
Araştırma Makalesi / Research Article

Elektrokoagülasyon ile Sulardan Renk Giderimine Elektrotlar Arası Mesafe ve Potansiyel Farkı Değişiminin Etkisi

Orhan Taner CAN^{1*}, Leyla GAZİGİL²

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa

²Bitlis Eren Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis
(ORCID: 0000-0003-3386-975X) (ORCID: 0000-0002-8798-8933)

Öz

Elektrokoagülasyon prosesi sulardan renk gideriminde ve özelliklede tekstil boya larının gideriminde oldukça etkili bir proses olarak kullanılmaktadır. Prosesin işletme parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olması prosesin avantajlı yönlerinden biridir. Bu parametreler akım yoğunluğu, karıştırma hızı, pH, iletkenlik, elektroliz süresi, elektrotlar arası mesafe gibi parametrelerdir. Bu çalışmada elektrotlar arası mesafe ve bununla değişen potansiyel farkı değişiminin renk giderme verimine etkisi incelendi. 100 mg/L konsantrasyona sahip boya çözeltisine 15 dakika boyunca 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 mm elektrotlar arası mesafeye sahip reaktör konfigürasyonlarında değişik şiddetlerde akım uygulandı. Uygulanan akım şiddetine bağlı olarak alüminyum iyonlarının çözünmesi ile hidroksil flokları oluşmaktadır. Böylelikle renk giderimi gerçekleşmektedir. Çalışma sonucunda renk gideriminin elektrotlar arası mesafenin sınırlayıcı bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkinin potansiyel fark üzerindeki etkisinin yüksek olmasından dolayı enerji tüketiminde yüksek artışlar meydana gelmiştir. Genel anlamda yüksek elektrotlar arası mesafe arıtma maliyetine olumsuz yansımaktadır.

Anahtar kelimeler: Elektrokoagülasyon, Elektrotlar Arası Mesafe, Potansiyel Farkı, Renk Giderimi.

The Effect of Distance Between Electrodes and Change of Potential Difference on Color Removal from Water by Electrocoagulation

Abstract

The electrocoagulation process is used as a very effective process for removal of color from the waters and in particular for the removal of textile dyes. The ease of operation of the process parameters is one of the advantages of the process. These parameters are parameters such as current density, mixing speed, pH, conductivity, electrolysis time and distance between electrodes. In this study, the effect of the distance between the electrodes and the change in the difference of the potential difference on the color removal efficiency was investigated. The reactor configurations with 10, 20, 30, 40, 50, 60, and 70 mm electrodes distance were applied to the dye solution with a concentration of 100 mg / L for 15 minutes at different intensities. According to the results of the study, the dissolution of aluminum ions and the formed aluminum hydroxyl flocks are effective in removing the paint from the water. While the effect of the distance between the electrodes on the color removal is limited, the effect on the potential difference change is quite large and the effect of this situation on the energy expenditure is very large. In general, the distance between high electrodes is negatively reflected in the cost of treatment.

Keywords: Electrocoagulation, Distance Between Electrodes, Potential Difference, Color Removal.

1. Giriş

Üretim aşamasında aşırı derecede su ve boya tüketimi yapmakta olan; gıda, tekstil, kozmetik, ilaç ve baskı endüstrinin atıksularında deşarj limitlerine uyulmadığı zaman dünya çapında önemli çevre

*Sorumlu yazar: orhan.can@btu.edu.tr

Geliş Tarihi: 17.03.2019, Kabul Tarihi: 26.07.2019

Bu araştırmanın ön çalışmaları "Uluslararası Su ve Çevre Kongresi SUÇEV (22-24 Mart 2018) Bursa/Türkiye" uluslararası konferansta sözlü olarak sunulmuştur.

sorunlarına sebep olacak tehlikeli renk bileşiklerini içermektedir [1]. Özellikle tekstil endüstrisi boyama, merserize etme, ağartma, terbiye ve baskı gibi çeşitli ünitelerinde yüksek su tüketimi nedeniyle atıksu üretimi oldukça fazladır [2]. Bu atıksuların renk, yüzey aktif ve organik madde içeriği yüksektir [3]. Bundan dolayı yüksek dirençli ve kompleks tekstil atıksularının alıcı ortama verilmeden veya yeniden kullanılmadan önce arıtılması gerekmektedir [4].

Tekstil atıksularından kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk ve diğer kirletici maddelerin uzaklaştırılması için literatürde çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler araştırılmaktadır [5]. Yapılan çalışmalar içerisinde; biyolojik oksidasyon, klorlama, elektrokoagülasyon, kimyasal koagülasyon, kimyasal oksidasyon, kimyasal çöktürme, adsorbsiyon ve membran proseslerin arıtım verimleri yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. Biyolojik arıtımla azo, antrakinin ve indigo gibi sentetik boyarmaddelerin kısmi bozunması ve parçalanması gerçekleşmediği gibi toksik ve zararlı maddelerin oluşumu gözlemlendiği için tercih edilmemektedir [6]. Boyar maddelerin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için tekstil atıksularının arıtımında elektrokoagülasyon (EK) prosesi etkili bir şekilde kullanılmaktadır. EK prosesinin genel mekanizması ise elektrik akımı yardımıyla anot elektrotunun çözünmesiyle ortama verilen metal hidroksit floklarının oluşturulması ile kirleticilerin parçalanarak zararsız formlara dönüştürülerek giderildiği yöntemdir [8]. Boyalar da dahil olmak üzere farklı kirletici türlerini yok etmek için kullanılan bu yöntem çok küçük taneciklerin uzaklaştırabilmesi, az çamur üretme, biyolojik olarak bozulmayan organik maddelerin giderebilmesi veya biyolojik arıtmaya hazır hale getirebilmesi, sürekli pH kontrolüne ihtiyaç duymaması [7], işletme kolaylığı, basit kurulum ve ekipman gereksinimi, güvenilir, uygun maliyetli ve çevre dostu bir arıtım yöntemi olmasından dolayı tercih edilebilirliğini arttırmaktadır [3]. Bunlara ek olarak; otomatik kontrole yakınlık, etkin enerji kullanımı, ortama minimum miktarda iyon salınımı gibi avantajları elektrokoagülasyon yöntemini son yıllarda önem kazanan bir yöntem haline getirmiştir [6]. Süreç içerisinde anot ve katot üzerinde gerçekleşen reaksiyonlar;

Anot reaksiyonu;

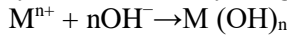


Katot reaksiyonu;



şeklinde. M anot ve n oksidasyon veya indirgeme reaksiyonu içindeki stokiyometrik elektron sayısı olarak ifade edilir.

Çözünebilir metal iyonları (Fe veya Al) anotta oluşturulur ve katotta oluşturulan hidroksit iyonları ile reaksiyona girer [9]. Metal hidroksitler aşağıda gösterildiği gibi üretilir:

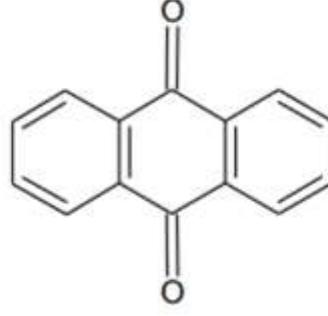


Bu çalışmanın amacı elektrokoagülasyon ile sulardan renk (tekstil boyar maddesi) giderimine anot-katot arası mesafenin ve potansiyel farkındaki değişimin proses verimini ne şekilde etkilediğini araştırmaktır. Bu amaçla aynı deney şartlarında yapılan çalışmada, tekstil boyar maddesinden hazırlanan boya-su çözeltisine 15 dakika boyunca farklı anot katot mesafesine sahip reaktör konfigürasyonlarında denenmiş ve farklı şiddetlerde akım uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneylerde Levafix brilliant blue E-FFN(Reaktif blue 181) reaktif tekstil boyası kullanılmış olup, Levafix brilliant blue E-FFN azo boyalardan sonra ikinci önemli kromofor gurubu olan antrakinin boya grubunda olarak bilinmektedir. Antrakinin reaktif boya gruplarının özellikleri; yüksek ışık dayanımı, parlak mavi renkler, açık lacivert, yüksek ağartma dayanımı ve çok iyi yıkama dayanımı olan boya çeşididir [10]. Antrakinin, azo ve indigo çekirdeğine sahip sentetik boyalar mikrobiyal parçalanmaya dirençli olduklarından konvansiyonel yöntemlerle ayrıştırılamamaktadır. Antrakinin'a ait kimyasal yapı Şekil 1'de görülmektedir. Çalışmada kullanılan tekstil boyasına ait diğer özellikler ise Tablo 1. de verilmiştir.



Şekil 1. Antrakinin kromofor grup.

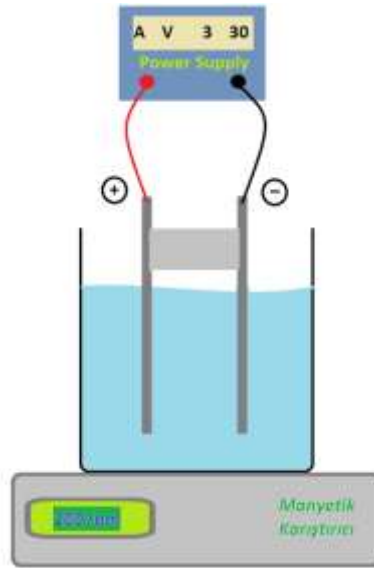
Tablo 1. Levafix brilliant blue E-FFN genel özellikleri.

Ticari İsim	Color (Renk) Index İsmi	Kromofor Grup	Reaktif Grup
Levafix brilliant blue E-FFN	Reactive Blue 181	Antrakinin	MFTc
c: Monoflorotriazin			

Çözeltide Merck marka NaCl kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada % 99.53 saflıkta alüminyum elektrotlar kullanılmıştır.

2.2. Metot

Deneylerde Şekil 2’de şematik olarak gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Reaktörde 200*60*2 mm boyutlarında 2 alüminyum elektrot kullanılarak elektrotlar arası mesafe deneyleri 10 ile 70 mm arasında 10 mm artırılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde başlangıç pH’ sı 7,0 olarak ayarlanmış ve her deneyin sonunda son pH değeri ölçülmüştür. Reaktörde kullanılan elektrotların batık aktif yüzey boyutları 60*67 mm olup toplam aktif alan 40 cm² dir. 1 L hacme sahip payrex malzemeden yapılmış reaktörde, akım Agilent marka programlanabilir (Agilent U8002A 0-30V / 0-5A) dijital (D.C.) doğru akım güç kaynağı ile sağlanmıştır. Deneyler 0.2 – 0.4 – 0.6 – 0.8 – 1.0 amper gibi değişen akım şiddetlerinde yürütülmüş olup, çözeltide iletkenliği sağlaması için 500 mg (1000 mg/L) NaCl elektrolit olarak eklenmiştir. Reaktörde homojeniteyi sağlamak için 100 rpm hızında karıştırma yapılmıştır. Deney süresi sonunda reaktörden alınan numuneler kaba filtreden geçirilerek UV-Spektrofotometrede boyanın maksimum pik verdiği kendi dalga boyunda analiz edilmiştir. Her deney sonunda absorbans değerleri Thermo Scientific Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Reaktörde her bir deney için stok çözeltisinde 500 mL alınmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

$$\text{Giderim (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100. \quad (1)$$

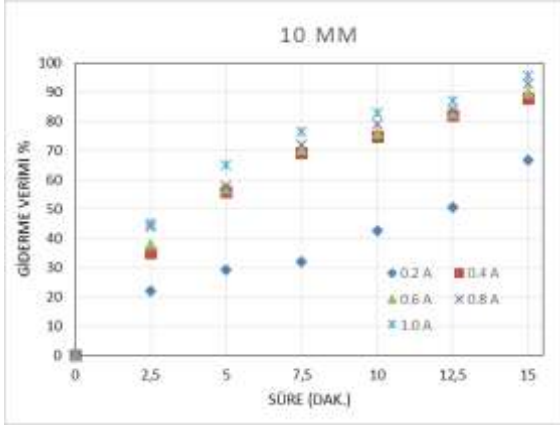
Burada, C_0 : boya başlangıç konsantrasyonu (mg/L), C_t : t anındaki boya konsantrasyonu (mg/L)'nu ifade etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

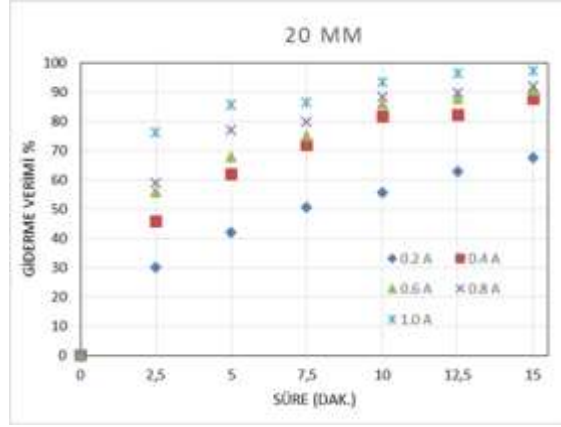
Bu çalışmada elektrokoagülasyon prosesinde verimi etkileyen önemli parametrelerden biri olan elektrotlar arasındaki mesafe incelenmiştir. Bu mesafenin antrakinin boya grubu içerisinde yer alan Levafix brilliant blue E-FFN (Reaktif blue 181) boyası üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elektrotlar arasındaki mesafenin giderim verimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışma 10 mm başlayıp 10 ar 10 ar artırılarak 70 mm'ye kadar elektrotlar arası mesafelerde ve 0,2 amperden başlayıp 1 ampere kadar 5 farklı akım şiddetinde gerçekleştirilmiştir.

Renk giderim verimleri ve elektrotlar arası mesafe (10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 mm) arasındaki ilişkiyi zamana bağlı olan grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir. Elektrotlar arasındaki mesafeler artıkça potansiyel farkın artmasına neden olur buda elektrotlar arası iç direnci artırmaktadır [9], [11]. Elektrotlar arasındaki mesafenin küçük olması halin de anot ve katot arasında katı madde ve kabarcık birikimine sebep olmaktadır [12], [13]. Bunun için uygun elektrotlar arası mesafenin doğru olarak tespit edilmesi önem arz etmektedir.

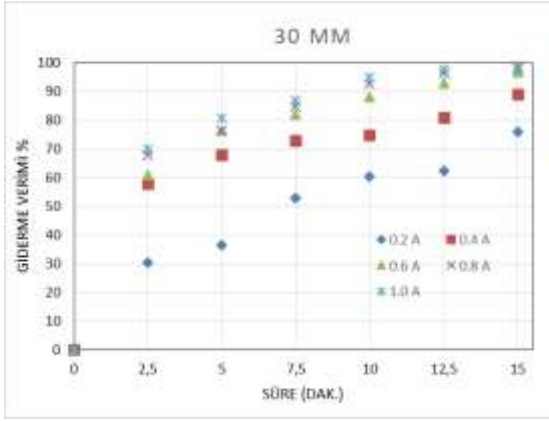
Şekil 3 (a)'da elektrotlar arasındaki mesafe 10mm'de iken gerçekleştirilen farklı akım değerlerindeki deneye ait zaman giderim verimi yer almaktadır. 15 dakikanın sonunda en düşük giderim verimi %66,89 ile 0,2 amperden gözlenirken en yüksek giderim verimi ise %95,65 ile 1 amper akımda gerçekleştiği gözlenmiştir. Şekil 3(b)'de elektrotlar arası mesafenin 20 mm olduğu deney düzeneğinin sonuçları verilmiştir. Bu deneyde en iyi verim %97,46 ile 1 amper akımda görülürken, en düşük verimin ise %67,63 ile 0,2 amperde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3 (c) de ise 30mm de yapılan çalışmanın grafiği mevcuttur. Bu çalışmada 1 amper akım şiddetinde yapılan deneylerde neredeyse %100'lük giderim verimi yakalanmışken en düşük giderim verimi ise %76,14 ile 0,2 amperde olduğu belirlenmiştir. Şekil 3 (d) de elektrotlar arası mesafe 40mm ayarlanarak yürütülen deneylerde minimum verim 0,2 amperde %68 olurken maksimum verimin ise 1 amperde %97 olduğu gözlenmiştir. Elektrotlar arasında ki mesafenin 50 mm ayarlanarak yürütülen Şekil 3 (e) deneylerinde en iyi giderim veriminin % 98,96 ile 1 amperde ve en düşük giderim veriminin %65,49 ile 0,2 amperde olduğu tespit edilmiştir. 60 mm'lik elektrotlar arasındaki mesafe ile yapılan çalışmada maksimum ve minimum giderim verim değeri sırası ile %73 (0,2 amper) ve %99,65 (1 amper) olduğu ortaya konulan Şekil 3(f) grafiğinde görülmektedir. Şekil 3(g)'de elektrotlar arasındaki mesafe 70 mm olarak yapılmıştır. En iyi giderim verimi diğer deneylerde olduğu gibi 1 amper akım altında yapılan çalışmada %96,95 ve en düşük giderim verimi ise %66,9 ile 0,2 amperde tespit edilmiştir. Grafiklere genel olarak bakıldığı zaman elektrotlar arasındaki mesafe artıkça özellikle 30 mm den sonra giderim veriminde düşüş meydana gelmiştir. Bunun temel sebebinin artan mesafe ile hidroksil polimerler ile iyonların daha az etkileşimi olduğu düşünülmektedir [14]. En iyi giderim veriminin bütün akımlar için 30mm olduğu tespit edilmiştir. Mesafe 30 mm'den 70 mm'ye çıkarıldığı zaman aşırı derecede büyük olmasa da giderim veriminin %2 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.



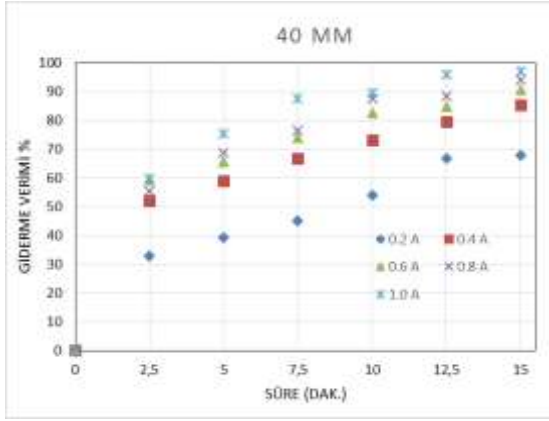
(a)



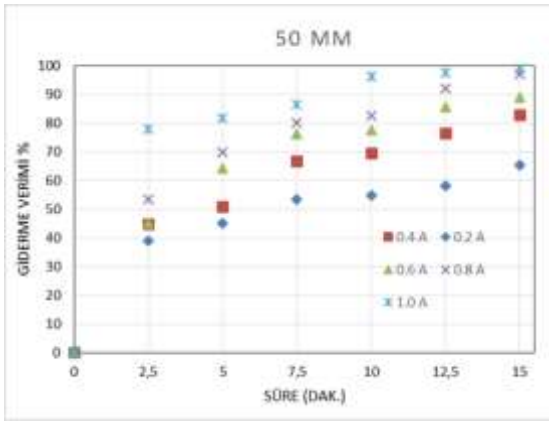
(b)



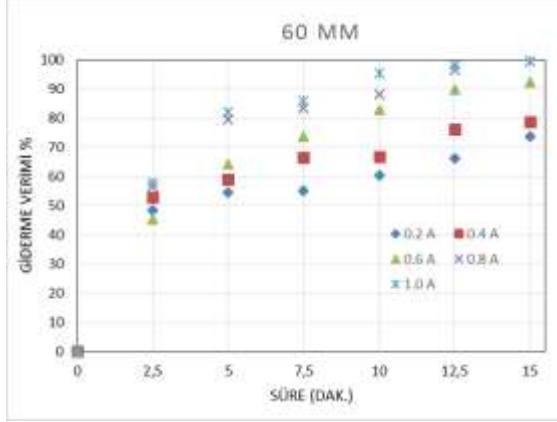
(c)



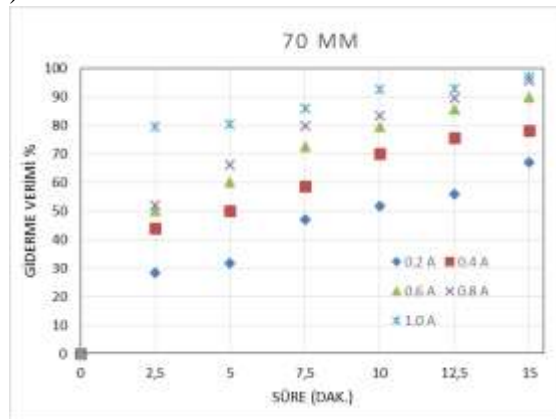
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 3. Renk giderme verimleri (a) 10 mm (b) 20 mm (c) 30 mm (d) 40 mm (e) 50 mm (f) 60 mm (g) 70 mm

Elektrokoagülasyonda, ohm potansiyeli düşüşü elektrotlar arasındaki mesafeyle orantılıdır. Bu nedenle, elektrotların uzaklığı arttığında, özellikle iletkenlik düşük olduğunda elektroliz enerji tüketimi artacaktır [15]. Elektrot mesafesinin elektrostatik etkilerine bağlı olarak boya gideriminde hafif azalma ve elektrot mesafesindeki artışlarla birlikte enerji tüketiminde de artışlar olabilir. Elektrotların uzaklığı arttıkça, Al^{3+} ve Fe^{3+} hidroksitlerin hareketi daha yavaş olur ve boya molekülleri ile karıştırılma ihtimali daha düşük olur ve elektrotların yakınında çökebilir [16]. Anot ve katot arasındaki mesafe artırıldığı zaman potansiyel farkın arttığı [9] Tablo 2'den anlaşılmaktadır. Bu durum elektrokoagülasyon da tüketilen enerji miktarını artırdığından dolayı istenmeyen bir durumdur.

Tablo 2. Elektrotlar arası mesafeye bağlı boya giderim verimi ve potansiyel fark değişimi

Süre (dak)	Akım (A)		Elektrotlar Arası Mesafe (mm)						
			10	20	30	40	50	60	70
0-15 (Ortalama)	0,2	Elektrotlar Arası Potansiyel Farkı (V)	3,6	6,2	7,02	9,13	10,05	12,48	13,94
	0,4		6,15	10,25	12,17	17,23	19,41	23,43	25,85
	0,6		8,48	14,53	17,5	25,99	27,03	33,79	35,76
	0,8		10,07	17,83	23	31,33	33,4	40,03	45,15
	1,0		12,5	20,45	26,37	35,17	41,83	50,48	52,5
2,5	0,2		22,0	30,2	30,4	32,7	38,9	48,6	28,3
	0,4		35,0	46,0	58,0	52,0	44,8	52,9	43,9
	0,6		38,0	56,0	61,0	59,2	45,2	45,5	50,0
	0,8		44,0	59,0	68,0	55,4	53,3	56,6	52,1
	1,0		45,0	76,3	70,0	59,8	77,9	58,0	79,6
5	0,2		29,3	42,1	36,4	39,2	45,2	54,7	31,8
	0,4		55,8	62,0	67,9	59,0	51,0	59,0	49,9
	0,6		57,0	68,0	76,5	65,8	64,3	64,2	60,0
	0,8		58,0	77,0	76,3	68,6	70,0	79,6	66,1
	1,0		65,0	85,7	80,7	75,4	81,8	82,0	80,4
7,5	0,2		32,2	50,8	52,9	45,1	53,4	55,1	47,0
	0,4		69,4	72,0	73,1	66,9	66,8	66,5	58,7
	0,6		70,5	75,0	82,1	74,0	76,1	73,7	72,5
	0,8		72,0	80,0	85,0	76,6	80,3	83,4	79,9
	1,0		76,6	86,5	87,0	87,6	86,7	86,0	85,9
10	0,2	Giderme verimleri %	42,5	55,1	60,4	53,9	54,9	60,4	51,9
	0,4		74,8	81,7	75,0	73,3	69,6	66,7	70,2
	0,6		76,0	86,0	88,3	82,7	77,5	83,0	79,5
	0,8		79,0	88,5	92,8	87,6	82,8	88,1	83,5
	1,0		83,0	93,4	95,1	89,6	96,3	95,6	92,7
12,5	0,2		50,6	62,8	62,3	66,7	58,3	66,1	55,9
	0,4		82,0	82,3	81,0	79,5	76,5	76,1	75,6
	0,6		83,0	88,0	93,1	85,0	85,8	89,9	85,5
	0,8		84,1	90,0	96,4	88,6	92,0	96,5	89,6
	1,0		87,0	96,7	97,9	96,0	97,6	98,2	92,9
15	0,2		66,9	67,6	76,1	68,0	65,5	73,7	66,9
	0,4		88,0	88,0	89,0	85,6	82,8	78,7	78,2
	0,6		90,0	90,6	97,0	90,8	89,1	92,3	89,8
	0,8		93,0	92,0	98,0	94,0	97,0	99,5	95,7
	1,0		95,7	97,5	99,3	97,0	99,0	99,7	97,0

4. Sonuç ve Öneriler

Anot ve katot elektrotlarında alüminyum elektrotu kullanılarak yapılan bu çalışma da elektrotlar arası mesafenin giderim verimi ve potansiyel fark üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Günümüzdeki elektrotlar arasındaki mesafe ile yapılan birçok çalışma gibi bu çalışmada mesafenin artmasıyla beraber giderim veriminin düştüğü buna bağlı olarak potansiyel farkın arttığı deney sonuçları ile orta konmuştur. Elektrotlar arası mesafeler arttıkça sisteme uygulanan potansiyel fark artmakta, potansiyel farkın artması da enerji tüketimini artırmaktadır. Ayrıca, elektrotlar arasındaki mesafenin ve elektrik direncinin

azalmasına bağlı olarak sabit bir elektrik akımı elde etmek için voltaj düşmüştür. Buna bağlı olarak toplam enerji tüketimi azalmıştır. Uygun mesafenin tespit edilmesi ile elektrokoagülasyon prosesi daha yüksek giderim verimine ulaşması sağlanmıştır. Boyanın sulardan uzaklaştırılmasında temel olarak uygulanan akım şiddetine bağlı olarak çözünen alüminyum iyonları ve oluşan alüminyum hidroksil flokları etkin olmaktadır. Elektrotlar arası mesafenin renk giderimi üzerindeki etkisi sınır olurken, potansiyel farkı değişimine etkisi oldukça büyük olmakta ve bu durumun enerji harcamasına etkisi çok büyük olmaktadır. Genel anlamda yüksek elektrotlar arası mesafe artırma maliyetine olumsuz yansımaktadır.

Kaynaklar

- [1] Basturk E., Karatas M. 2014. Advanced oxidation of Reactive Blue 181 solution: A comparison between Fenton and Sono-Fenton Process. *Ultrason Sonochem.*, 21 (5): 1881–1885.
- [2] Samir A., Chelliapan S., Zakaria Z., Ajeel M. 2017. A review of electrocoagulation technology for the treatment of textile wastewater. *Reviews in Chemical Engineering*, 33 (3): 263-292.
- [3] Aygün A., Eren B. 2017. Elektrokoagülasyon Yöntemiyle Reaktif Yellow 160 Boyar Maddesinin Giderimi. *Acad. Platform-Journal Eng. Sci.*, 3: 10–18.
- [4] Asghari A., Kamalabadi M., Farzinia H. 2012. Electrochemical Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions Using Taguchi Experimental Design. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 26 (2): 145–154.
- [5] Kaur P., Kushwaha J.P., Sangal V.K. 2017. Evaluation and disposability study of actual textile wastewater treatment by electro-oxidation method using Ti/RuO₂ anode. *Process Saf. Environ. Prot.*, 11 (1):13–22.
- [6] Demirci Y., Pekel L.C., Altınten A., Alpbaz M. 2016. Elektrokoagülasyon reaktöründe bulanık kontrol metodu ile pH, iletkenlik ve sıcaklığın eş zamanlı kontrolü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, 31 (4): 987-996.
- [7] Solak M., Pakdil N.B., Kiliç M., Kobya M. 2017. Elektrokoagülasyon Prosesi ile Patates Cipsi Üretim Atıksularından Fosfor Giderimi : Elektrot Materyali Karşılaştırması. *Sak. Univ. J. Sci.*, 22 (2): 302–313.
- [8] Riyanto Puspitasari E. 2017. Treatment of wastewater batik by electrochemical coagulation using aluminium (Al) electrodes. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, doi:10.1088/1757-899X/299/1/012081
- [9] Naje A.S., Chelliapan S., Zakaria Z., Abbas S.A. 2015. Treatment performance of textile wastewater using electrocoagulation (EC) process under combined electrical connection of electrodes. *Int. J. Electrochem. Sci.*,10 (7): 5924–594.
- [10] Özgüney A.T., Özkaya K., Özerdem A. 2007. Reaktif Boyalı Örgü Kumaşların Parça Baskıdaki Isıl İşlem Sonrasında Renk Değiştirme Eğilimlerinin İncelenmesi. *3.Tekstil ve Konfeksiyon*, 192–199.
- [11] Khorram A.G., Fallah N. 2018. Comparison of sludge settling velocity and filtration time after electrocoagulation process in treating industrial textile dyeing wastewater: RSM optimization, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 16 (7): 1–10.
- [12] Ozay Y., Ünşar K. E., Işık Z., Yılmaz F., Dizge N., Perendeci A.N., Mazmanci M.A., Yalvac M. 2018. Optimization of electrocoagulation process and combination of anaerobic digestion for the treatment of pistachio processing wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 196: 42–50.
- [13] Safwat S.M., Hamed A., Rozaik E. 2019. Electrocoagulation/electroflotation of real printing wastewater using copper electrodes: A comparative study with aluminum electrodes. *Sep. Sci. Technol.*, 54 (1): 183–194.
- [14] Daneshvar N., Ashassi-Sorkhabi H., Tizpar A. 2003. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. *Sep. Purif. Technol*, 31 (2): 153–162.
- [15] Thirugnanasambandham K., Shine K. 2018. Investigation on the Removal of Chromium from Wastewater using Electrocoagulation. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 16 (5): 1–10.
- [16] Alizadeh M., Ghahramani E., Zarrabi M., Hashemi S. 2015. Efficient de-colorization of methylene blue by electro-coagulation method: Comparison of iron and aluminum electrode, Iran. *J. Chem. Chem. Eng.*, 34 (1): 39-47.