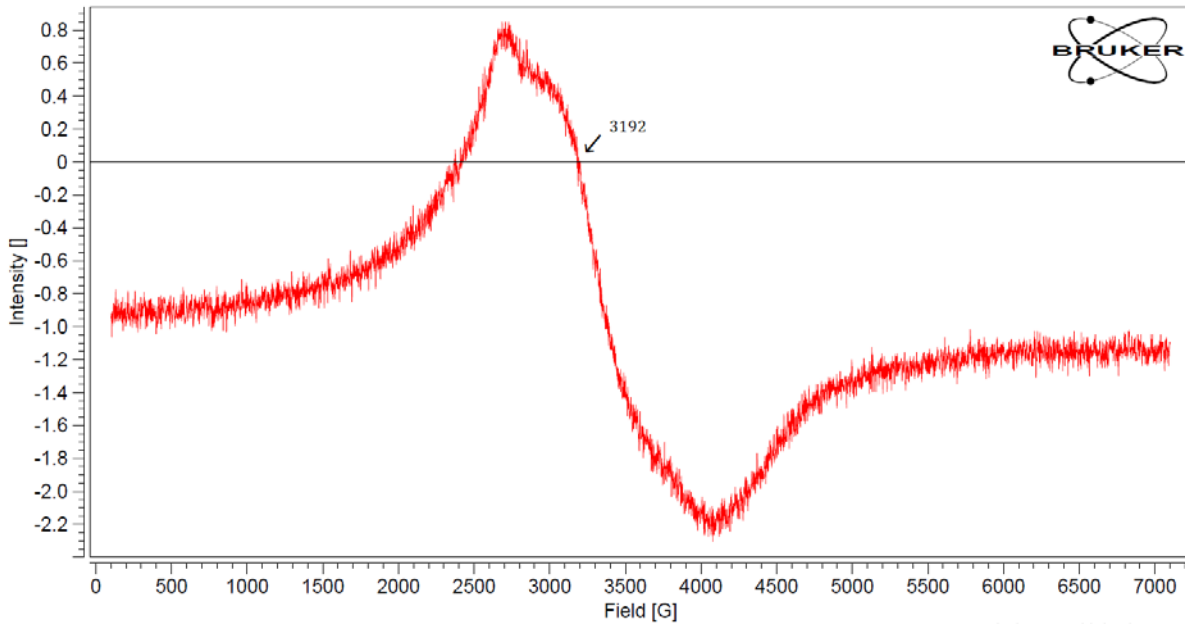
Şekil 3. Polimer partiküllerin FTIR spektrumu

### 3.1.3 Brunauer-Emmet Teller (BET) Analizi

Polimer partiküller, boyarmaddeleri heterojen fotokataliz prosesi öncesinde adsorbe ederler. Bu nedenle, polimerlerin yüzey gözenekliliklerini karakterize etmek amacıyla BET analizi gerçekleştirilmiştir. BET analizinin sonucuna göre, DH (Dollimore-Heal) metoduna göre malzemenin spesifik yüzey alanı  $47,9 \text{ m}^2/\text{g}$ , toplam gözenek hacmi  $0,1972 \text{ cm}^3/\text{g}$  ve gözenek çapı  $2,807 \text{ nm}$  olarak belirlenmiştir. Gözenek çapının  $2,807 \text{ nm}$  olması, malzemenin mezogözenekli malzeme olarak sınıflandırılmasına olanak tanır [14].

### 3.1.4 Elektron Spin Rezonans (ESR) Spektroskopisi

Polimer yapının manyetik alana duyarlılığını incelemek amacıyla Elektron Spin Rezonans (ESR) spektroskopisi kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. ESR spektroskopisi, malzemelerin manyetik özelliklerini anlamak için başvurulan bir tekniktir. Bu çalışma kapsamında, polimerin manyetik özelliklerini belirlemek için g faktörü hesaplanmıştır. Manyetik özellik gösteren malzemeler, manyetik bir alan uygulandığında mıknatıslanma eğiliminde olur ve g faktörü, malzemedeki spin hareketlerinin bu mıknatıslanma üzerindeki etkisini tanımlayan bir parametredir. Polimer için hesaplanan  $2,107$  g faktörü, literatürde baryum ferrit için belirtilen  $2,23$  g faktörüne oldukça yakındır. Bu durum, polimer yapısında baryum ferritin varlığını doğrulamakta ve polimerin manyetik alana olan hassasiyetini bu bileşenin etkisiyle açıklamaktadır. [15].



Şekil 4. Polimer partiküllerin ESR spektrumu

### 3.2 Atık su renksizleştirme çalışmaları

Aritma işlemleri, her bir litre atık suya 1 gram polimer uygulanarak gerçekleştirildi. Hem atık su hem de polimer tanecikleri, başlangıçta adsorpsiyon işlemi için ışıksız bir ortamda 24 saat bekletildi. Daha sonra, karanlıktan

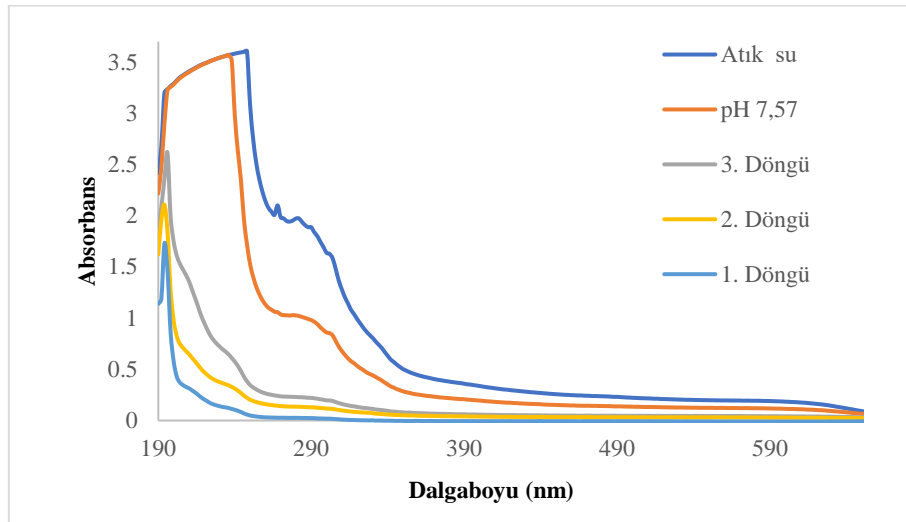
çıkarılarak güneş altında 4 saat boyunca bir renksizleştirme işlemine tabi tutuldular. Arıtma, atık suyun doğrudan kullanımıyla birlikte ve atık suyun pH'ı 3'e ayarlanarak yapıldı.

Arıtma işleminde elde edilen su başlangıçta doğrudan kullanılmış, ancak istenilen verim elde edilememiştir. Bunun üzerine literatürdeki çalışmalar incelenerek, daha etkili bir arıtım sağlamak amacıyla suyun pH seviyesinin 3'e düşürülmesine karar verilmiştir. Bu kararın temel nedeni, monomer yapısında yer alan piridin halkasındaki azot atomunun düşük pH seviyelerinde protonlanmasıdır. Protonlanma, sulu çözeltilerde genellikle anyonik formda bulunan azo boyarmaddeleriyle güçlü elektrostatik etkileşimlere olanak sağlayarak, daha yüksek verimli bir arıtım sürecini mümkün kılmaktadır [16-17]. Arıtma işlemi iki aşamalı bir mekanizma üzerinden gerçekleşmektedir: İlk olarak, polimer partikülleri adsorban olarak görev yapar ve fiziksel adsorpsiyon süreci devreye girer. Bu aşamada boyar maddeler, zayıf van der Waals kuvvetleri aracılığıyla yüzeye fiziksel olarak bağlanır. Kimyasal bağlar oluşmadan, moleküller yüzeyde tutulur. Sonrasında, yüzeye tutunan maddeler TiO<sub>2</sub> kullanılarak fotokatalitik süreç ile parçalanır. TiO<sub>2</sub> ışıkla uyarıldığında elektron-delik çiftleri oluşturur ve bu süreç, sudaki azo boyarmaddelerin reaktif oksijen türleri yardımıyla parçalanmasına yol açar.

pH 3'te yapılan deneyler verimli sonuçlar verdiği için, polimer taneciklerinin tesis suyundaki yeniden kullanılabilirliğini değerlendirmek için denemelere 3 döngü boyunca devam edildi. Polimer tanecikleri ile işlenmiş atık suyun spektrum verileri Şekil 5'te gösterilirken, KOİ ve giderim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Renksizleştirilmiş suların % giderim ve KOİ değerleri

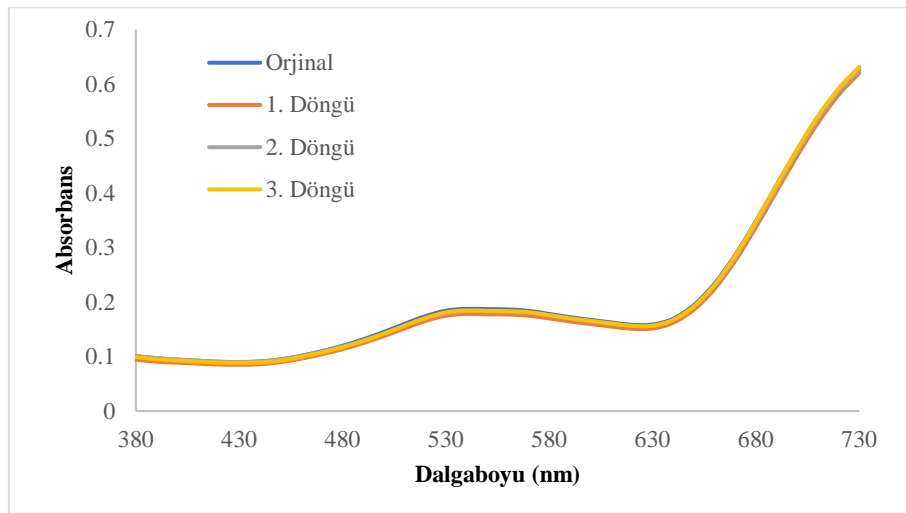
Atık su	KOİ	% Giderim
pH 7,57	396	47,99
pH 3 (1. Döngü)	93	99,68
pH 3 (2. Döngü)	107	93,15
pH 3 (3. Döngü)	321	88,34



**Şekil 5.** Renksizleştirilmiş suyun dalga boyu spektrumu

KOİ ve % Boya Giderimi değerlerinin incelenmesi sonucunda, pH ayarlanmadan polimerlerin atık su arıtımında etkin bir şekilde kullanılamayacağı belirlendi. Ancak, pH değeri 3'e ayarlanmış atık su için, etkili bir renksizleştirme 2 döngü boyunca başarılabildi.

Polimer partiküllerin yeniden kullanılabilirliğini değerlendirmek için yapılan deneylerde elde edilen suların, kumaş boyama işlemlerinde kullanılabilirliği test edildi. Kumaşların boyanmasında, Karesi Polyester ve Petrokimya Sanayi A.Ş. tarafından endüstriyel amaçlarla üretilen renklerden rastgele seçilen reçeteler kullanıldı. Boyama işlemi için endüstriyel su kullanılarak elde edilen sonuçlar referans alındı. Üç farklı döngüde elde edilen su ile boyanan her bir kumaş, endüstriyel su ile boyanan referans kumaşla karşılaştırıldı. Elde edilen veriler Tablo 2'de, spektrum değerleri ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Tablo 2 ve 3'de verilen  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$  ve  $\Delta E^*$  değerleri sırasıyla, numune ile standart renkler arasındaki açıklık farkını, kırmızı-yeşillik farkını, mavi-sarılık farkını, doygunluk farkını, renk tonu farkını ve toplam renk farkını ifade eder [18]. Toplam renk farkını ifade eden  $\Delta E^*$  değerinin 1 den küçük olması referans alınan kumaşla boyanmış kumaşın renk farkının kabul edilir sınırdan olduğunu ifade eder [19]. Sonuçlar, üç döngü boyunca elde edilen suyla boyanmış kumaşların  $\Delta E^*$  değerinin 1'den küçük olduğunu ve bu suyun endüstriyel koşullarda kullanılabilir nitelikte kumaş çıktılarını sağladığını göstermektedir.



Şekil 6. Renksizleştirilmiş su ile boyanmış kumaşların renk spektrumları

Tablo 2. Renksizleştirilmiş su ile boyanmış kumaşların renk değerleri

	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	P/F $\Delta E^*$
1. Döngü	-1,07	0,21	-0,13	-0,18	-0,17	0,54	Geçer
2. Döngü	-0,42	0,34	-0,54	-0,6	-0,19	0,47	Geçer
3. Döngü	-0,34	0,21	0,1	0,05	-0,23	0,27	Geçer

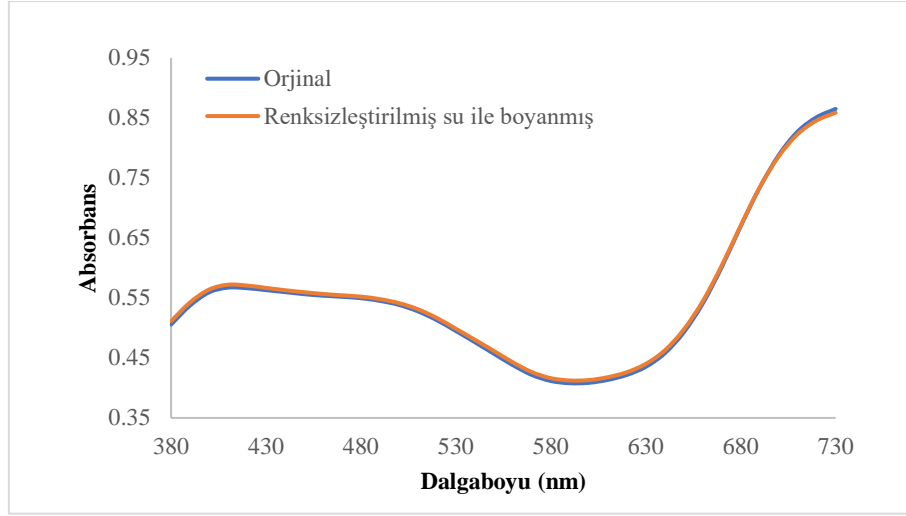
Tablo 3. Renksizleştirilmiş su ile boyanmış kumaşların renk değerleri

	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	P/F $\Delta E^*$
Renksizleştirilmiş su	0,27	0,06	0,14	-0,15	0,02	0,16	Geçer

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, doğrudan alıcılara yapılan deşarjlarda KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) değerinin 300 mg/L ve pH değerinin ise 6-9 arasında olmasını zorunlu kılmaktadır [20]. Bu düzenleme, KOİ değerlerinin belirtilen sınırlar dahilinde olmasına rağmen pH değerlerinin bu aralık dışında kalmıştır. Bu bağlamda, polyester boyama işlemleri sırasında suyun pH değerinin yaklaşık 4 civarında olması gerektiği ve direkt olarak bu suyun pH ayarlamasına gerek kalmadan kullanılabileceği önerilmiştir. Bu varsayımı test etmek amacıyla, işletmede rastgele seçilen bir polyester



boyama işlemi bu su kullanılarak ve ekstra asit ile pH ayarı yapılmadan denenmiştir. Deneme sonucunda elde edilen renk, işletmenin orijinal boyası ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler, Tablo 3 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Renksizleştirilmiş su ile boyanmış kumaşların renk spektrumları

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, asit kullanımıyla pH ayarlaması yapmaya gerek kalmadan, renksizleştirilmiş suyun polyester boyama işleminde doğrudan kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışma, tekstil endüstrisinde üretilen renkli atık suların arıtımında yenilikçi ve çevre dostu bir yöntem olarak, manyetik ve fotokatalitik özelliklere sahip polimer partiküllerinin kullanım potansiyelini başarıyla göstermiştir. Süspansiyon polimerizasyon yöntemi ile sentezlenen bu partiküller, atık sular üzerinde adsorpsiyon ve heterojen fotokataliz yoluyla test edilmiştir. pH 3'e ayarlanmış atık suyun kullanımıyla gerçekleştirilen arıtma işlemleri, polimer partiküllerin renk gideriminde %99,68'e varan etkinlik gösterdiğini ve bu işlem sırasında KOİ değerlerinin de büyük oranda düşürüldüğünü ortaya koymuştur. Üç döngü boyunca polimer üzerinde herhangi bir rejenerasyon yapmadan sürdürülen arıtma ve boyama deneyleri, polimer partiküllerin 2 döngü boyunca yeniden kullanılabilirliğini ve arıtılmış suların endüstriyel polyester boyama işlemlerinde başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar, tekstil endüstrisinde sürdürülebilir su yönetimi pratiklerine önemli katkılar sağlayabilecek yenilikçi bir arıtma yönteminin potansiyelini vurgulamaktadır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Karesi Polyester ve Petrokimya Sanayi A.Ş. ile Bursa Uludağ Üniversitesi arasındaki üniversite-sanayi işbirliği kapsamında gerçekleştirilmiştir. Karesi Polyester ve Petrokimya Sanayi AŞ'ye, bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunan değerli desteği için teşekkür etmek isteriz.

#### KAYNAKLAR

1. Kant R (2012) Textile dyeing industry: An environmental hazard. *Natural Science*,4(1):22-26.
2. Odabaşoğlu HY, Avinç OO, Yavaş A (2013) Susuz boyama. *Tekstil ve Mühendis* 20(90):63-79.
3. Liang J, Ning XA, Sun J, Song J, Lu J, Cai H, Hong Y (2018) Toxicity evaluation of textile dyeing effluent and its possible relationship with chemical oxygen demand. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 166: 56-62.
4. Ganjoo R, Verma C, Kumar A, Quraishi MA (2023) Colloidal and interface aqueous chemistry of dyes: Past, present and future scenarios in corrosion mitigation. *Advances in Colloid and Interface Science* 311, 102832.
5. Berradi M, Hsissou R, Khudhair M, Assouag M, Cherkaoui O, El Bachiri A, El Harfi A (2019) Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. *Heliyon*, 5(11).
6. Katheresan V, Kansedo J, Lau SY (2018) Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of environmental chemical engineering* 6(4):4676-4697.
7. Ahmad A, Mohd-Setapar SH, Chuong CS, Khatoon A, Wani WA, Kumar R, Rafatullah M (2015) Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater. *RSC advances* 5(39):30801-30818.
8. Daneshvar N, Salari D, Khataee AR (2003) Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 157(1):111-116.
9. Chen CY (2009) Photocatalytic degradation of azo dye reactive orange 16 by TiO<sub>2</sub>. *Water, Air, and Soil Pollution* 202(1):335-342.
10. Muruganandham M, Swaminathan M (2004). Solar photocatalytic degradation of a reactive azo dye in TiO<sub>2</sub>-suspension. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 81(4):439-457.
11. Dalal C, Garg AK, Jain N, Naziruddin AR, Prajapati RK, Choudhary SK, Sonkar SK (2023) Sunlight-assisted photocatalytic degradation of azo-dye using zinc-sulfide embedded reduced graphene oxide. *Solar Energy* 251:315-324.
12. Khan MS, Riaz N, Rehman S, Chenhui L, Shaikh AJ, Arfan M, Zeb I, Arshad M, Hafeez F, Bilal M (2023) Improved photocatalytic decolorization of reactive black 5 dye through synthesis of graphene quantum dots–nitrogen-doped TiO<sub>2</sub>. *Environmental Science and Pollution Research* 30(60):124992-125005.
13. Arslan M, Günay K (2019) Application of 4-VP-g-PET fibers and its N-oxide derivative as an adsorbent for removal of cationic dye. *Polymer Bulletin* 76:953-965.
14. Kara A, Demirbel E, Tekin N, Osman B, Beşirli N (2015) Magnetic vinylphenyl boronic acid microparticles for Cr (VI) adsorption: kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Journal of Hazardous Materials* 286:612-623.
15. Peksöz A, Akay SK (2016) Electron Spin Resonance Response Of Bafel2o19 Nanoparticle Embedded Polydivinylbenzene Magnetic Film. *Anadolu University of Sciences & Technology A: Applied Sciences & Engineering* 17(4).
16. Arslan, M, Yiğitoğlu M (2008) Adsorption behavior of Congo red from an aqueous solution on 4-vinyl pyridine grafted poly (ethylene terephthalate) fibers. *Journal of applied polymer science* 107(5):2846-2853.
17. Yalçın Turan Ş, Kara A, Tekin N (2024) Removal of acid violet 7 from aqueous solution with polymer matrix composite particles by adsorption and photocatalytic decolorization methods: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 1-26.
18. Samanta P (2022) Basic principles of colour measurement and colour matching of textiles and apparels. In *Colorimetry* (pp. Ch-5). Rijeka, Croatia: IntechOpen.
19. Eren S, Bayaçlı G, Özyurt İ, Deren D, Öztürk M, Özenç AA, Eren HA (2023) Tekstil Terbiye İşletmesi Dispers Boyanmış Polyester Üretim Örneklerinin Ozonla Temizlenmesinin İncelenmesi. *Uluslararası Bilim Teknoloji ve Tasarım Dergisi* 4(1):46-55
20. Mevzuat Bilgi Sistemi. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>. Erişim 23 Ekim 2024