

## Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Sulardan Boyarmadde Gideriminde Molekül Büyüklüğü ve pH etkisi

<sup>1</sup>Leyla GAZİGİL, <sup>2\*</sup>Orhan Taner CAN

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa

### Öz

Elektrokoagülasyon koloitlerin atıksulardan giderilmesinde kullanılan önemli arıtma yöntemlerinden biridir. Boyarmaddeler atıksulardaki önemli koloit kaynaklarının başında gelirler. Tekstil endüstrisinde oldukça fazla kullanılan boyarmaddeler, endüstrinin kullandığı su miktarının fazlalığı da göz önüne alındığında alıcı su ortamları için önemli kolloidal kirleticiler haline gelirler. Bu çalışmada farklı molekül ağırlığındaki iki ayrı tekstil boyar maddesi kullanılarak kirletici koloitlerin molekül ağırlığının elektrokoagülasyonda giderme verimine ne şekilde etki ettiği incelendi. Bu amaçla alüminyum elektrotların kullanıldığı reaktöründe renk giderme çalışmaları yapıldı. Çalışma farklı pH değerlerinde yapılarak farklı flok yapılarının (büyüklüklerinin) etkileri de incelendi. pH artışından daha büyük molekül ağırlığına sahip olan boyarmadde daha çok etkilendiği tespit edildi. Boyarmadde gidermede daha büyük molekül ağırlığına sahip olan Reactive Black 39 (1021.16 g/mol) pH değişiminden % 100 'den 74.83 'e düşüşle, yaklaşık % 25 oranında etkilenirken, daha küçük molekül ağırlığına sahip olan Remazol Red 3B (674.10 g/mol) % 96.54 'den 83.01 'e düşüşle yaklaşık % 13 oranında etkilenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrokoagülasyon, Boyarmadde, Molekül Büyüklüğü, Renk Giderimi.

## Molecular Weight and pH Effect on Removal of Dyestuffs from Water by Electrocoagulation Method

### Abstract

Electrocoagulation is one of the important treatment methods used to remove colloids from wastewater. Dyestuffs are the leading source of colloids in wastewaters. Dyestuffs, which are used extensively in the textile industry, become important colloidal pollutants for the receiving water environments, given the increased amount of water used by the industry. In this study, the effect of molecular weight of pollutant colloids on the removal efficiency of electrocoagulation was investigated by using two different textile dye materials with different molecular weights. For this purpose, color removal studies were carried out in the reactor where aluminium electrodes were used. The study was carried out at different pH values and the effects of different flock structures (size) were also studied. It was found that the pH a was more affected than the dye having a larger molecular weight. The Reactive Black 39 (1021.16 g / mol), which has a higher molecular weight in the dyestuffs, has Remazol Red 3B (674.10 g / mol), which has a smaller molecular weight, while being affected by a change of pH from 75% to 74.83% It is affected by 13%, down from 96.54 to 83.01.

**Keywords:** Electrocoagulation, Dyestuffs, Molecular Weight, Color Removal

### 1. Giriş

Kirleticilerin su ve atıksulardan giderimi için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bu kirleticilerin önemli bir kısmını kolloidaller oluşturmaktadır. Kolloidallerin giderilmesi temelde bir fiziksel veya fiziko-kimyasal ayırma gerektirir. Kirleticinin (Kolloidalin) türü, boyutu, suya tutunma şekli gibi özellikleri seçilecek arıtma (ayırma) yönteminin belirlenmesinde en önemli faktördür.

Tekstil endüstrisinin yüksek su tüketimi dolayısıyla atıksu üretimi fazladır. Bu atıksulardaki kirleticilerin önemli bir kısmını boyamada kullanılan boyar maddeler oluşturmaktadır. [1-2] Boyar madde atıksuya renk vermektedir. Renkli tekstil atıksuları alıcı su ortamlarında birikerek suyun hem estetik görünümü bozar hem de ışık geçirgenliğini azaltır. Işık geçirgenliğinin azalması ve çözünmüş oksijen miktarının düşmesi canlıların yok olmasına sebep olur. Ayrıca boyamada kullanılan boyarmaddelerin bazıları toksik bileşenler içerirler [3].

Sorumlu Yazar: Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, E mail: orhan.can@btu.edu.tr, Tel: 0090 (224) 300 34 66

DOI: 10.21541/apjes.335384

Boyarmaddelerin atıksulardan gideriminde pek çok yöntem kullanılmıştır.

Atıksulardan boyarmadde (renk) gideriminde en çok kullanılan 4 yöntem şu şekilde sıralanmaktadır.

*Fiziksel veya fiziko-kimyasal yöntemler;* yani çöktürme, koagülasyon veya flokülasyon, iyon değiştirme, adsorpsiyon ve membran prosesler. Bunlar fiziksel olarak renk giderme yöntemleridir ve oluşan çamurun (konsantrinin) katı atıkların atılmasını gerektirir.

Kimyasal yöntemler; yani ozonlama, kimyasal oksidasyon / indirgeme, vb. Bu teknolojiler, atıktan rengi daha basit alt bileşenlere ayırarak rengi giderir ve renkten sorumlu kromo gözenekleri yok eder.

Biyolojik yöntemler; örneğin aerobik ve anaerobik arıtma, burada renksizleştirme işlemi, aktif çamurdaki boyaların adsorbe edilmesiyle veya boya moleküllerinin biyolojik olarak parçalanmasıyla gerçekleşir. Ancak biyolojik yöntemler çok fazla zaman alır ve bazen boyarmaddeleri tam olarak parçalayamazlar. [4] Üstelik bazı boyarmaddeler bazı organizmalar için toksik etki gösterirler. [5] Elektrokimyasal yöntemler; yani elektrooksidasyon, elektrofotasyon, elektrodializ / iyon oksidasyonu. Boya ve diğer kirleticilerinin oksidasyonunu çamurun fizik-kimyasal çöktürmesi ile elektrolitik işlemle gerçekleştirilir. [6]

Elektrokimyasal yöntemlerden biri olan elektrokoagülasyon boyarmadde gideriminde önemli avantajlara sahip etkili bir yöntemdir. [7]. Bu yöntem ile renk gideriminde yüksek verimler elde edilmiştir. [8][9][10] Bu yöntemin en büyük dezavantajını üretilen çamur ve bu çamurun bertaraf edilmesi oluşturmaktadır. [11]

Elektrokoagülasyon yöntemi ile Acid Black 52 ve Acid Yellow 220 boyarmaddeleri kullanılarak gerçekleştirilen renk giderimi çalışmasında, akım yoğunluğunun 40 A / m<sup>2</sup>'ye kadar yükselmesinin boya giderme verimliliğini arttırdığı ve elektrokoagülasyon işlemi için optimum pH'ın 5 olduğu bulunmuştur. [12]

Ardhan ve ark. yaptığı çalışmada; reactive blue 21 boyası elektrokoagülasyon yöntemi ile giderilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarından 30 A / m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, 7 dakikalık deney süresi sonunda % 95 oranında renk giderimi elde edilmiştir. [13]

Nandi ve ark. demir elektroların kullanıldığı kesikli ve tam karıştırmalı elektrokoagülasyon reaktöründe Brilliant Green boyasını gidermeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda 100 mg/L boya konsantrasyonuna ve 4.0 pH giriş değerine sahip çözeltilen, 41.7 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğu ve 30 dakikalık deney süresi sonunda %99.59 oranında renk giderimi elde edilmiştir. [14]

Mbacke ve ark. alüminyum elektroların kullanıldığı kesikli ve tam karıştırmalı elektrokoagülasyon reaktöründe Crystal Violet boyasını gidermeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda 15 dakikalık deney süresinde %70 ve 60 dakikanın sonunda %100 oranında renk giderimi elde edilmiştir. [15]

Zodi ve ark. alüminyum elektroların kullanıldığı sürekli akış elektrokoagülasyon-flotasyon reaktöründe Direct Red 81 boyasını gidermeye çalışmışlardır. 10 l/h akış hızı için 100 A / m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda % 71.5 200 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda % 90.2, 28 l/h akış hızı için 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda % 61.5, 200 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda % 78.8, 16 l/h akış hızı için 100 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda % 62.8 200 A/m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda % 85.4 boya giderme verimi elde edilmiştir. [16]. Amani-Ghadim ve ark. Alüminyum ve demir elektrolar kullanarak C.I. Reactive Red 43 azo boyasını gidermeye çalışmışlardır. Optimum deney şartlarında her iki elektrot içinde %99 un üzerinde giderme verimleri elde edilmiştir. [17]

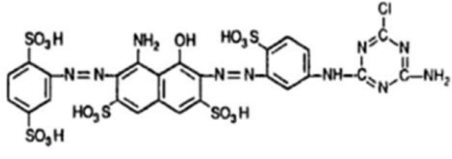
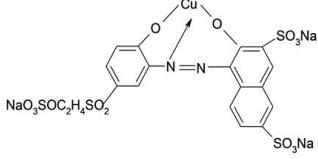
Bu çalışmada farklı molekül ağırlığındaki iki ayrı tekstil boyar maddesi kullanılarak kirletici kolloidlerin molekül ağırlığının elektrokoagülasyonda giderme verimine ne şekilde etki ettiği incelendi. Bu amaçla alüminyum elektrotların kullanıldığı reaktöründe renk giderme çalışmaları yapıldı. Çalışma farklı pH değerlerinde yapılarak farklı flok yapılarının (büyüklüklerinin) etkileri de incelendi.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada DyStar Türkiye firmasından temin edilen kumaş boyamada sıkça kullanılan Reactive Black 39 ve Remazol Red 3B boyarmaddeleri kullanıldı. Tablo 1'de boyarmaddelerin yapısal formülü, fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan diğer tüm kimyasallar Merck marka analitik saflıkta kimyasallardır

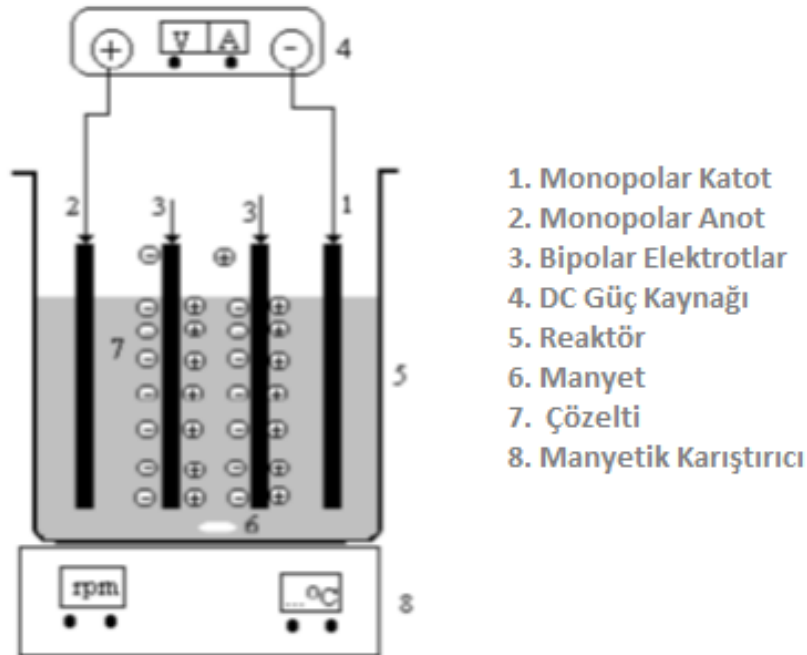
Tablo 1. Boyarmaddelerin yapısal formülü, fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Reactive Black 39	Remazol Red 3B
		
Eşanlanımları	Apolocion Navy Blue P-N3G Cibacron Black ZP-2PD	Reactive Red 23 Assofix Red 3B
Colour Index No	20507	16202
CAS numarası	68259-02-9	85585-89-3
Moleküler ağırlığı (g/mol)	1021.16	674.10
$\lambda_{max}$ nm	567	521
Fiziksel hali	Kristal toz (siyah)	Kristal toz (kırmızı)

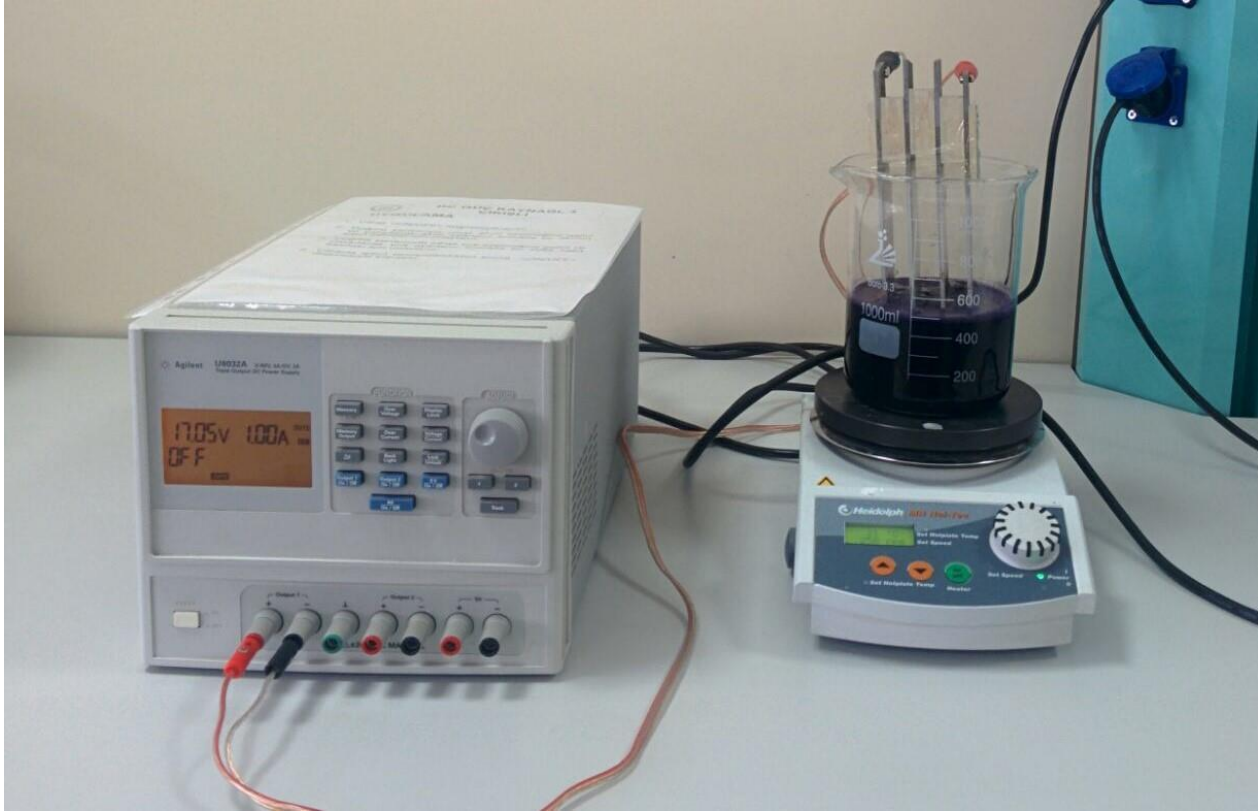
## 2.2. DeneY Düzenegİ

Şekil 1 'de deneyde kullanılan reaktör ve elektrot yerleşimi (paralel bağı bipolar reaktör) görülmektedir. DeneY sisteminde reaktör olarak 1000 ml hacme sahip payrex beher kullanıldı. Her deneY için reaktöre 500 ml boya çözeltisi yerleştirildi. Çözeltide elektrotlar arası iletkenliği sağlaması amacıyla elektrolit olarak 500 mg (1000 mg/L) NaCl eklendi. Reaktörde elektrot bağlantı şekli paralel bağı bipolar olarak düzenlendi. Reaktörde 60\*200 mm boyutlarında 1 monopolar anot, 1 monopolar katot ve 2 bipolar elektrot olmak üzere 15 mm aralıklarla yerleştirilmiş toplam 4 adet alüminyum elektrot kullanıldı. Alüminyum elektrotların saflığı %99,8 dir. Dıştaki anot ve katot elektrotların 67 mm lik kısmı çözeltiye batık iken

ortadaki 2 bipolar elektrodun 50 mm lik kısmı çözeltiye batık durumda çalıştırıldı. Bu durumda en dışta çalıştırılan elektrotların aktif yüzey alanı 60\*67 mm olup toplam 40 cm<sup>2</sup> iken ortadaki her bir elektrodun tek taraflı aktif yüzey alanı 60\*50 mm olup 30 cm<sup>2</sup>dir. Toplam 3 aktif anot ve 3 aktif katot yüzey olup toplam aktif anot yüzey alanı 100 cm<sup>2</sup> dir. Şekil 2 'de deneY düzenegİ görülmektedir. Sistemde güç kaynağı olarak Agilent marka programlanabilir (Agilent U8032A 0-60V / 0-3A Agilent U8002A 0-30V / 0-5A) dijital (D.C.) doğru akım güç kaynakları kullanıldı. Reaktörde üretilen flokların boya molekülleri ile homojen çarpışmalarını sağlamak için karıştırıcı olarak Heidolph marka MR Hei-Tec seri dijital manyetik karıştırıcılar kullanıldı.



Şekil 1. Paralel Bağı Bipolar Reaktör



Şekil 2. Deney Düzenegi

### 2.3. Deneysel İşlem

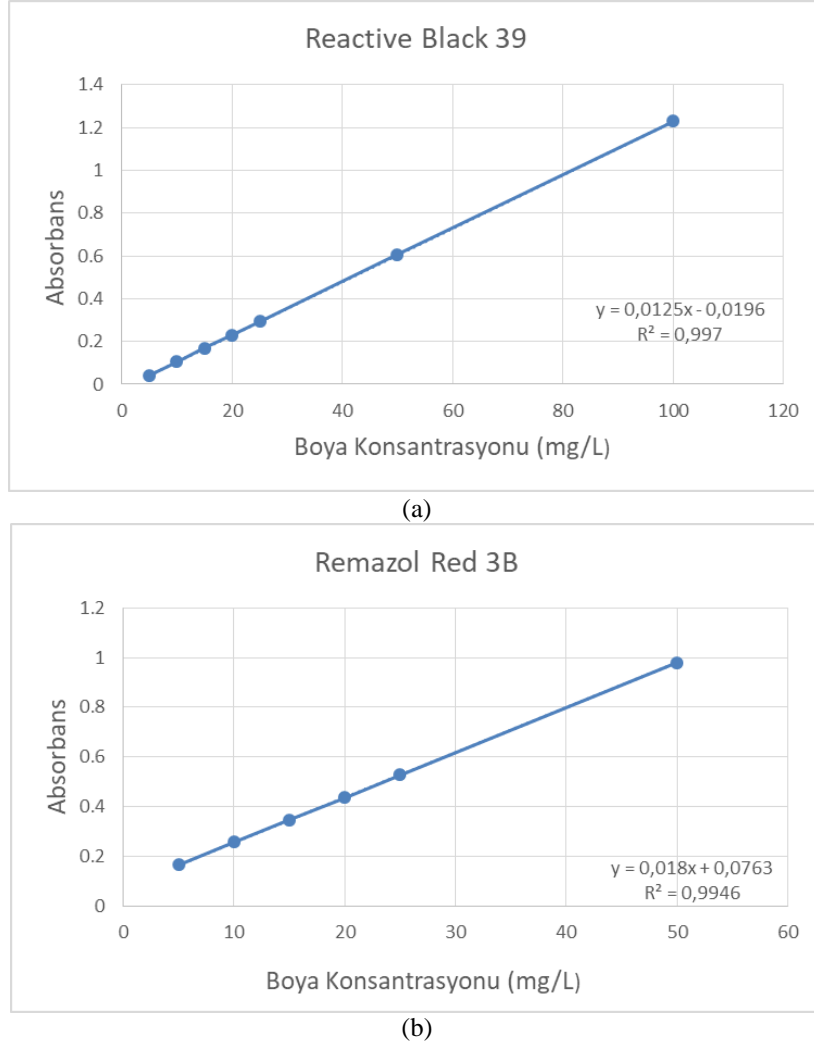
Elektrotlar reaktöre yerleştirildikten sonra hücreye 500 ml boya çözeltisi konuldu. Manyetik karıştırıcıda karıştırma hızı seçildi (rpm) ve güç kaynağı üzerinde istenen akım ve voltaj ayarlaması yapıldıktan sonra çalıştırıldı. Elektrotlar arası gerilimden kaynaklanan sıcaklık artışı, reaktörün dış çeperine dışarıdan hava verilerek 24-26 °C aralığında tutuldu. Çözelti sıcaklığı lazer termometre kullanılarak takip edildi. Elektrokoagülasyon esnasında oluşan hidrojen gazı yardımıyla floklar reaktörün üst kısmında toplanmış olup, net bir katı-sıvı ayırımı gözlemlendi. Belirlenen süreler sonunda reaktörden alınan numuneler kaba filtre kâğıdından süzüldü. Süzülen numuneler daha sonra UV spektrofotometrede okutuldu. Her deneyden önce elektrotlar, yüzeyinde biriken safsızlıklardan arındırılması amacıyla, önceden hazırlanan temizleme çözeltisinde 3 dakika bekletildi ve safsu ile durulandı. Temizleme çözeltisi %35 'lik 100 ml

HCl ve % 2.8 'lik 200 ml heksametilentetramin ((CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>N<sub>4</sub>) çözeltisinden oluşmaktadır [18].

### 2.4. Analitik Yöntem

#### 2.4.1. Boya Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Çalışmalarda kullanılan farklı konsantrasyonlardaki boya çözeltileri (Reactive Black 39 ve Remazol Red 3B) saf su kullanılarak hazırlandı. WTW marka Photolab 7600 model UV spektrofotometrede, boyanın maksimum absorpsiyon verdiği  $\lambda_{max}$  dalga boyunda bir konsantrasyon-absorpsiyon kalibrasyon eğrisi çıkarılmış olup bunlar Şekil 4. (a) ve (b) 'de verildi. Boyanın kendi pH değeri olan 7 için yapılan bu işlem daha sonra pH 4 ve pH 10 için tekrarlandı ve her bir pH için maksimum dalga boyunda bir değişiklik olmadığı gözlemlendi ve tüm pH değerleri için aynı  $\lambda_{max}$  dalga boyu kullanıldı. Deneylerden önce ve sonra yukarıda açıklandığı şekilde UV-spektrofotometre ile boya konsantrasyonu ölçüldü.



Şekil 3. Absorbans – Boyarmadde Konsantrasyonu Kalibrasyon Eğrisi a) Reactive Balck 39 b) Remazol Red 3B

#### 2.4.2. Kullanılan Eşitlikler

Boya (Boyarmadde) giderme verimi,  $E$ , aşağıdaki eşitlik ile yüzde olarak hesaplandı.

$$E = \frac{c_i - c_f}{c_i} \times 100 \quad (1)$$

Burada;  $C_i$  giriş boya konsantrasyonu (mg/L) ve  $C_f$  belirlenen süre sonundaki boya konsantrasyonu (mg/L).

Akım yoğunluğu,  $J$ , aşağıdaki eşitlikle hesaplandı.

$$J = \frac{I}{A} \quad (2)$$

Burada;  $J$ : Akım yoğunluğu, mA/cm<sup>2</sup>,  $I$ : Akım şiddeti, mili Amper,  $A$ : Aktif anot yüzey alanı, cm<sup>2</sup> 'dir.

Enerji Tüketimi. Harcanan elektrik enerjisini Watt saat (Wh) cinsinden hesaplırsak,

$$E = V * I * t \quad (3)$$

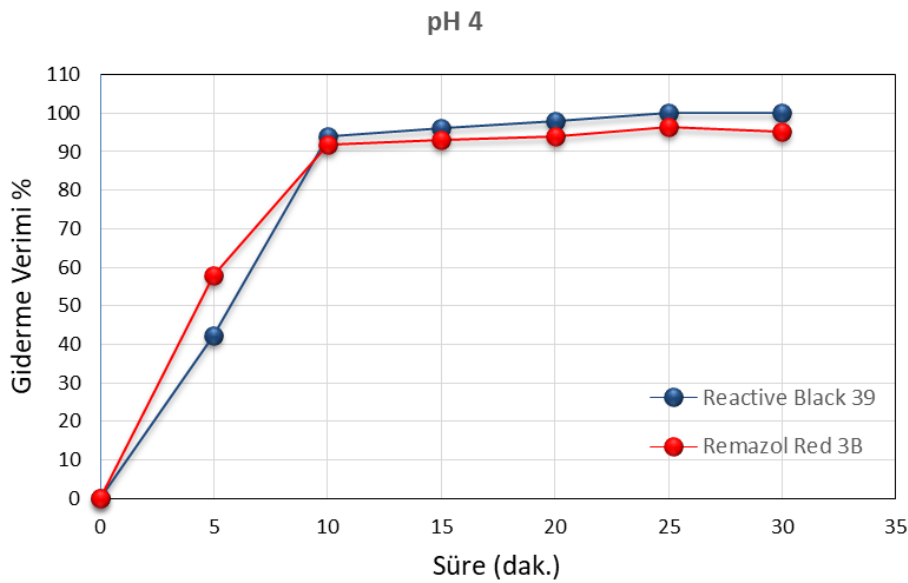
Burada;  $E$ : Elektrik enerjisi (Wh),  $V$ : volt,  $I$ : akım şiddeti (A),  $t$ . zaman (saat) 'dir.

#### 3. Bulgular ve Tartışma

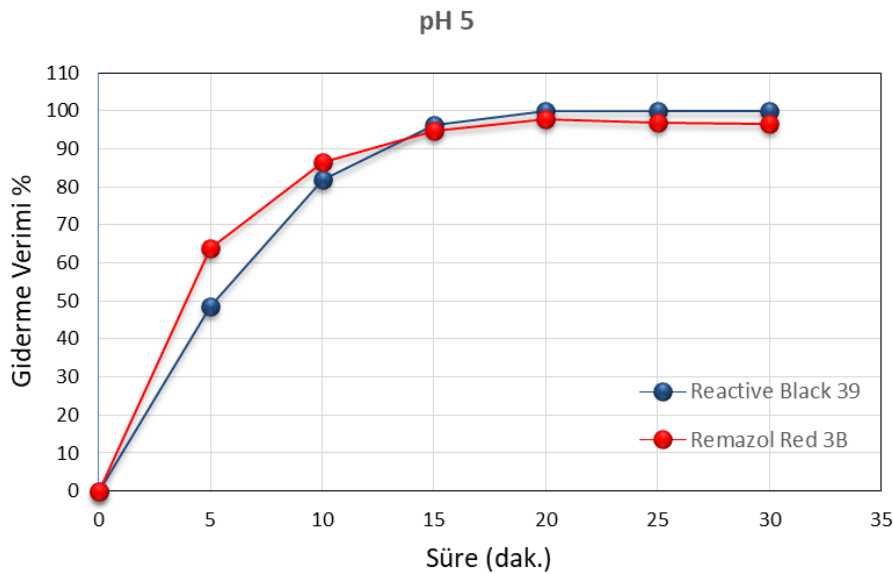
Bu bölümde farklı molekül ağırlıklarına sahip 2 tekstil boyarmaddesinin farklı pH değerlerinde gerçekleştirilen giderme verimleri karşılaştırıldı. Deneyler; 1 amper akımda (10 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu) ve ortalama 10 V gerilimde, 250 mg/L boyarmadde konsantrasyonunda, 100 rpm karıştırma hızında, 15 mm elektrotlar arası mesafede, 1000 mg/L NaCl elektrolit konsantrasyonunda pH 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 için gerçekleştirilmiştir. Elektrokoagülasyon proseslerinde pH dengesi değişimi anot ve katotta meydana gelen yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları ile kontrol edilmektedir. Anotta, alüminyum yükseltgenirken (çözünürken) katotta ise su indirgenmekte ve OH<sup>-</sup> iyonları çözeltiye geçerek çözelti pH'ını arttırmaktadır. pH artışı uygulanan akım (Amper) ile doğru orantılıdır. Anotta alüminyum elektrot kullanılması durumunda bu artış alüminyumun amfoterik yapısından dolayı pH 9 dolaylarında dengelenmektedir. Katotta da alüminyum elektrot kullanılması durumunda,

katodun OH iyonları saldırısına maruz kalması ve kimyasal çözünmenin meydana geldiği görülmektedir [19]. Bu durum, yani katodik çözünme pH dengesi üzerinde etkili ve pH artışını yavaşlatmaktadır. Anılan tüm bu dengeler elektrokoagülasyon esnasında pH değişimini etkilediğinden, yapılan çalışma boyunca pH yı istenen değerde tutulmak için çözeltiliye gerektiğinde asit veya baz eklendi. Şekil 4, 5, 6 ve 7 'de asidik pH değerleri (pH 4,5,6, ve 7) için elde edilen renk giderme verimleri görülmektedir. pH 4 alüminyum hidroksit floklarının henüz olgunlaşmadığı ve alüminyumun önemli bir kısmının halen iyon halinde ( $Al^{3+}$ ) bulunduğu pH dır. Bu pH da daha çok monomerik alüminyum hidroksit flokları mevcuttur.

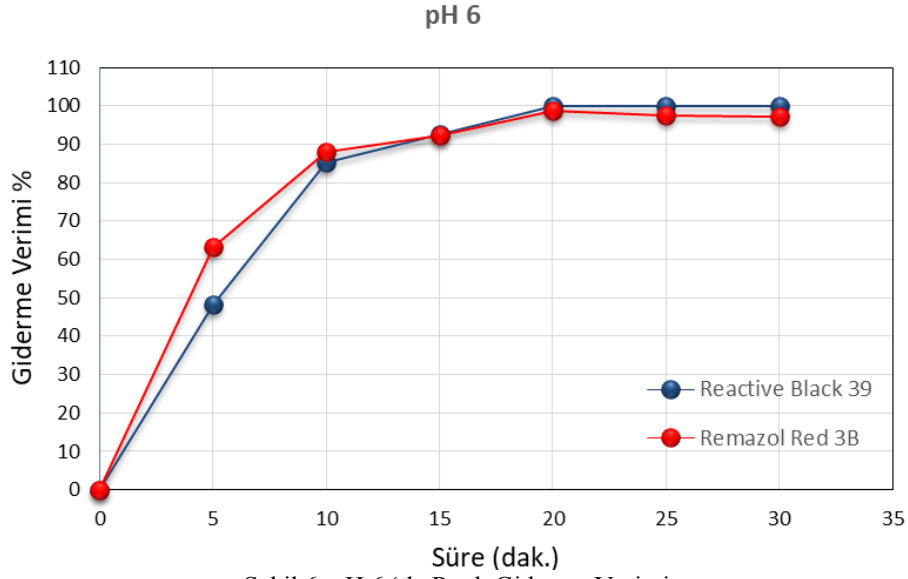
pH arttıkça monomerik alüminyum hidroksit türleri polimerik alüminyum hidroksit türlerine dönüşmektedir. pH 5,5-6 aralığı ise Alüminyum hidroksit floklarının en iyi çökelme pH aralığına denk gelmektedir. Bu çalışmada en iyi giderme verimleri pH 5 ve 6 için gerçekleşmiştir. pH 7 de ise giderme veriminde nispeten bir düşüş görülmektedir. pH 7 'ye çıkılması ile daha önce pH 4,5 ve 6 da % 100 giderilen Reactive Black 39 % 100 giderilememiştir. Asidik pH değerleri (pH 4,5,6, ve 7) için, molekül boyutu daha büyük olan Reactive Black 39 (1021,16 g/mol), molekül boyutu daha küçük olan Remazol Red 3B (674,10) den az bir farkla da olsa çözeltiliden daha iyi giderilmiştir.



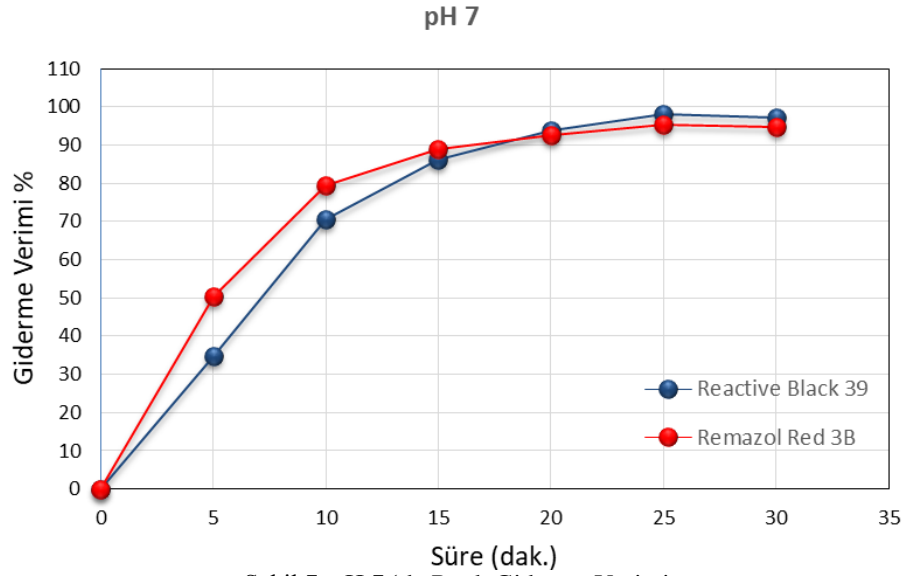
Şekil 4. pH 4 'de Renk Giderme Verimi



Şekil 5. pH 5 'de Renk Giderme Verimi



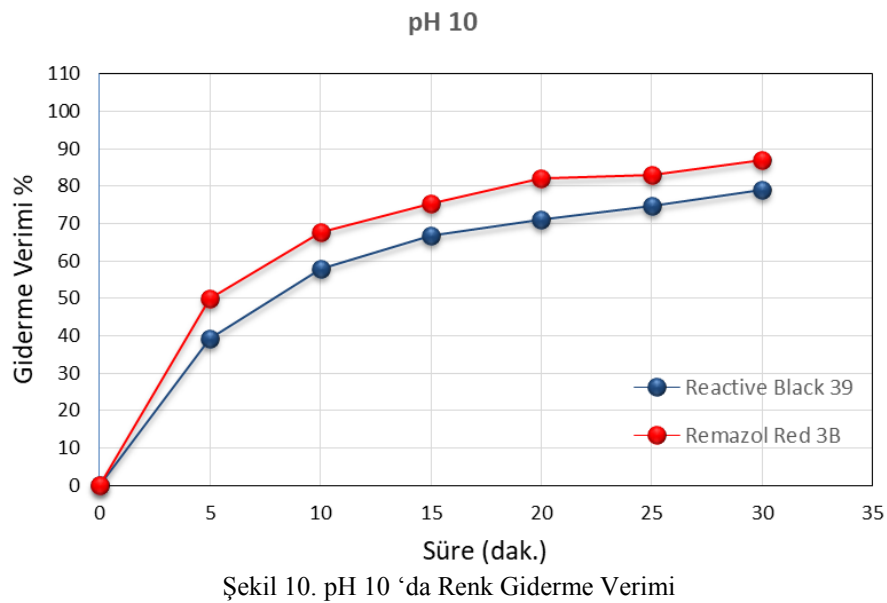
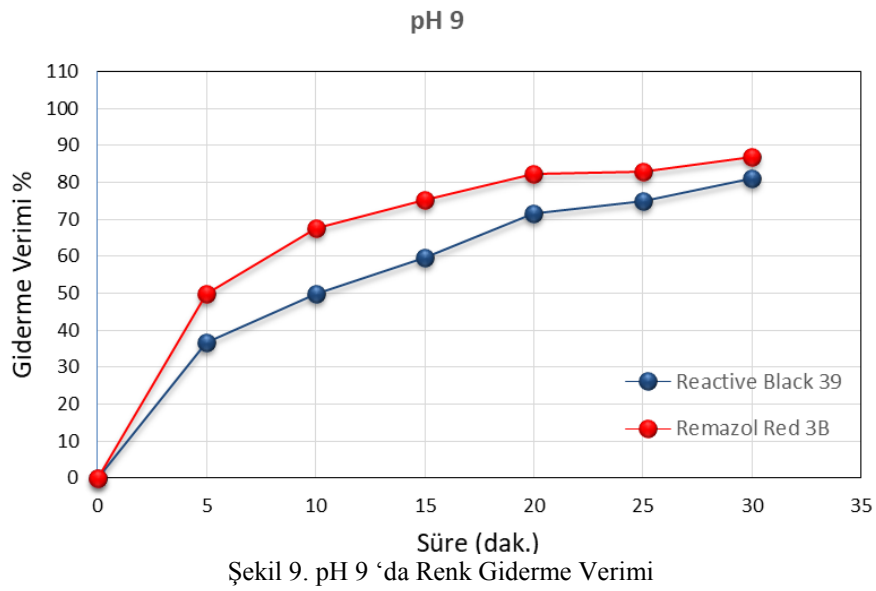
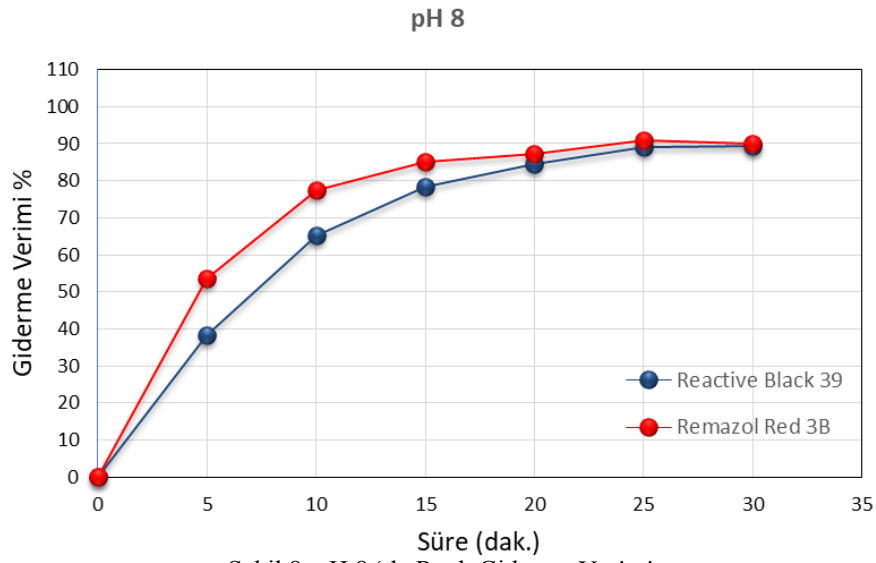
Şekil 6. pH 6 'da Renk Giderme Verimi



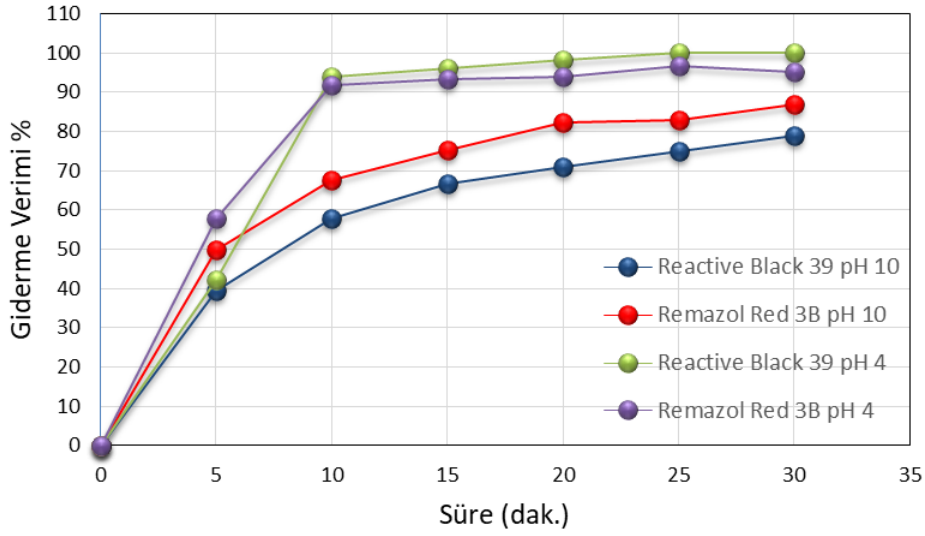
Şekil 7. pH 7 'de Renk Giderme Verimi

Şekil 8, 9 ve 10 'da bazık pH değerleri (pH 8, 9 ve 10) için elde edilen renk giderme verimleri görülmektedir. Bazık pH değerlerinde OH<sup>-</sup> iyonlarının artışı ile birlikte en etkin polimerik alüminyum hidroksit türleri (Al(OH)<sub>3</sub>) yerini Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> bileşiğine bırakmakta ve giderme verimi düşmektedir. Bu pH değerlerinde her iki boyar

madde için giderme verimi kabaca pH 8 de % 90, pH 9 ve 10 da % 80 lere düşmektedir. Bazık pH değerleri (pH 8,9 ve 10) için, asidik pH değerlerinden farklı olarak, moleköl boyutu daha küçük olan Remazol Red 3B (674,10), moleköl boyutu daha büyük olan Reactive Black 39 (1021,16 g/mol) den çözeltilen daha iyi giderilmiştir.



Şekil 11 'de asidik pH 4 ve bazik pH 10 değerleri için elde edilen renk giderme verimleri görülmektedir. Asidik pH değerinde renk gideriminin bazik pH değerine göre



Şekil 11. pH 4 ve pH 10 'da Renk Giderme Verimi

Tablo 2. Boyarmadde molekül ağırlığı ve pH ya bağlı giderme verimi değerleri

Boyarmadde	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Giderme Verimi	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9	pH 10
Reactive Black 39	1021.16	%	100	100	100	98	89.21	74.8	74.83
Remazol Red 3B	674.10		96.54	96.94	97.35	95.49	90.97	83.01	83.01

#### 25. dakika giderme verimleri

pH artışından daha büyük molekül ağırlığına sahip olan boyar madde daha çok etkilenmektedir. Tablo 2 'de görüleceği üzere, boyarmadde gidermede daha büyük molekül ağırlığına sahip olan Reactive Black 39 (1021.16 g/mol) pH değişiminden % 100 'den 74.83 'e düşüşle, yaklaşık % 25 oranında etkilenirken, daha küçük molekül ağırlığına sahip olan Remazol Red 3B (674.10 g/mol) % 96.54 'den 83.01 'e düşüşle yaklaşık % 13 oranında etkilenmektedir. Sudaki koloidal kirleticilerin alüminyum hidroksit flokları tarafından, flok içerisine hapsedme veya flok yüzeyinde tutunma şeklinde giderildikleri bilinmektedir. pH, elektrokimyasal ve kimyasal koagülasyon süreçlerinde önemli bir faktördür; elektrokimyasal olarak çözünmüş Al'ın hidrolizi ve polimerizasyon reaksiyonları yoluyla çeşitli kompleksler ve polimerik bileşikler oluşmaktadır. [20] pH'nın elektrokoagülasyon prosesine etkisi, başlangıçta oluşan alüminyum hidroksitin çözünürlüğü ile ilgilidir. pH < 5.4 olduğunda, Al(OH)<sub>3</sub> hidrolize olur ve Al<sup>3+</sup>, Al(OH)<sup>2+</sup>, Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup> gibi monomerik türler ortaya çıkar; [20] ve negatif zeta potansiyeline sahip partikülleri üzerlerine adsorbe edebilirler. [21] Öte yandan, pH'da bir azalma, iyonik kuvvetin artmasına yol açar; bu, Al(OH)<sub>3</sub> partikülleri arasındaki elektriksel çekimin azalması ve pıhtılaşması yanı sıra etkileşimlerini (adsorpsiyon kapasitesi) azaltır. 6 ila 9 arasında değişen pH'da alüminyum hidroksit

çökeltmesi ortaya çıkar; Alüminyum hidroksit parçacıklarının yüzeyi üzerinde oluşabilecek kristaller veya bulk içinde oluşan hidroksit çökeltileri kendilerini diğer parçacıklara tutturabilir. 9'dan daha yüksek pH değerlerinde, boya gibi parçacıkları sabitlemede düşük afiniteye ve adsorpsiyona sahip alüminat iyonları Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> baskın hale gelir.[15] Yüksek pH değerlerinde flok üretimi ve çökmesi azaldığından molekül kütlesi büyük olan boyanın giderimi azalmaktadır. Giderme verimindeki bu düşüşün nedeni büyük molekülün azalan flok içerisine nüfuzunun veya flok yüzeyinde tutunmasının küçük moleküle göre zorluğu olarak düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Alüminyum elektrotların kullanıldığı paralel bağlı bipolar reaktöre sahip elektrokoagülasyon yöntemi ile boyarmaddelerin su ortamından giderimi başarı ile sağlandı. Asidik pH değerlerinde % 100 e yakın giderme değerleri elde edilirken, bazik pH değerlerinde giderme verimlerinin düştüğü görüldü. Hem boyarmadde molekül ağırlığı büyük olan Reactive Black 39 hem de molekül ağırlığı küçük olan Remazol Red 3B düşük pH değerinde sudan daha iyi giderilmektedir. Yüksek pH değerlerinde ise her iki boyarmaddenin de sudan giderimi azalmaktadır. Alüminyum elektrot kullanılan

elektrokoagülasyon proseslerinde oluşan alüminyum hidroksit flokları için optimum çökelme pH sı olan 5.5-6 aralığında en iyi giderme verimi boyarmadde molekül ağırlığı büyük olan Reactive Black 39 için gerçekleşti. Bu sonuçlardan elektrokoagülasyon ile sulardan boyarmadde gideriminde hem boyarmadde molekül büyüklüğünün hem de pH'nın önemli bir ortak etkisinin olduğu görüldü.

### Kaynaklar

- [1] M. Sleiman, D. Vildoza, C. Ferronato, and J.-M. Chovelon, "Photocatalytic degradation of azo dye Metanil Yellow: Optimization and kinetic modeling using a chemometric approach," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 77, no. 1, pp. 1–11, 2007.
- [2] V. Shah and D. Madamwar, "Community genomics: Isolation, characterization and expression of gene coding for azoreductase," *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 79, pp. 1–8, 2013.
- [3] C. Ahmed Basha, N. S. Bhadrinarayana, N. Anantharaman, and K. M. Meera Sheriffa Begum, "Heavy metal removal from copper smelting effluent using electrochemical cylindrical flow reactor," *J. Hazard. Mater.*, vol. 152, no. 1, pp. 71–78, 2008.
- [4] O. T. Can, M. Kobya, E. Demirbas, and M. Bayramoglu, "Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation," *Chemosphere*, vol. 62, no. 2, 2006.
- [5] N. Mohan, N. Balasubramanian, and C. A. Basha, "Electrochemical oxidation of textile wastewater and its reuse," *J. Hazard. Mater.*, vol. 147, no. 1, pp. 644–651, 2007.
- [6] M. M. and L. L. P. Balaji, B. Vignesh, M. Sowmiya, "Removal of Colour from Textile Effluent using Natural Adsorbent (Calotropis Gingantea)," *Int. J. Innov. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 4, p. 265, 2015.
- [7] S. Aoudj, A. Khelifa, N. Drouiche, M. Hecini, and H. Hamitouche, "Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 49, no. 11, pp. 1176–1182, 2010.
- [8] M. Bayramoglu, M. Kobya, O. T. Can, and M. Sozbir, "Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 37, no. 2, 2004.
- [9] O. T. Can, M. Bayramoglu, and M. Kobya, "Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 42, no. 14, 2003.
- [10] M. Kobya, E. Demirbas, O. T. Can, and M. Bayramoglu, "Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 132, no. 2–3, 2006.
- [11] T. K. Dawood, Sara. Sen, "Review on Dye Removal from Its Aqueous Solution into Alternative Cost Effective and Non-Conventional Adsorbents," *J Chem Proc Engg*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2014.
- [12] E. Pajootan, M. Arami, and N. M. Mahmoodi, "Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 43, no. 2, pp. 282–290, 2012.
- [13] N. Ardhan, T. Ruttithiwapanich, W. Songkasiri, and C. Phalakornkule, "Comparison of performance of continuous-flow and batch electrocoagulators: A case study for eliminating reactive blue 21 using iron electrodes," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 146, no. Supplement C, pp. 75–84, 2015.
- [14] B. K. Nandi and S. Patel, "Effects of operational parameters on the removal of brilliant green dye from aqueous solutions by electrocoagulation," *Arab. J. Chem.*, vol. 10, no. Supplement 2, pp. S2961–S2968, 2017.
- [15] M. K. Mbacké *et al.*, "Electrocoagulation process applied on pollutants treatment-experimental optimization and fundamental investigation of the crystal violet dye removal," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 4, no. 4, Part A, pp. 4001–4011, 2016.
- [16] S. Zodi, B. Merzouk, O. Potier, F. Lapique, and J.-P. Leclerc, "Direct red 81 dye removal by a continuous flow electrocoagulation/flotation reactor," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 108, no. Supplement C, pp. 215–222, 2013.
- [17] A. R. Amani-Ghadim, S. Aber, A. Olad, and H. Ashassi-Sorkhabi, "Optimization of electrocoagulation process for removal of an azo dye using response surface methodology and investigation on the occurrence of destructive side reactions," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 64, no. Supplement C, pp. 68–78, 2013.
- [18] A. Akyol, O. T. Can, and M. Bayramoglu, "Treatment of hydroquinone by photochemical oxidation and electrocoagulation combined process," *J. Water Process Eng.*, vol. 8, 2015.
- [19] T. Picard, G. Cathalifaud-Feuillade, M. Mazet, and C. Vandenstendam, "Cathodic dissolution in the electrocoagulation process using aluminium electrodes," *J. Environ. Monit.*, vol. 2, no. 1, pp. 77–80, 2000.
- [20] J. Prakash Kushwaha, V. Chandra Srivastava, and I. Deo Mall, "Studies on electrochemical treatment of dairy wastewater using aluminum electrode," *AIChE J.*, vol. 57, no. 9, pp. 2589–2598, 2011.
- [21] A. Gürses, M. Yalçın, and C. Doğan, "Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables," *Waste Manag.*, vol. 22, no. 5, pp. 491–499, 2002.