

## Investigation of the Removal of Reactive Red 195 Dye from Aqueous Solutions by Electrocoagulation and Electrocoagulation/Adsorption Processes

Ahmet Günay, \*Zürriye Gündüz and Fadime Songül Özçelik  
Balıkesir University, Engineering Faculty, Çağış Campus, Balıkesir, Turkey

### Abstract

The removal of Reactive Red 195 (RR195) dyestuff from aqueous solutions by electrocoagulation and electrocoagulation/adsorption hybrid process using steel electrodes was aimed in this study. As a result of the studies conducted for the electrocoagulation process, the color removal efficiency with the operating parameters (initial dyestuff concentration:50 mg/L, current density:20 mA/cm<sup>2</sup>, 5 minutes-reaction time and pH 5.5 which is the natural pH value of the dye) were obtained 99.04%. At the end of the experimental studies for electrocoagulation/adsorption, dyestuff concentration was determined as 50 mg/L, pH 5.5 and adsorbent dosage was 1 g/L. After 3 minutes of treatment, 97.66% yield was obtained by electrocoagulation, while 99.25%, 98.83%, 98.61% and 98.8% yields were obtained for kaolinite, sepiolite, ulexite and colemanite in the electrocoagulation/adsorption process. It was concluded that traditional electrocoagulation method using the steel electrode for removal of the RR195 dye was quite effective in terms of both efficiency and cost; pH was an important parameter for the electrocoagulation/adsorption hybrid process.

**Key words:** Reactive Red 195, electrocoagulation, electrocoagulation/adsorption, steel electrode

# Reaktif Red 195 Boyarmaddesinin Sulu Çözeltilerden Çelik Elektrot Kullanılarak Elektrokoagülasyon ve Elektrokoagülasyon/Adsorpsiyon Prosesleri ile Giderimi

Ahmet Günay, \*Zürriye Gündüz ve Fadime Songül Özçelik  
Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çağış Kampüsü, Balıkesir, Türkiye

## Özet

Bu çalışmada çelik elektrotlar kullanılarak elektrokoagülasyon ve elektrokoagülasyon/adsorpsiyon hibrit prosesi ile Reaktif Red 195 (RR195) boyarmaddesinin sulu çözeltilerden giderimi amaçlanmıştır. Elektrokoagülasyon prosesi için yapılan çalışmalar sonucu belirlenen işletme parametrelerinde (başlangıç boyarmadde derişimi 50 mg/L, akım yoğunluğu 20 mA/cm<sup>2</sup>, reaksiyon süresi 5 dakika ve boyanın doğal pH değeri olan pH 5.5) renk giderim verimi %99,04 elde edilmiştir. Elektrokoagülasyon/adsorpsiyon için yapılan deneysel çalışmalar sonunda ise boyarmadde derişimi 50 mg/L, pH 5.5 ve adsorbent dozajı 1 g/L olarak belirlenmiştir. 3 dakika muamele sonunda elektrokoagülasyon ile %97.66 verim elde edilirken elektrokoagülasyon/adsorpsiyon prosesinde kaolinit, sepiyolit, üleksit ve kolemanit için sırası ile %99.25, %98.83, %98.61 ve %98.8 verim elde edilmiştir. RR195 boyarmaddesinin gideriminde çelik elektrodun kullanıldığı geleneksel elektrokoagülasyon yönteminin oldukça etkili olduğu; elektrokoagülasyon/adsorpsiyon hibrit prosesi için ise pH'in önemli bir parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Key words:** Reaktif Red 195, elektrokoagülasyon, elektrokoagülasyon/adsorpsiyon, çelik elektrot

## 1. Giriş

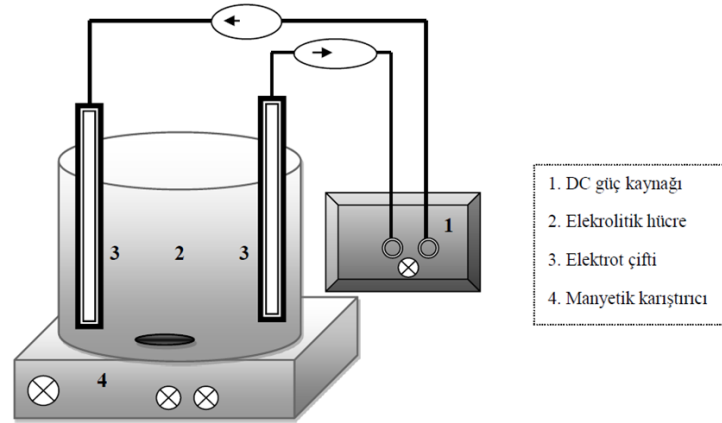
Endüstriyel faaliyetlerin sonucunda ortaya çıkan atıksular, deşarj öncesinde ilgili yönetmelikte verilen deşarj standartlarını sağlamış olmalıdır. Tekstil endüstrisi atıksularında çok düşük miktarda boyarmadde bulunması durumunda dahi alıcı ortama deşarjı gerçekleşirse estetik ve sağlık açısından istenmeyen durumlar meydana gelir. Renk, güneş ışığını absorbe eder ve alıcı ortamda fotosentez olayının gerçekleşmesini engeller, bu yüzden alıcı ortamdaki çözünmüş oksijen miktarı düşer [1]. Bu durumun bir sonucu olarak, alıcı ortamdaki canlılar yok olur ve canlı türlerinde değişimler meydana gelir. Buna ilaveten suyun yeniden kullanımı da kısıtlı hale gelir. Boyarmaddelerin elektrokimyasal yöntemler ile giderimi oldukça başarılı olmaktadır. Etkin bir elektrokimyasal arıtma prosesi olarak elektrokoagülasyon çamur oluşumunun az miktarda olması, biyolojik olarak parçalanamayan ve gözle görünemeyen organik maddelerin çözünmesi veya atıksuyun biyolojik arıtma uygun koşullara getirilmesi, koagülant dozunun kolay bir şekilde kontrol edilebilmesi, hidroksit barındıran çökelekler veya floklarla birlikte ağır metal tuzlarının uzaklaştırılabilmesi, devamlı pH kontrolüne ihtiyaç duyulmaması, yüksek verim

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Balıkesir University, 10145, Balıkesir TURKEY. E-mail address: zyilmaz@balikesir.edu.tr, Phone: +902666121194 Fax: +902666121257

değerlerinin elde edilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Adsorpsiyon/elektrokoagülasyon hibrit prosesi, boyarmadde ve başka kirleticilerin gideriminde başarıyla uygulanmaktadır. Reaktif violet 4 [2], TOC [3], [4], hümik asit [5], nitrat [6], metilen mavisi [7], indigo karmin) [4], reaktif black 5 [8] literatürde bahsedilen bazı örneklerdir. Bu çalışmanın amacı, güncel arıtım yöntemlerinden biri olan elektrokoagülasyon prosesini bazı doğal adsorbentlerin (kolemanit, sepiyolit, kaolinit, üleksit) ilavesiyle destekleyerek, paslanmaz çelik elektrot varlığında tekstil atıksularında bulunan Reaktif Red 195 boyarmaddesini gidermek ve elektrokoagülasyonla ilgili en uygun renk giderim parametrelerini (konsantrasyon, akım, pH, adsorbent türü, adsorbent dozajı vb.) belirlemektir.

## 2. Materyal ve Metod

Elektrokoagülasyon deneylerinde 0.5 L etkin hacimli ve toplam 0.8 L hacminde olan bir cam beher elektrokoagülator olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elektrot olarak kullanılan ve eşdeğer özellikli paslanmaz çelik plakalar AISI 304 standardında olup, bir anot ve bir katot monopolar paralel olarak sisteme bağlanmıştır. Çelik elektrotların her birinin yüzey alanı 120 cm<sup>2</sup> olmakla birlikte, elektroaktif alanı yaklaşık 50 cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Elektrotların arasında oluşturulan uzaklık 5.5 cm'dir. Elektrotlar, SUNLINE SL-3010D marka elektrik akımı kontrolü yapılabilen bir doğru akım güç kaynağına bağlanmıştır. Deney sisteminin şematik gösterimi Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Elektrokoagülasyon deney düzeneği

Elektrokimyasal arıtım proseslerinde elektrolitik iletkenlik kritik bir işletme parametresidir. Boya çözeltilerinde çözünme moleküler düzeyde olduğundan elektriksel iletkenlik yoktur. Bu yüzden iletkenliği sağlamak üzere çözeltiliye ilave edilen elektrolitin cinsi ve derişimi, dikkatle belirlenmelidir. Elektrokoagülasyon prosesinde, yüksek iletkenlik ve çözünürlük sağlayan, düşük maliyetli ve çözeltide oluşan aktif klorün kuvvetli oksitleme özellikleri nedeniyle çoğunlukla kullanılan elektrolit NaCl'dür [9], [10]. Literatür bulguları ışığında 2 g/L derişimi sağlayacak şekilde %99.9 saflıkta NaCl (Merck) elektroliti çözeltiliye ilave edilmiştir. Deneysel çalışmalar atmosfer basıncında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda başlangıç pH'nın renk giderim verimine etkisini incelemek için pH ayarlamasında HCl ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Elektrokimyasal olarak boya gideriminin yapıldığı çalışma çözeltisi

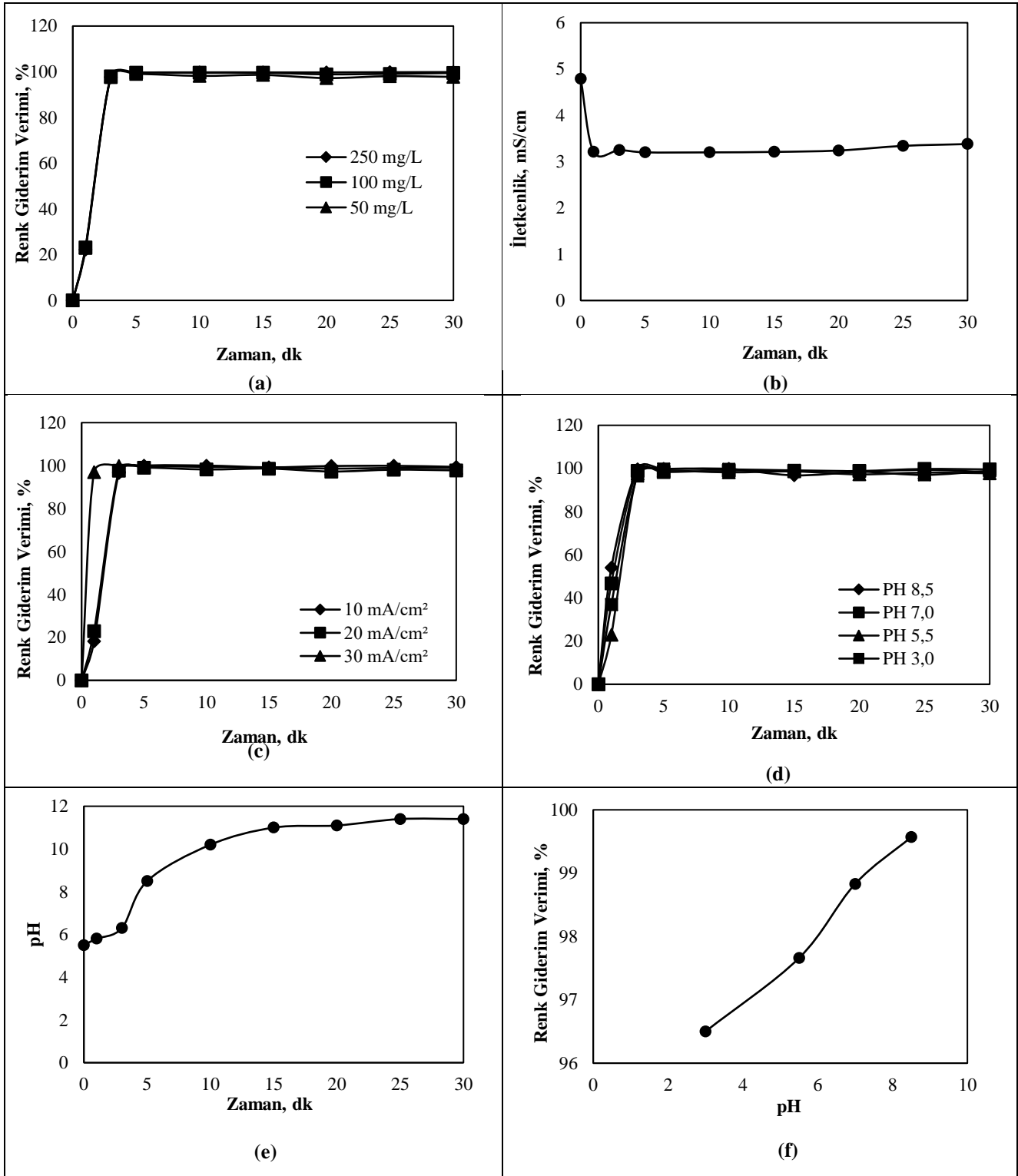
proses süresince Yellowline MST Basic manyetik karıştırıcı ile 400 rpm'de karıştırılmıştır. Deneylerde kullanılan RR195 çözeltileri her deney öncesi ultra saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Hesaplamalar yapılarak hazırlanan 1000 mg/L stok çözeltiden deneylerde kullanılmak üzere çalışma çözeltileri hazırlanmış ve renk giderim verimine başlangıç derişiminin etkisi incelenmiştir. Elektrokoagülasyon prosesine ilave edilen adsorbentlerin (kaolinit, sepiyolit, üleksit ve kolemanit) renk giderim verimine etkisinin incelenmesinde kullanılan killer Sigma-Aldrich kalitesinde temin edilmiştir. Deneyin gerçekleştirildiği reaktörden belirlenen zaman aralıklarında alınan numuneler HERMLE Z 206 A santrifüj cihazı ile santrifüjleme işleminin ardından, boyarmadde konsantrasyonunu belirlemek üzere DR-LANGE CADAS 30S spektrofotometre cihazı ile absorbans ölçümleri yapılmıştır. Absorbans ölçümleri Reaktif Red 195 boyarmaddesi için maksimum dalga boyu olan 540 nm'de gerçekleştirilmiş ve hemen ardından numunelerin pH ve iletkenlikleri HANNA Edge multiparametre ile ölçülmüştür. Yapılan her deney sonunda elektrotlar ve elektrokimyasal hücre, bir sonraki çalışmada oluşabilecek pasivasyonu engellemek amacıyla 0.1 M derişimdeki HCl çözeltisi ile temizlenip ardından ultra saf sudan geçirilmiştir. Pasivasyon elektrokimyasal processte kullanılan elektrotların yüzeyinde boyarmadde veya başka maddelerin birikimi neticesinde metal elektrodun iyonlaşmasının kısmi olarak engellenmesidir [11].

### 3. Bulgular

Elektrokoagülasyon ve elektrokoagülasyon/adsorpsiyon prosesleri uygulanarak bazı parametrelerin renk giderim verimine etkileri incelenmiştir. Elektrokoagülasyon prosesinde başlangıç boyarmadde derişimi, başlangıç pH'ı, akım yoğunluğu ve arıtma süresi parametreleri çalışılmıştır. Elektrokoagülasyon/adsorpsiyon hibrit prosesinde ise başlangıç boyarmadde derişimi, başlangıç pH'ı, akım yoğunluğu, adsorbent türü, adsorbent dozajı ve arıtma süresinin proses verimine etkisi incelenmiştir.

#### 3.1 Elektrokoagülasyon Prosesi

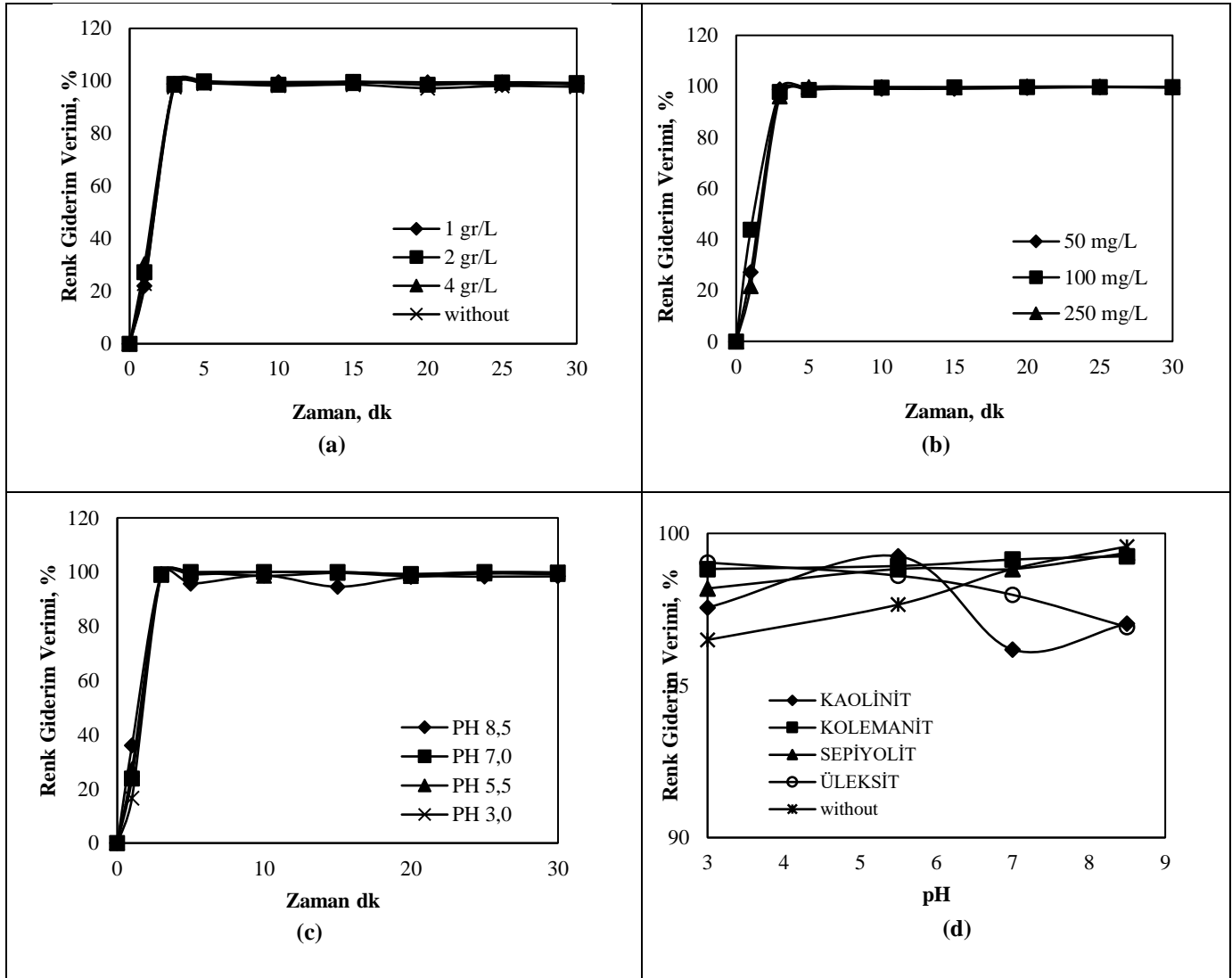
Boyarmadde derişiminin elektrokoagülasyon prosesini verimine etkisinin incelenmesi amacıyla RR195 içeren boyarmadde çözeltisinin başlangıç pH'ı, doğal pH değeri olan 5,5'ta sabit tutularak 50, 100 ve 250 mg/L derişimli boyarmadde çözeltileri ile çalışılmıştır. Şekil 2.(a) farklı başlangıç boyarmadde konsantrasyonları için zamana karşı renk giderim verimini (pH<sub>0</sub>: 5.5, J: 20 mA/cm<sup>2</sup>), Şekil 2.(b) çözelti iletkenliğinin zamanla değişimini (pH<sub>0</sub>: 5.5, J: 20 mA/cm<sup>2</sup> C<sub>0</sub>: 50 mg/L) göstermektedir. Akım yoğunluğunun proses verimine etkisini belirlemek amacıyla başlangıç boyarmadde konsantrasyonu 50 mg/L olan çözelti ile pH ayarlaması yapılmadan natürel pH olan 5,5'ta çalışmalar yapılmıştır. 10 mA/cm<sup>2</sup>, 20 mA/cm<sup>2</sup>, 30 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluklarında yapılan denemeler ve bulgular ışığında Şekil 2.(c) oluşturulmuştur. pH'ın renk giderme verimine etkisini belirlemek için 50 mg/L başlangıç boya konsantrasyonu ve 20 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda pH 3, pH 5.5, pH 7 ve pH 8.5 değerlerinde çalışılmış ve bulgular ile Şekil 2.(d), 2.(e) ve 2.(f) oluşturulmuştur.



**Şekil 2.** Elektrokoagülasyon prosesinde elde edilen grafikler (a) Başlangıç derişimin etkisi, (b) Zamanla iletkenliğin değişimi, (c) Akım yoğunluğunun etkisi, (d) Başlangıç pH'ının etkisi, (e) Zamanla pH değişimi, (f) Renk giderim verimine pH'ın etkisi.

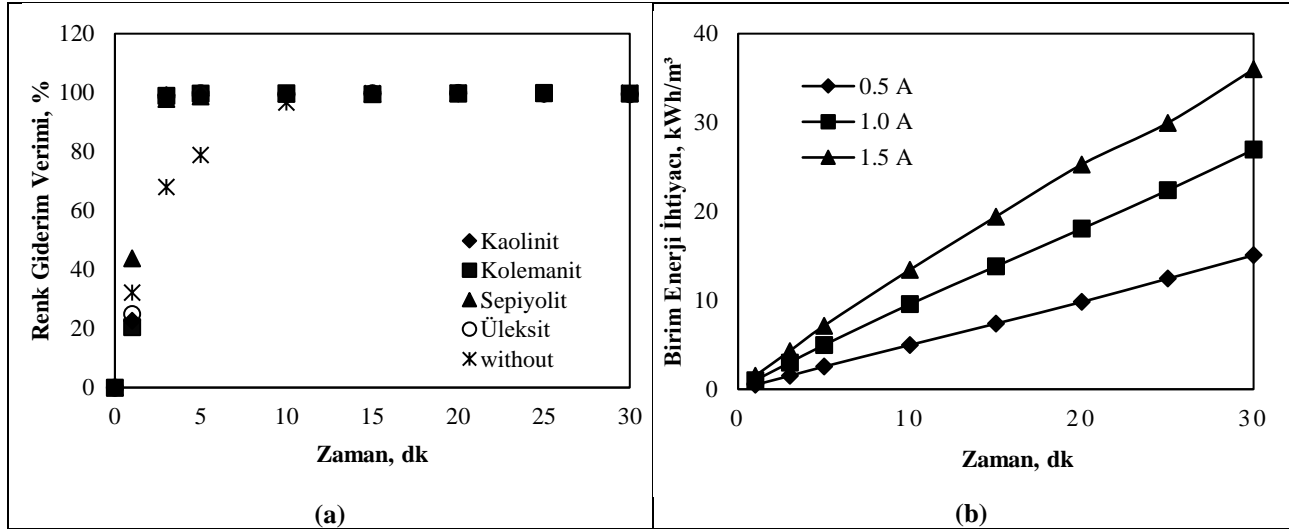
### 3.2. Elektrokoagülasyon/Adsorpsiyon Hibrit Prosesi

Geleneksel elektrokoagülasyon prosesinde katot elektrodu üzerinde geçirimsiz bir oksit film tabakası oluşur ve bu durum proses verimini düşürüp enerji sarfiyatını artırır [12], [13]. Bu dezavantajı gidermenin ve verimi iyileştirmenin bazı çözüm yolları bulunmuştur. Bunlardan bir tanesi elektrotların polaritesini değiştirmek [14], diğeri ise elektrokimyasal sisteme adsorbent karakterli bir materyal eklemektir [15]. Çalışmanın bu bölümünde elektrokoagülasyon ve adsorpsiyon eşleştirilerek oluşturulan hibrit yöntemin RR195 giderimindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda elektrokoagülasyon prosesi ile senkronize bir şekilde kaolinit, üleksit, sepiyolit ve kolemanit mineralleri çözeltiye ilave edilip, renk giderimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Elektrokoagülasyon/adsorpsiyon hibrit prosesinde elde edilen grafikler (a) Dozajın etkisi, (b) Başlangıç pH'nin etkisi, (c) Başlangıç derişiminin etkisi, (d) Renk giderim veriminin farklı mineraller için pH ile değişimi

Minerallerin ve her bir mineral için boyarmadde derişimi ve pH'ın etkisi, ve kolemanit minerali dozajının etkisi incelenmiştir. Adsorbent dozajının etkisini belirlemek için kolemanit mineralinin 1, 2 ve 4 g/L dozaj değerleri ile çalışmalar ( $C_o$ : 50 mg/L,  $J$ : 20 mA/cm<sup>2</sup>, pH<sub>o</sub>: 5.5) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgularla Şekil 3(a) oluşturulmuştur. Adsorbent miktarının artırılmasının verimi arttırmada belirgin bir etkiye bulunmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Bu bağlamda gereksiz adsorbent kullanımından kaçınmak için 1 g/L optimum dozaj olarak seçilmiştir [16]. Şekil 3(b), kolemanit adsorbenti varlığında farklı başlangıç derişimleri için zamana karşılık renk giderim verimindeki değişimi göstermektedir. Başlangıç derişimi olarak 50, 100 ve 250 mg/L değerlerinde çalışılmıştır. 5 dakika uygulamadan sonraki değerlerde anlamlı değişiklikler görülmediğinden elektrokoagülasyon/adsorpsiyon prosesinde boyarmadde başlangıç derişiminin 50 mg/L olarak seçilmiştir. Şekil 3(c), 50 mg/L derişimli kolemanit adsorbentli boyarmadde çözeltisine başlangıç pH'ının etkisini göstermektedir. Boyarmaddenin doğal pH değeri olan 5.5'ta verimin %98'in üzerinde sağlandığından pH ayarlamasına gerek olmamıştır. pH ayarlaması gerekmediği için, ek süre ve kimyasal madde kullanımından tasarruf edilebilir. Şekil 3(d)'de farklı pH değerlerinde her bir mineralin varlığında renk giderim veriminin değişimi görülmektedir. Herbir mineralin pH değişimine verdiği tepki farklı olmuştur. Üleksit için pH arttıkça verimde azalma; kaolinit için bir dalgalanma; kolemanit ve sepiyolit için artma ve mineral kullanılmaksızın ise pH arttıkça verimde de bir artma gözlenmiştir. Elektrokoagülasyon/adsorpsiyon hibrit prosesi uygulamasında belirlenen minerallerin ilave edilmesiyle zamanla verimdeki değişimi gösteren Şekil 4(a) incelendiğinde adsorpsiyon prosesinin elektrokoagülasyona belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Değişen akımlar için zamanla birim enerji ihtiyacının değişimini gösteren Şekil 4(b) akım arttıkça elektrik sarfiyatının da artacağını göstermektedir.



Şekil 4. Elektrokoagülasyon/adsorpsiyon hibrit prosesinde elde edilen grafikler (a) Faklı mineraller için zamanla renk giderim veriminin değişimi , (b) Farklı akım değerleri için zamanla birim enerji ihtiyacı değişimi

#### 4. Tartışma

Zaman ilerledikçe renk giderim veriminin belli bir değere kadar arttığı 5 dakikadan sonra verimde sabitleme olduğu ve belirgin bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Zamanın işletme maliyeti ve hızını doğrudan etkileyen bir parametre olduğu göz önünde bulundurulursa optimum renk giderimi için belirtilen optimum çalışma koşullarında 5 dakikalık proses süresinin yeterli olduğu belirtilmelidir. Akım yoğunluğunun renk giderim verimine etkileri incelendiğinde 3.dakikaya kadar lineer bir artışın olduğu görülmüştür. 3.dakikadan sonra tüm akım değerleri için verimde eşitlenmenin olması optimum verim değerinin seçiminde yol gösterici olmuş ve 20 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu optimum değer olarak tayin edilmiştir. Adsorbent ilavesi yapılmadan başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L ve 20 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda doğal pH değerinde yapılan çalışmalarda 3 dakika sonunda renk giderim verimi % 97,7 olarak bulunmuştur. Aynı koşullarda kaolinit, sepiyolit üleksit ve kolemanit adsorbentlerinin ilavesi ile renk giderim verimi sırasıyla %99,3, %98,8, %98,6 ve % 98,9 olarak bulunmuştur. Adsorbentsiz ve adsorbent ilaveli elektrokoagülasyon verimleri kıyaslandığında, adsorbent ilavesinin verimi cüz'i bir miktarda arttırdığı görülmektedir. Proses ilerledikçe bu sonuçların birbirine oldukça yaklaştığı görülmektedir. Başlangıç pH değeri çalışmalarının sonucunda adsorbent olmaksızın en uygun başlangıç pH değerinin natürel pH olduğu belirlenmiştir. Kil minerallerinin farklı pH değerlerinde etkinliklerinin değiştiği; kaolinit ve üleksit mineralleri ile yapılan deneysel çalışmalarda en iyi renk gideriminin asidik koşullarda sağlandığı tespit edilmiştir. Sepiyolit ilavesi ile yapılan çalışmalar sonucunda en iyi renk gideriminin bazik koşullarda ve kolemanit mineralinin kullanıldığı çalışmalarda ise nötr ve asidik koşullarda iyi derecede renk gideriminin sağlandığı sonucuna varılmıştır. Elektrokoagülasyon prosesi sonucunda oluşan çamur miktarının az olduğu bilinmektedir. Ancak az miktarda da olsa çamur bertarafı sağlanmalıdır. Bu sebeple açığa çıkan çamurun yakılması veya düzenli depolanması ile bertarafı sağlanabilir. Oluşan çamurun içeriği belirlenerek farklı endüstrilerde hammadde olarak kullanımı da araştırılabilir. Ayrıca elektrokoagülasyon prosesinde oluşan flokların adsorpsiyon prosesinde adsorban olarak kullanıldığı çalışmalar literatüre geçmiştir [17]. Tablo 1'de bazı boyarmadde giderim çalışmaları verilmiştir.

**Tablo 1. Literatürde verilen bazı boyarmadde giderim çalışmaları**

Boya	Elektrot Cinsi	Derişim	pH	Akım	Zaman	Destek Materyal	Renk Giderim Verimi	Kaynak
Remazol Red RB 133	Çelik yünü-Al	100 mg/L	4.4	3.75 mA/cm <sup>2</sup>	4 dk		%99.5	[18]
A. Black 1 R. Blue 4 E. Yellow	Çelik-Fe	100 mg/L	Natürel pH	0.3 A	12 dk		%84 %81 %39	[19]
Indigo Carmine	Çelik	25 mg/L	8	54.57 A/m <sup>2</sup>			%99	[20]
Reaktif violet 4	Al		7	47 A/m <sup>2</sup>	6 dk	0,6 g/L bentonit	% 98,5	[2]
Reaktif Red 195	Paslanmaz Çelik	50 mg/L	Natürel pH	20 mA/cm <sup>2</sup>	5 dk	1 g/L kolemanit	%99.6	Bu çalışma



## Sonuçlar

Basit ekipman ve kısa proses zamanı gereksinimi, az çamur oluşumu, ilave kimyasal kullanımı gerektirmeyen nitelikleriyle öne çıkan elektrokoagülasyon prosesi, Reaktif Red 195 boyarmaddesinin gideriminde çelik elektrotların kullanımı neticesinde yüksek verim elde edilmesini sağlamıştır. Bu bakımdan tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında başarılı bir işletme performansı ortaya koyması beklenmektedir. Aynı çalışmanın gerçek atıksu üzerinde farklı parametreler test edilerek optimize edilmesi önerilmektedir. Sonuç olarak elektrokoagülasyon prosesine kil minerali ilavesinin renk giderim verimini olumlu etkilemesi, kullanılan minerallerin doğal, ucuz ve kolay temin edilebilir olması sebebiyle kil minerallerinin Reactive Red 195 içeren atıksuların rengini gidermede elektrokoagülasyonu destekleyerek etkin, kolay ve hızlı bir arıtımın gerçekleşmesi yöntemin uygulanabilir olmasını sağlamaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Eyvaz M, Kırilaroğlu M, Aktaş T.S, Yüksel E. The effects of alternating current electrocoagulation on dye removal from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal* 2009;153:16-22.
- [2] Mountassir Y, Benyaich A, Berçot P, ve Rezrazi M. Potential use of clay in electrocoagulation process of textile wastewater: Treatment performance and flocs characterization. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2015;2900-2908.
- [3] Myllymäki P, Lahti R, Romar H, Lassi U. Removal of total organic carbon from peat solution by hybrid method: Electrocoagulation combined with adsorption. *Journal of Water Process Engineering* 2018;56-62.
- [4] Secula M.S, Cagnon B, de Oliveira T.F, Chedeville O, Fauduet H. Removal of acid dye from aqueous solutions by electrocoagulation/GAC adsorption coupling: Kinetics and electrical operating costs. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2012;767-775.
- [5] Barhoumi A, Ncib S, Chibani A, Brahmi K, Bouguerra W, Elaloui E. High-rate humic acid removal from cellulose and paper industry wastewater by combining electrocoagulation process with adsorption onto granular activated carbon. *Industrial Crops & Products* 2019;111715-111720.
- [6] Ziouvelou A, Tekerlekopoulou A.G, Vayenas D.V. A hybrid system for groundwater denitrification using electrocoagulation and adsorption. *Journal of Environmental Management* 2019;109355.
- [7] de Carvalho H.P, Huang J, Zhao M, Liu G, Dong L, Liu X. Improvement of Methylene Blue removal by electrocoagulation/banana peel adsorption coupling in a batch system. *Alexandria Engineering Journal* 2015;777-786.

- [8] Chang S-H, Wang K-S, Liang H-H, Chen H-Y, Li H-C, Penga T-H, Su Y-C, Chang C-Y. Treatment of Reactive Black 5 by combined electrocoagulation–granular activated carbon adsorption–microwave regeneration process. *Journal of Hazardous Materials* 2010;850-857.
- [9] Kim T.H, Park C, Shin E.B, Kim S. Decolorization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. *Desalination* 2002;150:165-175.
- [10] Somayajula A, Asaithambi P, Modepalli S, Matheswaran M. Sonoelectrochemical oxidation for decolorization of Reactive Red 195. *Ultrasonics Sonochemistry* 2012;208-211.
- [11] Khandegar V, Saroha A.K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – A review. *Journal of Environmental Management* 2013;128:949-963.
- [12] Avsar Y, Kurt U, Gonullu T. Comparison of classical chemical and electrochemical processes for treating rose processing wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 2007;340-345.
- [13] Grøterud O, Smoczyński L. Phosphorus removal from water by means of electrolysis. *Water Research* 1986;667-669.
- [14] Secula M.S, Cretescu I, Cagnon B, Manea L.R, Stan C.S, Breaban L.B. Fractional Factorial Design Study on the Performance of GAC-Enhanced Electrocoagulation Process Involved in Color Removal from Dye Solutions. *Materials* 2013;6:2723-2746.
- [15] Carvalho H.P, Huang J, Zhao M, Liu G, Dong L, Liu X. Improvement of Methylene Blue removal by electrocoagulation/banana peel adsorption coupling in a batch system. *Alexandria Engineering Journal* 2015;777-786.
- [16] Özyurt A. Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Elektrokoagülasyon ve Kimyasal Koagülasyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi; 2018.
- [17] Tünay O, Metin E, Kabdaşlı I, Ölmez-Hancı T. Elektrokoagülasyon prosesi ile üretilen arıtma çamurlarının reaktif boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılabilirliği. *İtü dergisi* 2010;49-56.
- [18] López A, Valero D, García-Cruz L, Sáez A, García-García V, Expósito E, Montiel V. Characterization of a new cartridge type electrocoagulation reactor (CTECR) using a three-dimensional steel wool anode. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 2017;93-98.
- [19] Wei M-C, Wang K-S, Huang C-L, Chiang C-W, Chang T-J, Lee S-S, Chang S-H. Improvement of textile dye removal by electrocoagulation with low-cost steel wool cathode reactor. *Chemical Engineering Journal* 2012;37-44.
- [20] Secula M.S, Cretescu I, Petrescu S. An experimental study of indigo carmine removal from aqueous solution by electrocoagulation. *Desalination* 2011;227-235.