

## Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Direct Red 23 Boyar Maddesinin Gideriminin İncelenmesi

Serkan BAYAR<sup>1</sup> Recep BONCUKCUOĞLU<sup>1</sup> Baybars Ali FİL<sup>1</sup> Alper Erdem YILMAZ<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, sentetik olarak hazırlanan Direct Red 23 boyar maddesinin sulu ortamdan elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak giderimi çalışılmıştır. Alüminyum elektrotların kullanıldığı çalışmada, başlangıç çözelti pH'sı, karıştırma hızı ve destek elektrolit türünün renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Denemeler süresince akım yoğunluğu 0.1 mA cm<sup>-2</sup> ve sıcaklık 20 °C' de sabit tutulmuştur. Elektrotlar arası mesafe 0.5 cm olarak belirlenmiştir. Renk giderme verimi üzerine çözeltinin başlangıç pH'sının çok etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek renk giderim verimi başlangıç çözelti pH'sı 5, 150 devir dakika<sup>-1</sup>'lık karıştırma hızı ve 5 mMolar NaCl tuzunun kullanıldığı denemede 30 dakika deney süresi sonunda % 98 olarak gerçekleşmiştir. Yapılan deneylerde destek elektrolit türünün renk giderim verimine etkili bir parametre olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Direct Red 23 boyar maddesi içeren atıksuların arıtımında alüminyum elektrot içeren elektrokoagülasyon prosesinin uygulanabileceği görüşüne varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Elektrokoagülasyon, renk giderimi, direct red 23



## Investigation of the Removal of Direct Red 23 by Electrocoagulation Method

**ABSTRACT:** In this study, the removal of Direct Red 23 from water was tried by electrocoagulation. Aluminum electrodes were used, and initial pH, stirring speed and supporting electrolyte type were examined during color removal. During the experiment, current density (0.1 mA cm<sup>-2</sup>) and the temperature (20 °C) were kept constant. The distance between the electrodes was determined as 0.5 cm. The initial pH of the solution on the color removal efficiency was observed to be a very effective parameter. The highest color removal efficiency was achieved to %98 under optimal conditions e.g. pH 5, 150 rpm stirring speed and 5 mmol NaCl supporting electrolyte concentration. It was observed that supporting electrolyte type was not an effective parameter. It was seen that electrocoagulation which uses aluminum electrodes, can be applied to the treatment of wastewater containing Direct Red 23 dye.

**Keywords:** Electrocoagulation, color removal, direct red 23

## GİRİŞ

Boylar, tekstil, boya ve vernik, mürekkep, plastikler, kağıt hamuru ve kağıt, kozmetikler, tabakhaneler vb. gibi proseslerin aynı zamanda boya üreten endüstrilerin de en önemli atıksu bileşenleridir. Boyaların bir bölümü inert yapıda oldukları için toksik değildirler, sadece alıcı ortamda istenmeyen renk oluşumuna neden olurlar. Ancak bazı boya maddeleri yüksek miktarda toksik metal kompleksleri içerdiklerinden ve kolay parçalanamaz yapıda olduklarından alıcı ortamdaki sucül yaşam için tehlike oluştururlar (Wu et al., 2001).

Atıksulardan boya giderimi için adsorpsiyon (Akbal, 2005), UV (Arslan ve ark., 2008), fotodegradasyon (Catanho et al., 2006), kimyasal oksidasyon (Rajkumar and Kim, 2006), elektrokimyasal oksidasyon (Fernandes et al., 2004;), biyolojik prosesler (Işık and Sponza, 2006) kullanılabilir. Bu proseslerin bazıları maliyet açısından uygun değildir ya da istenilen çıkış suyu kalitesini verememektedir. Bu nedenle son zamanlarda elektrokimyasal yöntemler bu alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Bu atık suyun arıtımı için seçilmiş olan elektrokoagülasyon yöntemi son on yılda gelişmiş ülkelerde endüstriyel atık suların arıtımı için gittikçe artarak kullanılmaya başlanmış olan bir yöntemdir. Basit ve etkili bir yöntem olmasının yanı sıra ayrıca kimyasal madde ilavesi söz konusu olmadığından ikincil kirlilik problemi ile karşılaşmaz, basit ekipman, daha az iş gücü ve daha küçük alanlarda uygulanabilir. Ülkemizde ise bu prosesin uygulanabilmesi için en önemli sorun elektrik pahalılığı için elektrik sarfiyatı nedeniyle ortaya çıkan maliyetlerdir. Elektrokoagülasyon yöntemi tekstil atık sularının dışında tavuk sanayi atıksularında, restoran atık sularında, arsenik gideriminde, ağır metal gideriminde başarı ile uygulanmaktadır (Mollah et al., 2004; Bayar et al., 2011).

Elektrokoagülasyon yönteminde elektrot hidroliz reaksiyonları sonucu oluşan metal hidroksit floklarını sayesinde kısmi oksidasyon, koagülasyon, adsorpsiyon, çökeltme ve flotasyon işlemleri eşzamanlı olarak gerçekleşerek renk, bulanıklılık ve KOİ giderimi sağlanmaktadır. Elektrokoagülasyon; çözünebilir ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal bir elektrodun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir. Elektrokoagülasyon kullanılan elektrot malzemesinin elektriksel olarak çözünmesiyle koagülantların oluşturulması prensibine dayanır. Elektrot malzemesi olarak temini kolay ve ucuz olan demir ve alüminyum en çok tercih edilen malzemelerdir. Elektrokoagülasyon ile kimyasal koagülasyon arasındaki fark alüminyum veya demirin orta-

ma ilave edilme şeklidir (Donini et al., 1994). Elektrokoagülasyonda, pıhtılaştırma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir (Koparal ve ark., 1999). Elektrokoagülasyon; kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektiriksel yüklerden etkilenmesi prensibine dayanır.

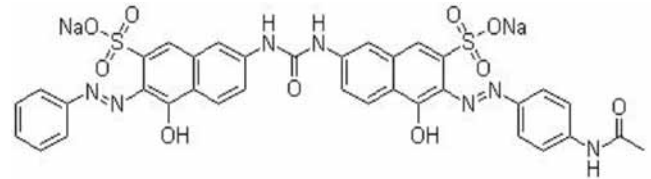
## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

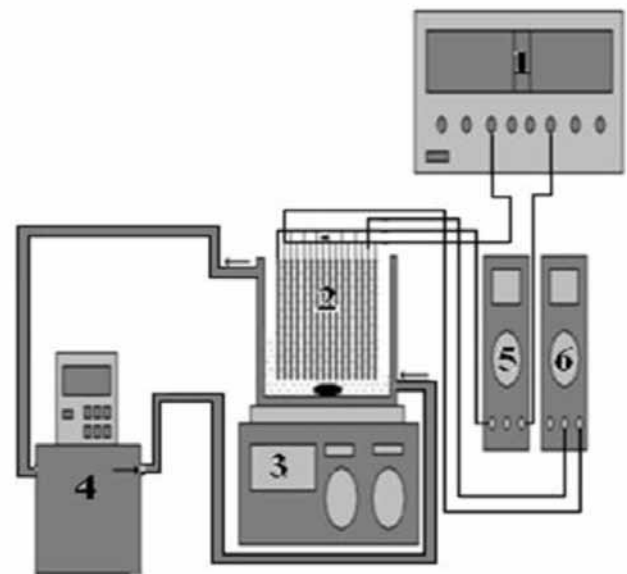
Bu çalışmada ticari olarak kullanılan bir boya çözeltilisinin (Direct Red 23), elektrokoagülasyonla arıtımı ele alınmıştır. Aşağıda sentetik olarak hazırlanan Direct Red 23 boyar maddesinin özellikleri (Çizelge 1) ve moleküler yapısı (Şekil 1) verilmiştir.

Çizelge 1. Direct Red 23 boyar maddesinin özellikleri

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| <b>Molekül Formülü</b>    | $C_{35}H_{25}N_7Na_2O_{10}S_2$ |
| <b>Molekül Ağırlığı</b>   | 813.72 g mol <sup>-1</sup>     |
| <b>CAS Sicil Numarası</b> | 3441-14-3                      |



Şekil 1. Direct Red 23 Boyar maddesinin kimyasal yapısı.

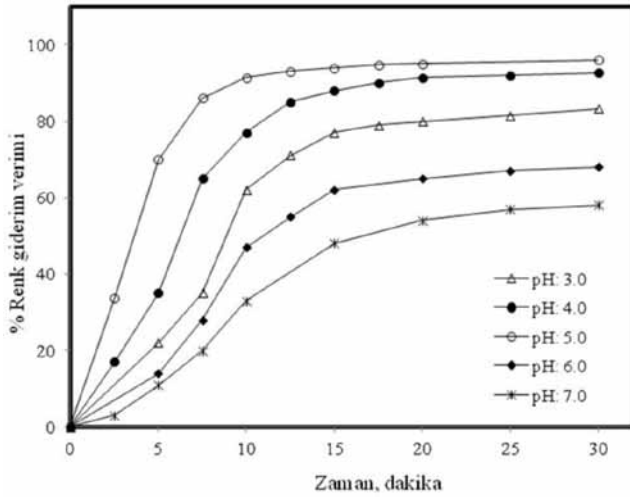


Şekil 2. Deney Düzenegi (1- DC Güç Kaynağı, 2- Elektrokoagülasyon ünitesi, 3- Magnetik karıştırıcı, 4- Sirkülatör, 5- Voltmetre, 6- Ampermetre).

**Deney Düzenegi:** Elektrokoagülasyon deneyleri Şekil 2’de gösterilen deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Akım ve voltaj kontrolü dijital bir güç kaynağı (Topward Dual-Tracking DC Power Supply model, 0-30 V, 0-6 A) ile sağlanmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

**Başlangıç Çözelti pH’sının Boyar Madde Giderimi Üzerine Etkisi:** Elektrokoagülasyonda en önemli proses parametrelerinden birisi başlangıç çözelti pH’sıdır (Adhoum and Monser, 2004). Çözelti pH’sı oluşan hidroksit türlerinin kararlılığını etkilediğinden boyar maddenin giderim verimi üzerine etkisi olumlu ya da olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Anot ve katot reaksiyonlarının sulu çözelti içerisindeki reaksiyonları sonucu çözeltinin pH değerinde değişimler olmaktadır.

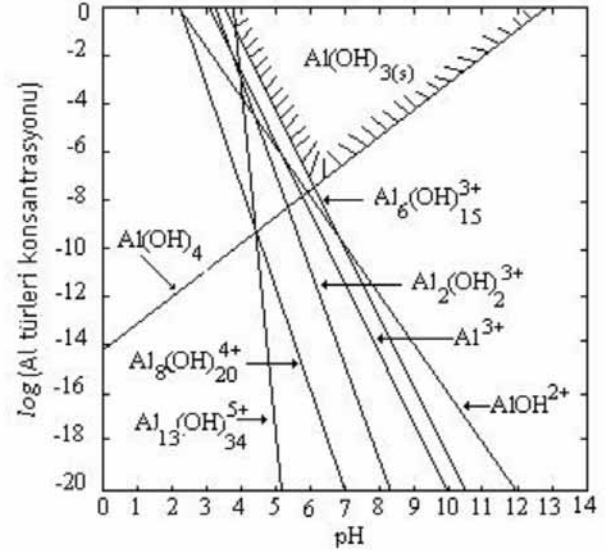


**Şekil 3.** Başlangıç çözelti pH değerinin renk giderim verimine etkisi (Akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$ , karıştırma hızı  $150 \text{ devir dakika}^{-1}$ , boya konsantrasyonu  $500 \text{ mg L}^{-1}$  sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Bundan dolayıdır ki, çözelti pH’sına bağlı olarak elektrolitik olarak çözünen metal iyonları ( $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  gibi) farklı pH değerlerinde farklı metal hidroksit türleri oluştururlar (Mollah et al., 2001). Ayrıca, pH’daki değişim partiküllerin yüzey yükünü değiştirmekte ve bu da çözelti içerisinde dağılmış halde bulunan organik maddelerin giderimini etkilemektedir.

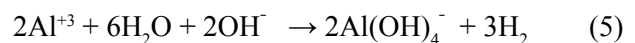
Alüminyum elektrot kullanıldığında atıksuyun başlangıç pH’sının boyar madde giderim verimi üzerine etkisini incelemek amacı ile çözeltinin başlangıç pH’sı 3.0 ile 7.0 aralığında değişen başlangıç pH değerlerine nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) ve sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) kullanılarak ayarlanmış ve reaksiyon süresince pH değerlerine müdahale edilmeden denemeler yapılmıştır. Başlangıç boyar madde konsantrasyonu  $500 \text{ mg L}^{-1}$  olarak be-

lirlenmiştir. Denemeler süresince akım doğru akım güç kaynağı kullanılarak  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$  sabit akım yoğunluğunda, karıştırma hızı  $150 \text{ devir dakika}^{-1}$ ’da ve sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 3’de grafiksel olarak gösterilmiştir. 3-7 arasında değişen başlangıç pH değerlerinde 30 dakikalık bekleme süresi (t) sonunda elde edilen renk giderim verimleri ( $\eta$ ) sırasıyla % 83.2, % 92.7, % 96, % 68, % 58’dir.

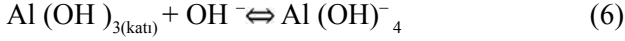


**Şekil 4.** Alüminyumun ortam pH’sına bağlı olarak aktivite diyagramı (Jiang et al., 2002).

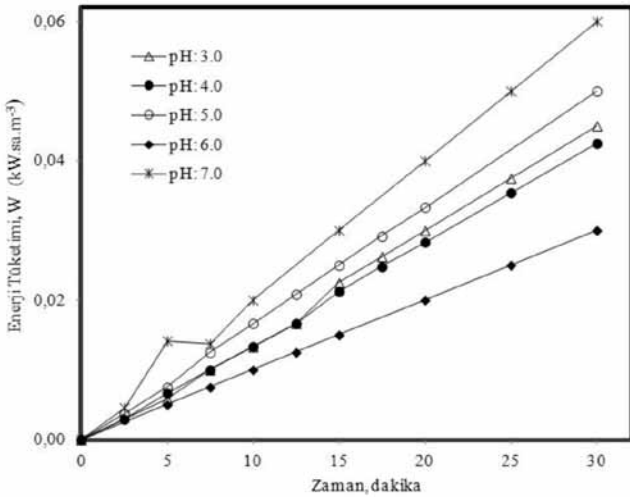
Alüminyum elektrot ile elektrokoagülasyon prosesinde  $\text{Al}^{+3}$ ’ün hidrolizi ve bunun sonucunda çeşitli alüminyum hidroksit polimer kompleks ve çökeltileri meydana gelmektedir (Mollah et al., 2001). Katotta suyun indirgenmesi sonrası hidrojen oluşumu ve hidroksit birikmesi sonucu pH artmaktadır (Eşitlik 4). Yapılan deneylerde hızı farklılık göstermekle birlikte, çalışılan aralıkta çözeltinin pH’nın kademeli olarak yükseldiği görülmektedir. Sistemin bu davranışı daha önce yapılan çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Merzouk et al., 2009). Bunun sebebi katotta suyun indirgenmesi sonrası hidrojen gazı oluşumu ve hidroksit birikmesidir. Aşağıda anot ve katotta oluşabilecek reaksiyonlar verilmiştir.



$Al(OH)_{3(katı)}$  çok yüksek pH' larda amfoterik metal hidroksit özelliğinden dolayı mevcut  $OH^-$  iyonlarıyla reaksiyona girerek ortamın pH' sını düşürmektedir (Can et al., 2003).



Alüminyum hidroliz ürünlerinin dağılımları üzerine pH'nın etkisini daha iyi anlayabilmek için Şekil 4'de alüminyumun ortam pH'sına bağlı olarak çözünme diyagramı verilmiştir. Alüminyum elektrotlar kullanılarak elektrolizle üretilen alüminyum iyonları, pH'ya bağlı olarak monomerik ve polimerik alüminyum hidroksit kompleks türlerini oluşturur (Özyonar, 2007, Mollah et al., 2001). Şekil 4 incelendiğinde düşük pH'larda alüminyumun koagülasyon etkisi önemsiz olan  $Al^{+3}$  formunda olduğu, pH 5.0-7.5 arasında ise kirleticiler için etkin koagülantlar olan  $Al(OH)_3$ ,  $Al(OH)^{+2}$ ,  $Al_{17}(OH)_{32}^{+7}$  gibi monomerik ve polimerik alüminyum kompleksleri formunda olduğu görülmektedir. Daha yüksek pH değerlerinde  $Al(OH)_3$ 'ün çözünürlüğü artacak ve Eşitlik 5'deki reaksiyon ile atıksu arıtımında etkisiz olan çözülebilir  $Al(OH)_4^-$  formuna dönüşecektir (Zaied and Bellakhal, 2009). Dolayısıyla pH 5.0-7.5 aralığında ortamda yeterli yumaklaştırıcının bulunması ve pH'nın da alüminyumun en düşük çözünürlüğe sahip olduğu aralıkta olması sebebiyle en verimli arıtımın gerçekleştiği düşünülmektedir.



Şekil 5. Atıksu başlangıç pH'sının enerji tüketimi üzerine etkisi ( Akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$ , karıştırma hızı 150 devir dakika<sup>-1</sup>, boya konsantrasyonu  $500 \text{ mg L}^{-1}$  sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Elektrokoagülasyon çalışmalarında öncelikle giderme veriminin hızlı bir şekilde arttığı, daha sonra gerek arıtma süresinin gerekse enerji tüketiminin kademeleli olarak artmasına rağmen giderme veriminde bu para-

metrelerdeki artışa oranla daha düşük bir iyileşmenin görüldüğü arıtma periyodu göze çarpmaktadır (Şekil 3 ve 5). Bu genel bir eğilim olup (Koparal et al., 2008) sistem işletilirken bu periyot yani platonun oluşmaya başladığı zaman aralığı dikkate alınmalıdır. Arıtma tekniğinin uygulanabilirliğini belirleyen en önemli parametrelerden birisi belki de en önemlisi sistemin işletme maliyetidir. Bu sebeple sistemin maliyet avantajı sağlayabilmesi açısından bu kritik noktada işletilmesi gerekmektedir. Başlangıç çözelti pH'sının renk giderim verimine etkisinin incelendiği denemelerden elde edilen veriler yardımıyla, Eşitlik 7 kullanılarak enerji tüketimi değerleri hesaplanmıştır.

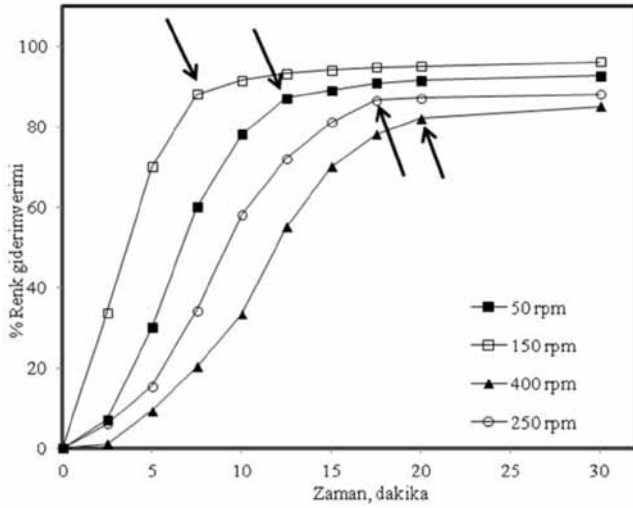
$$W = \frac{V \cdot I \cdot t}{V(Hacim)} \quad (7)$$

Burada, W enerji tüketim değerini ( $\text{kW sa m}^{-3}$ ), I uygulanan akım şiddetini (Amper), V sistemde oluşan potansiyel farkı (Volt), t zamanı ve v reaktördeki toplam çözelti hacmini göstermektedir.

Şekil 5'de  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$  akım yoğunluğunda pH=3-7 aralığında yapılan denemelerde sistemin harcadığı enerji tüketimleri (W) grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde 30 dakika sonunda en yüksek enerji tüketimi pH 5 ile gerçekleştirilen denemelerde gerçekleştiği görülmektedir. Ancak dengeye gelme süreleri dikkate alındığında en düşük enerji tüketimi pH 5 ile gerçekleştirilen denemelerde olduğu görülmektedir. Bu sebeple sistemin maliyet avantajı sağlayabilmesi açısından bu kritik noktada işletilmesi gerekmektedir.

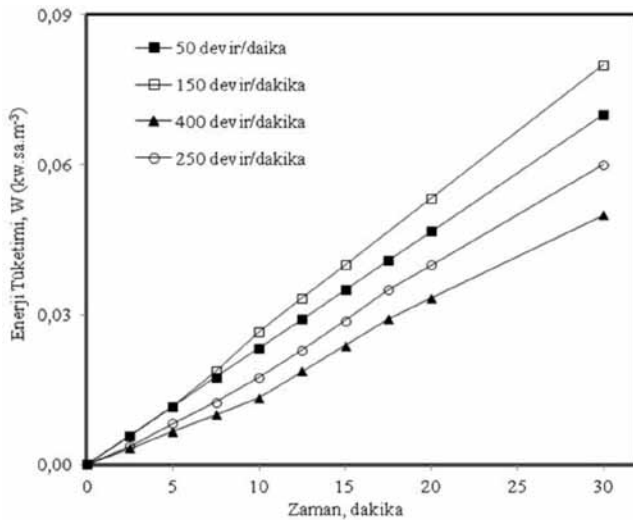
**Karıştırma Hızının Sistem Değişkenleri Üzerine Etkisi:** Karıştırma hızının ana fonksiyonu, elektrotların çözünmesi sayesinde oluşan yumaklaştırıcıların makul bir şekilde reaktöre dağılımını sağlamaktır. Etkin dağılımın sağlanamaması, reaktör içeriğinin homojen olmamasına ve bölgesel farklılıkların oluşmasına sebep olur. Ayrıca karıştırma sistem içerisinde sıcaklık, pH vb. sistem değişkenlerinin homojenize olmasını da sağlar (Bingöl, 2009).

Karıştırma hızının renk giderim verimleri üzerindeki etkisi 50, 150, 250 ve 400 devir dakika<sup>-1</sup>'lik karıştırma hızlarında incelenmiş olup, elde edilen veriler Şekil 6'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Denemeler en iyi renk gideriminin gerçekleştiği pH değeri 5.0'de yapılmıştır. Denemeler süresince akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$  ve sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de sabit tutulmuştur.



**Şekil 6.** Karıştırma hızının renk giderim verimi üzerine etkisi (Akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$ , pH 5.0 ve sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , boya konsantrasyonu  $500 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Şekil 6 incelendiğinde oklarla gösterilen noktalar sistemin dengeye gelme noktalarıdır. 50 ve 150 devir dakika<sup>-1</sup>lık karıştırma hızlarında elde edilen renk giderim verimlerinin birbirlerine çok yakın olduğu, ancak 50 devir dakika<sup>-1</sup>lık karıştırma hızında sistemin daha geç dengeye geldiği görülmektedir. Bu durumun karıştırma işlevini özellikle katottan yoğun bir şekilde çıkan hidrojen gazının yapması sebebiyle meydana geldiği düşünülmektedir. 250 ve 400 devir dakika<sup>-1</sup>lık karıştırma hızlarında ise renk giderim verimi belirgin bir şekilde düşmektedir. Bunun nedeni olarak yüksek karıştırma hızlarında yumak oluşturma eğiliminin azalması ve oluşan yumaklarında kesme kuvvetlerinin etkisiyle parçalanıp sudan zor ayrılan daha küçük yumaklar



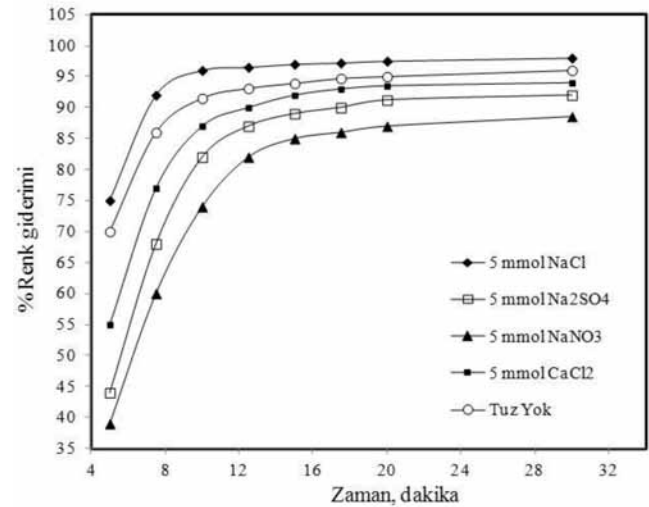
**Şekil 7.** Karıştırma hızının enerji tüketimi üzerine etkisi (Akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$ , pH: 5.0 ve sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , boya konsantrasyonu  $500 \text{ mg L}^{-1}$ ).

oluşturması gösterilebilir. Karıştırma hızının benzer şekildeki etkisi daha önce değişik araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda da gözlenmiştir (Can et al., 2003; Yılmaz, 2009, Bingül; 2009).

Karıştırma hızının renk giderim verimine etkisinin incelendiği denemelerden elde edilen veriler yardımıyla, Eşitlik 7 kullanılarak enerji tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Farklı karıştırma hızları için sistemin enerji tüketiminin zamana göre değişimi Şekil 7'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Elde edilen grafiksel sonuçlar düşük karıştırma hızlarında reaktör içerisinde elektrokimyasal olarak çözünen alüminyumun homojen olarak karışmamasından dolayı elektrotlar arasında biriktiğini ve bu birikimin sonucu olarak da çözeltinin aynı iletkenlik değerine sahip olmasına rağmen hücre direncinin artmasına sebep olduğunu göstermiştir. Hücre direncinin artması, sabit akım şiddeti uygulanan sistemlerde potansiyel değerlerinin artmasına, dolayısı ile birim hacim başına tüketilen enerji miktarının artmasına yol açmaktadır. Yüksek karıştırma hızlarının enerji tüketimi değerlerini artırmasının sebebinin ise, reaktör içerisinde oluşan yüksek hızın devreyi tamamlayan elektron akışı üzerinde olumsuz yönde oluşturduğu baskı neticesinde, elektron akışının yavaşlaması veya ilave bir direnç oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yılmaz, 2009).

**Destek Elektrolit Türünün Sistem Değişkenleri Üzerine Etkisi:** Destek elektrolit türünün renk giderim verimi üzerine etkisi incelenirken başlangıç pH değeri



**Şekil 8.** Karıştırma hızının KOİ giderim verimine etkisi (Akım yoğunluğu  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$ , pH 5.40, sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

5'e ayarlanmış 500 mg L<sup>-1</sup> başlangıç boyar madde konsantrasyonuna sahip çözeltiler ile 0.1 mA cm<sup>-2</sup> akım yoğunluğunda, 150 devir dakika<sup>-1</sup> karıştırma hızında deneyler yapılmış ve destek elektrolit olarak 5 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5 mM NaCl, 5 mM NaNO<sub>3</sub>, 5mM CaCl<sub>2</sub> kullanılmıştır. Elde edilen veriler Şekil 8'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Destek elektrolit kullanılarak yapılan deneyler içerisinde en iyi renk giderimi NaCl ile yapılan deneyde elde edilmiştir. Ortamda elektrolit olarak NaCl bulunması durumunda; elektrokoagülasyon uygulaması esnasında klor (Cl<sub>2</sub>) ve hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) oluşumu söz konusu olmaktadır. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda NaCl'nin çözeltinin iletkenliği artırdığı aynı zamanda asidik koşullarda oksidant oluşumuna sebep olduğu görülmüştür (Arslan ve ark., 2008; İrdemez et al., 2011).

## SONUÇ

Elektrokoagülasyon yöntemiyle sentetik hazırlanmış Direct Red 23 içeren atıksuların arıtılması çalışmasında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Sabit akım şiddeti (0.1 mA cm<sup>-2</sup>), 150 devir dakika<sup>-1</sup> karıştırma hızında, 0.5 cm elektrotlar arası mesafede, 5mmol NaCl varlığında ve sabit sıcaklık (20°C) için optimum arıtım pH değeri 3-7 arısında incelenmiş ve en iyi giderimin %98 ile pH: 5.0 olarak belirlenmiştir.
- Destek elektrolit türünün giderim verimi üzerine yapılan deneylerde pH: 5.0, 500 mg L<sup>-1</sup> başlangıç boya konsantrasyonu için 5 mmol NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub> ve CaCl<sub>2</sub> destek elektrolit türleri çalışılmış destek elektrolit türünün boya giderimi için etkin bir parametre olmadığı görülmüştür. Giderim verimleri NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub> ve CaCl<sub>2</sub> için sırasıyla; yaklaşık %98, %91, %87 ve %94 elde edilmiş ve en iyi giderimi 5 mmol NaCl için elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Adhoum, N., Monser, L., 2004. Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. *Chemical Engineering and Processing*, 43: 1281–1287.
- Akbal, F., 2005. Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder. *Journal of Colloid and Interface Science*, 286: 455-458.
- Arslan, T., Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, İ., Ölmez, T., Tünay, O., 2008. Kompleks olarak bağlı metal içeren atıksuların elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı. *İTÜ dergisi/esu kirlenmesi kontrolü*, 18(1): 42-45.
- Bayar, S., Yıldız, Y.Ş., Yılmaz A.E., İrdemez Ş., 2011. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*, 280: 103–107.
- Bingül, Z., 2009. Deri sanayi atıksularının elektrokoagülasyon yöntemiyle arıtılabilirliğinin incelenmesi. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Erzurum.
- Can, O.T., Bayramoğlu, M., Kobya, M., 2003. Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42: 3391-3396.
- Catanho, M., Malpass, R.P., Motheo, J., 2006. Photo electrochemical treatment of the dye reactive red 198 using DSA electrodes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 62 (3-4): 193-200.
- Donini, J., Kan, J., Jassan, T., Kar, K., 1994. The operating cost of electrocoagulation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 72: 1007-1012.
- Drogui P., Asselin M., Brar K.S., Benmoussa H., Blais J.F., 2008. Electrochemical removal of pollutants from agro-industry wastewaters. *Separation and Purification Technology*, 61: 301–310.
- Fernandes, A., Morao, A., Maringho, M., Lopes, A., Gonçalves, I., 2004. Electrochemical degradation of C. I. Acid Orange 7. *Dyes and Pigments*, 61(3): 287-296.
- Gürses, A., Yalçın, M., Doğar, Ç., 2002. Electrocoagulation of some reactive dyes: A statistical investigation of some electrochemical variables. *Waste Management*, 22: 491-499.
- Işık, M., Sponza, D., 2006. Biological treatment of acid dyeing wastewater using a sequential anaerobic/aerobic reactor system. *Enzyme and Microbial Technology*, 38(7): 887-892.
- İrdemez, Ş., Demircioğlu, N., Tosunoğlu, V., 2011. The effects of supporting electrolyte type and concentration on the phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with aluminum plate electrodes. *Journal of the Institute of Science and Technology of Iğdır University*, 1(2): 35-41.
- Jiang, J., Graham, N., Andre, C., Kelsall, G., Brandon, N., 2002. Laboratory study of electrocoagulation-flotation for water treatment. *Water Research*, 36: 4064- 4078.

- Koparal, A.S., Gökçen, Ş., Öğütveren, Ü., 1999. Petrol formasyon suyunun elektrokimya ve geleneksel yöntemler ile arıtılabilirliğinin incelenmesi. Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, Cilt I: 370-379.
- Koparal, A. S., Yıldız, Y. S., Keskinler, B., Demircioğlu, N., 2008. Effect of initial pH on the removal of humic substances from wastewater by electrocoagulation. Separation and Purification Technology, 59: 175–182.
- Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., Vial, C., Barkaoui, M., 2009. Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process. Chemical Engineering Journal, 149: 207-214.
- Mollah, M.Y., Pathak, S.R., Patil, P.K., Vayuvegula, M., Agrawal, T.S., Gomes, J.A., Kesmez, M., Cocke, D.L., 2004. Treatment of orange II azo-dye electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. Journal of Hazardous Materials, B109: 165-171.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., Cocke, D. L., 2001. Electrocoagulation (EC)–science and applications. Journal of Hazardous Materials, B84: 29–41.
- Özyonar, F., 2007. Entegre et ve et ürünleri tesisleri atıksularının kimyasal koagülasyon ve elektrokoagülasyon yöntemleriyle arıtılabilirliğinin incelenmesi. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- Rajkumar, D., Kim, J.G., 2006. Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment. Journal of Hazardous Materials, 136(2): 203-212.
- Yılmaz, A., 2009. Endüstriyel atıksulardan elektrokoagülasyon yöntemi bor giderimi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Erzurum.
- Zaied, M., Bellakhal, N., 2009. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry. Journal of Hazardous Materials, 163(2): 995-1001.
- Wu, F.-C., Tseng, R.-L., Juang, R.-S., 2001. Adsorption of dyes and phenols from water on the activated carbons prepared from corncob wastes. Environmental Technology, 22: 205-215.

