



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
ISSN 1012-2354



Cilt (Volume): 28, Sayı (Issue): 1, Ocak/January-2012
<http://fbe.erciyes.edu.tr/>

Elektrokoagülasyon Prosesi ile Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı Treatment of Textile Wastewater by Electrocoagulation Process

*Fuat ÖZYONAR, Bünyamin KARAGÖZOĞLU

Department of Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-58140 Sivas-Türkiye

ÖZET

Elektrokoagülasyon (EC) prosesi, kimyasal koagülasyon prosesine göre sağladığı bazı avantajlar nedeniyle tercih edilen bir proses haline gelmiştir. Elektrokoagülasyon prosesi bu nedenle farklı özellikteki atıksuların arıtımında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, bir tekstil sanayi atıksuyunun Elektrokoagülasyon prosesi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla monopolar paralel bağlı alüminyum elektrotlarının kullanıldığı, elektrokoagülasyon prosesinin performansı araştırılmıştır. Elektrokoagülasyon prosesinde; toplam organik karbon (TOC), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk ve bulanıklık giderim verimi üzerine; başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek EC prosesinin optimum koşulları belirlenmiştir. Bu koşullar; başlangıç pH:3, akım yoğunluğu 100 A/m² ve elektroliz süresi 20 dk olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla, %82,6-%72,5- %97,7 ve %98,7'dir. Ayrıca yapılan çalışmada KOİ parametresi açısından, arıtılmış suyun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen deşarj limit değerini sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak tekstil sanayi atıksuyunun arıtımında EC prosesinin etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler:

Tekstil Atıksuyu,
Elektrokoagülasyon,
Alüminyum Elektrot,
TOK giderimi, Renk
Giderimi

Treatment of textile wastewater by electrocoagulation process

ABSTRACT

Electrocoagulation process (EC) has become a preferable process because of its advantages over chemical coagulation process. Therefore EC has been widely used to treat wide variety wastewaters. In this study, the treatability of textile wastewater by EC using aluminum electrodes was investigated. This purpose, EC process's performance using aluminum electrodes connected monopolar parallel was investigated. The effects of various operating conditions such as, initial pH, current density and electrolysis time on removal efficiency of total organic carbon (TOC), chemical oxygen demand (COD), colour and turbidity were examined. The end of study, optimum conditions were determined. The optimum values of initial pH, current density and electrolysis time in the EC studies using aluminum electrode were found to be 3, 100 A/m² and 20 min, respectively. In these conditions, removal efficiencies for TOC, COD, colour and turbidity were obtained as 82.6%-72.5%-97.7% ve 98.7%, respectively. Beside in this study, according to Turkish Directive on Water Pollution Control, COD concentrations levels were below the permitted direct-discharge limits. Consequently, EC process is found to be an effective treatment method for textile wastewaters.

Keywords:

Textile wastewater,
Electrocoagulation,
Aluminum electrode,
TOC removal,
Colour removal

. Giriş

Nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte diğer endüstrilerde olduğu gibi tekstil endüstrisi de gelişmekte ve mevcut olanlarda kapasitelerini arttırmaktadır. Bu durum mevcut doğal kaynaklardan biri ve en önemlisi olan suyun tüketimini arttırmaktadır. Tekstile endüstrisinde çeşitli proseslerde kullanılan ve atıksu olarak nitelenen sular tekrar alıcı ortamlara verilmektedir. Deşarj edilen bu sular deşarj edildikleri alıcı ortamdaki ekolojik dengeyi bozmakta ya da büyük tahribatlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu atıksuların alıcı su ortamlarına verilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmekte ve yasal deşarj limit değerlerini sağlaması gerekmektedir.

Özellikle tekstil endüstrisinde yüksek su tüketimi nedeniyle atıksu oluşumu oldukça fazladır. Tekstil endüstrisinde ortaya çıkan atıksuların çoğunluğu yıkama ve boyama prosesleri sonucu oluşmaktadır. Bu atıksular miktar ve karakteristik yönden değişiklik göstermektedir. Atıksuların karakteristiği elyaf cinsi, uygulanan işlemler ve kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle tekstil endüstrisi atıksuları özellikle boyama prosesinde fazla miktarda kullanılan azoboyalar suda aromatik aminlerin oluşumunu sağlar buda suda kanserojenik ürünlerin oluşumuna neden olur. Ayrıca proses sonucu oluşan atıksular; yüksek renk ve pH değerlerine sahip (pH: 2-12), yüksek KOI konsantrasyonu ve süspanse katı madde içeren, düşük biyolojik parçalanmaya sahiptir [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Tekstil endüstrisi atıksuların arıtılabilirliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Genellikle bu atıksular şu arıtma yöntemleri ile arıtılabilirliği incelenmiştir; kimyasal koagülasyon, biyolojik oksidasyon, kimyasal çöktürme, klorlama, ozon, adsorpsiyon, kimyasal oksidasyon ve membran proseslerdir [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Çoğu tekstil atıksuyunun mikroorganizmalarda toksik etki yapmasından dolayı bu atıksuların arıtımı biyolojik (aerobik-anaerobik) proseslerle gerçekleştirilemesi oldukça güç ve maliyetlidir [13, 14, 15]. Kimyasal arıtımda kullanılan en yaygın yöntemlerden biri kimyasal koagülasyondur. Ancak tekstil endüstrisinde çözünmüş boyar maddelerin gideriminde bu yöntem pek etkili değildir [16]. Aktif karbon adsorpsiyonu, polimer ve mineral sorbentler ve biyosorbentler kullanılarak tekstil atıksuları arıtılmaya çalışılmış fakat oluşan çamur miktarının fazlalığı ve rejenerasyonun güç olması bu proseslerin kullanımını sınırlamaktadır [17, 18]. İleri oksidasyon prosesleride tekstil atıksularının arıtımında kullanılan proseslerdendir. Örneğin; ozon, UV ve UV/ozon, fotokataliz, UV/TiO₂, Fenton ve ultrasonik oksidasyon gibi yöntemler kullanılmış ve yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. Ancak bu yöntemlerin

kullanılabilirliği ekonomik değildir [1, 2, 8, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

Özellikle son yıllarda Elektrokoagülasyon (EC) prosesi çeşitli türde atıksuların arıtılması için uygulanmış ve yüksek giderme verimleri elde edilmiştir. Örneğin; evsel atıksular [28], kullanma suları [29, 30], sızıntı suları [31], restoran atıksuları [32], kağıt sanayi atıksuları [33, 34], tekstil sanayi atıksuları [6, 35, 36], florür giderimi [37], tekstil boyar maddesi giderimi [38, 39, 40, 41, 42], atıksulardan nitrat ve arsenik giderimi [43, 44].

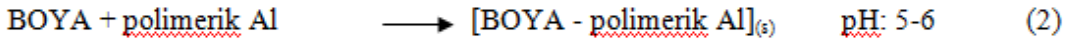
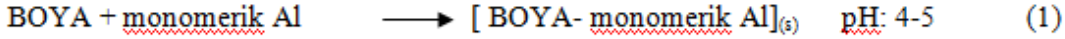
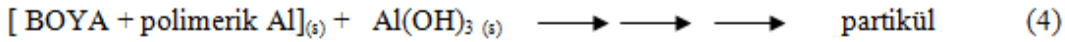
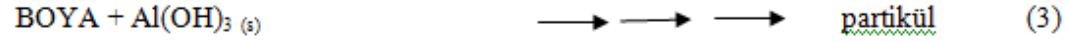
Elektrokoagülasyon prosesi tekstil atıksuları ve tekstil boyar çözeltilerinin arıtımında uygulanmış ve yüksek KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri elde edilmiştir [5, 6, 40, 45, 46, 47, 48, 49].

Bu amaç ile bu çalışmada, bir tekstil sanayi atıksuyunu Elektrokoagülasyon yöntemiyle arıtılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla monopolar paralel bağlı alüminyum elektrotlarının kullanıldığı bir reaktörde TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimi üzerine başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca EC prosesi sonucunda, arıtılmış suyun alıcı ortam deşarj limitlerini (KOİ parametresi için) sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir.

2. EC prosesinin kısa tanımı

Elektrokoagülasyon (EC), elektroliz sonucu anotun çözünmesi ile temizlenecek atıksu içerisinde metal hidroksit floklarının oluşturulmasından ibaret olan bir prosesdir. EC prosesinin kirleticileri uzaklaştırmadaki prensibi koagülasyon, adsorpsiyon çöktürme ve flotasyon giderme mekanizmalarının biri veya bir kaçına dayandığı, alüminyum ve demir gibi metal anotların anodik çözülmeye uğraması ve hidrolizi ile çok az çözünen Al(OH)₃, Fe(OH)₂ ve Fe(OH)₃ gibi metal hidroksitlerin oluşması şeklindedir [30, 50]. Bu elektrotlardan çözünen metal iyonları ortam koşullarına göre metal-polimer kompleksleri oluşturmakta ve kirleticileri adsorplayarak koagüle olmaktadır. EC prosesinde genellikle ard arda üç aşamanın olduğu kabul edilmektedir; 1. Elektrolitik oksidasyonda çözünen elektrot ile koagülan türlerin oluşumu, 2. Kirleticilerin destabilizasyonu, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların kırılması, 3. Destablize edilmiş fazlarda flokların toplanması [50, 51].

Oluşan değişik türde metal-polimer komplekslerinin oluşum oranı renk gideriminin de önemli bir rol oynar. Boya molekülleri ve hidroksil ürünleri arasında birkaç etkileşim mekanizması mümkündür. Bunlar ortamın pH'ına ve mevcut iyonların tipine bağlıdır. Genel olarak iki ana mekanizmanın var olabileceği düşünülmektedir. pH 6,5'tan yüksek pH'larda adsorpsiyon ve daha düşük pH'larda çökeltme [5, 47, 52, 53].

Cökeltme**Adsorpsiyon**

Oluşan amorf Al(OH)_3 “süpürücü flok”ları geniş yüzey alanına sahiptirler. Böylece atıksudaki organik birleşikleri hızlı bir şekilde adsorplayarak ve kolloidal partikülleri ise yakalararak atıksudan uzaklaştırırlar.

Bu floklar; $n \text{ Al(OH)}_3 \longrightarrow \text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$ (5) şeklinde polimerize olurlar. Bu floklarda ortamdan ya çökeltme ile ya da H_2 flotasyonu ile kolayca giderilebilirler.

3. Gereç ve Yöntem**3.1 Gereç**

Çalışmada kullanılan tekstil sanayi atıksuyu Kayseri’de bulunan bir tekstil fabrikasından temin edilmiştir. Atıksu fabrikanın deşarj hattından alınmıştır. Atıksuyun genel özellikleri TABLO 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Tekstil atıksuyunun özellikleri.

| Parametre | Değer |
|--|-------|
| pH | 11,5 |
| Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{s cm}^{-1}$) | 5500 |
| Bulanıklık, NTU | 100 |
| Toplam organik karbon (mg/L) | 350 |
| Askıda katı madde (mg L^{-1}) | 580 |
| Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg L^{-1}) | 820 |

3.2 Yöntem

Elektrokoagülasyon deneylerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir. Elektrokoagülasyon deneylerinde kullanılan reaktör $100 \times 100 \times 130$ mm boyutlarında olup, çift cidarlı ve plexiglastan yapılmıştır. Reaktörde EC süresince sıcaklık 25°C ’de sabit kalması amacıyla ceketli olarak tasarlanmış ve sürekli su sirkülasyonu sağlanmıştır. Reaktöre elektrotlar monopolar paralel bağlı olarak yerleştirilmiş ve 4 adet elektrot kullanılmıştır. Elektrotlar 20 mm aralıklarla yerleştirilmiş ve tamamen çözelti içerisine batırılmıştır. Elektrot materyali olarak $43 \times 50 \times 3$ mm boyutlarında 129 cm^2 aktif yüzey alanına sahip alüminyum plakalar kullanılmıştır. Kullanılan alüminyum plakalar %99,53 Al, %0,12 Si, %0,25 Fe içeriğine sahiptir. Akım ve

voltaj kontrolü dijital bir güç kaynağı ile sağlanmıştır (GPC 6030D).

Tüm deneyler sabit şartlar altında; 25°C sıcaklıkta, 750 ml boya çözeltisi hacminde ve 250 dev/dk karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Her deneyden önce atıksudaki partikül maddelerin dağılımını homojenize etmek amacıyla atıksu kaba bir filtreden geçirilmiştir. Elektrotlar deney süresince elektrotların yüzeyinde biriken kirliliği gidermek amacıyla önceden hazırlanan temizleme çözeltisinde yıkanmıştır. Temizleme çözeltisi olarak %35’lik 10ml HCl ve %2,8’lik 200ml heksametilen tetramin ($(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$) çözeltisi kullanılmıştır [54]. Daha sonra elektrotlar yıkanarak kurutulmuş ve tartıldıktan sonra bir sonraki deneye geçilmiştir. Filtreleme işleminin giderme verimi üzerindeki etkisini azaltmak için arıtılan atıksu tekrar filtrelenmiş ve gerekli analizler yapılmıştır.

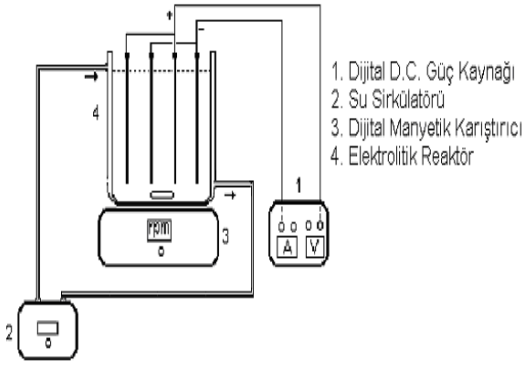
3.3 Analitik yöntem

TOK, KOI, renk ve bulanıklık ölçümleri standart metotlara uygun olarak yapılmıştır (55). TOK ölçümü Apollo 9000 model TOC cihazında, KOI ve renk ölçümü chebios UV-VIS spektrofotometrede, bulanıklık ölçümü ise Micro TPI model bulanıklık metrede ölçülmüştür. pH consort model C931 pH metrede ve elektriksel iletkenlik WTW 340i model elektriksel iletkenlik ölçerde ölçülmüştür. Atıksuyun pH’ını istenilen pH değerine ayarlama NaOH ve HCl (Merck) kullanılmıştır.

Atıksuyun rengi spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. UV-VIS spektrofotometrede 300-800nm dalga boyu aralığında yapılan spektrum taraması sonucunda maksimum dalga boyu 675 nm olarak bulunmuştur. Renk giderime verimleri ölçümünde bu dalgaboyu kullanılmıştır. Kirleticilerin giderme verimleri aşağıdaki eşitlikle (Eş. 1) hesaplanmıştır,

$$E(\%) = \frac{C_B - C_S}{C_B} \times 100 \quad \text{Eş.(1)}$$

Burada; E kirletici giderme verimi (%), C_B başlangıç derişimi ve C_S final derişimidir (mg/L ve NTU).



Şekil 1. Deneyel çalışmada kullanılan elektrokoagülasyon deney düzeneğinin şematiği ve fotoğrafı

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmanın amacı, EC prosesi ile bir tekstil sanayi atıksuyunun arıtılabilirliğini incelemektir. Bu amaçla EC prosesinin performansını, etkileyen başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

4.1 Başlangıç pH'nin Etkisi

Elektrokoagülasyon prosesinde verimi etkileyen en önemli parametrelerden birisi çözeltinin başlangıç pH'dır. Bazı araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda da bu parametrenin önemini ortaya koymuşlardır [45, 52, 56]. Bu amaçla başlangıç pH'nin EC prosesine olan etkisini belirlemek amacıyla atıksuyu pH'ı istenilen pH aralığına NaOH ve HCl asit kullanılarak getirilmiştir. Daha sonra proseste başlangıç şartları olarak 100 A/m² akım yoğunluğu, 20 dk elektroliz süresi ve 250 dev/dk karıştırma hızında deneyler gerçekleştirilmiştir. Atıksuyun başlangıç pH'ı 3-9 aralığında değiştirilerek uygulanmıştır.

Alüminyum elektrotlarının kullanıldığı elektrokoagülasyon deneylerinde TOC, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimi üzerine başlangıç pH'nin etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi pH:3 değerinde renk giderme verimi %97,7 ile en yüksek değerde olduğu, diğer pH değerlerinde ise giderme veriminin düştüğü (%67,6-%44,2) ve yaklaşık olarak sabitleştiği görülmüştür. pH:3'te renk giderme veriminin en yüksek değerde oluşmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir. pH:3'ten pH:7,5'e yükselirken EC süresince sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 nolu denklemlerin gerçekleşmesi ile renk gideriminin de çökeltme ve adsorpsiyon mekanizmalarının her ikisinin de etkisinin gösterdiği söylenebilir. pH:4-9 değerlerinde ise pH:3'ten farklı olarak önemli derecede bir düşüşün gerçekleştiği ve bu durumun yalnızca 3 ve 4 nolu denklemlerin oluşması

ile bu pH değerlerinden geçtiği ile açıklanabilir. Yani bu durum farklı alüminyum türlerinin baskın olmasına bağlı olarak ifade edilebilir. Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil boyar maddelerinin giderildiği benzer bir çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir. Bu çalışmada renk giderim veriminin en yüksek olduğu pH değeri 3 olarak bulunmuştur [57].

Sonuç olarak elde edilen verilere göre kirleticilerin gideriminde de en yüksek giderme verimleri pH: 3'te elde edilmiştir (Şekil 2). Bu şartlarda giderme verimleri TOK, KOİ, renk ve bulanıklık için sırasıyla, %82,6-%72,5-%97,7 ve %98,7'dir. Diğer tüm deneylerde bu pH değerinde yürütülmüştür.

Şekil 2'de görüldüğü EC süresince başlangıç pH değerlerinde EC prosesi sonunda değişim söz konusudur. Başlangıç pH değişiminin pH:3 ile 9 aralığında değiştiğinde sonuç pH değerlerinin pH: 7,5-9,15 arasında değiştiği görülmüştür. EC süresince pH'nin artması oluşan katotta açığa çıkan OH iyonlarıyla açıklanabilir. Atıksuyun pH dengesinin yaklaşık olarak 9'a artması ise Al³⁺/Al(OH)₃'ün sudaki tamponlama kapasitesinden ileri gelmektedir.

4.2 Akım Yoğunluğunun Etkisi

Elektrokoagülasyon prosesinde TOK, KOİ, renk, ve bulanıklık üzerine akım yoğunluğunun etkisini araştırmak amacıyla başlangıç pH 3, 20 dk elektroliz süresi ve 250 dev/dk karıştırma hızı sabit tutularak, akım yoğunluğu 25-200 A/m² aralığında değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te elektrokoagülasyon prosesinde akım yoğunluğunun TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri üzerine etkisi görülmektedir. Akım yoğunluğunun 25 A/m² den 200 A/m²'ye artışı ile TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimlerinin arttığı görülmüştür. Bu artışlar sırasıyla TOK için %30,5-86,7 KOİ için %20,4-80,2 renk için %40,2-

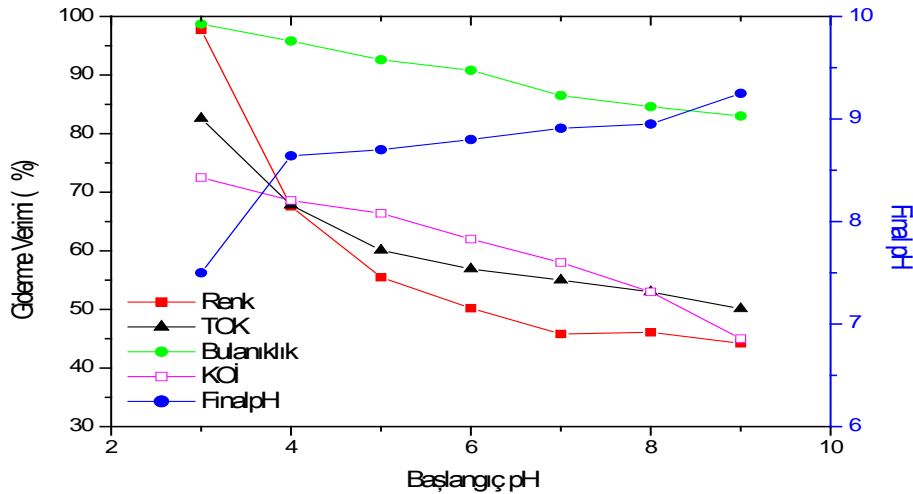
99,3 ve bulanıklık için %66,8-99 olarak elde edilmiştir. Şekil 3'te görüleceği gibi akım yoğunluğunun 100 A/m² olduğu noktaya kadar tüm kirleticilerin giderme verimlerinde hızlı bir artış olduğu, 100-200 A/m² arasında bu artışın yavaşlayarak sabitleştiği görülmektedir. Sonuçta 150 A/m²'de giderme verimleri en yüksek değere ulaşmıştır. EC prosesinde akım yoğunluğunun artması ile giderme veriminin değişmesi şu şekilde açıklanabilir. Yüksek akım yoğunluğu ile alüminyum elektrotlarının anodik çözünmesiyle kirleticilerin giderilmesinde önemli olan flokların oluşumu artmaktadır. Ayrıca Faraday yasasına göre (Eş.2) akım yoğunluğu arttıkça elektrotlarda üretilen iyon miktarı artar. Bu da oluşan flok miktarını artırır ve kirleticilerin giderimi artar [46]. Yani yüksek akım yoğunluğu flok miktarını artıracak buda TOK, KOİ, renk ve bulanıklığın giderme verimini artıracaktır.

Burada ΔM , alüminyumun çözünen miktarı (g), M alüminyumun molekül ağırlığı (g/mol), n elektron mol sayısı, f Faraday sabiti (F:96,487c/mol). Ayrıca EC prosesinde oluşan H₂ kabarcıkları akım yoğunluğu ile artar. Buda kirleticilerin çözelti üzerine taşınmasını sağlayarak

çözeltiden uzaklaşmasını sağlar [58]. Elde edilen veriler sonucunda optimum akım yoğunluğu enerji ve elektrot tüketimi de göz önüne alındığında TOK, KOİ, renk, ve bulanıklık giderme verimleri açısından 100 A/m² olarak alınmış ve diğer tüm deneyler bu akım yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir.

$$\Delta M = \frac{M_{lIEC}}{nf} \quad \text{Eş.(2)}$$

Burada ΔM , alüminyumun çözünen miktarı (g), M alüminyumun molekül ağırlığı (g/mol), n elektron mol sayısı, f Faraday sabiti (F:96,487c/mol). Ayrıca EC prosesinde oluşan H₂ kabarcıkları akım yoğunluğu ile artar. Buda kirleticilerin çözelti üzerine taşınmasını sağlayarak çözeltiden uzaklaşmasını sağlar [58]. Elde edilen veriler sonucunda optimum akım yoğunluğu enerji ve elektrot tüketimi de göz önüne alındığında TOK, KOİ, renk, ve bulanıklık giderme verimleri açısından 100 A/m² olarak alınmış ve diğer tüm deneyler bu akım yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir.

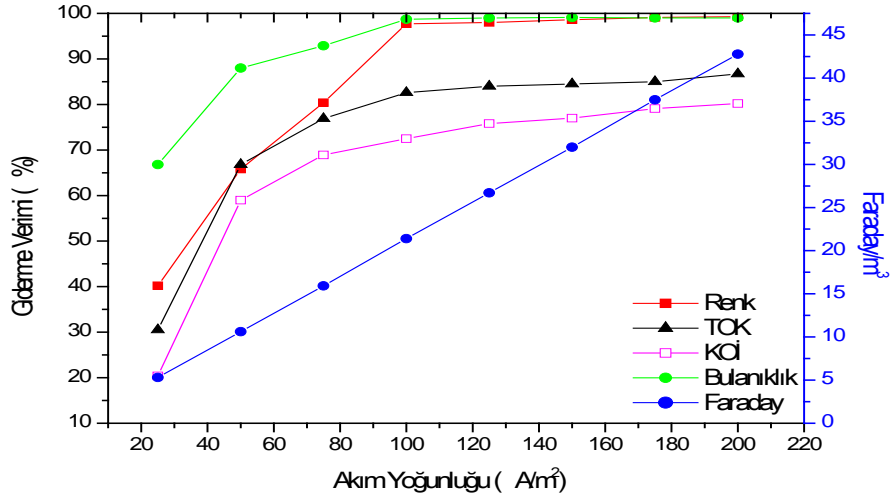


Şekil 2. EC prosesinde başlangıç pH'nın TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimi üzerine etkisi

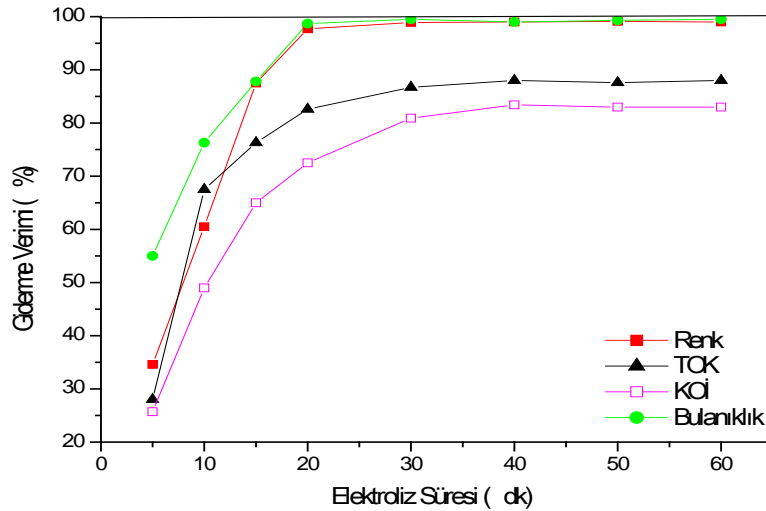
4.3 Elektroliz süresinin etkisi

Elektrokoagülasyon süresince, negatif elektrotta katotik reaksiyonlar, pozitif elektrotta anodik reaksiyonlar meydana gelir. Elektrokoagülasyon prosesinde zamanın etkisini incelemek amacıyla sabit 100 A/m² akım yoğunluğunda ve pH:3'te deneyler gerçekleştirilmiştir. Elektroliz süresi ise 5-60 dk arasında değiştirilerek etkisi incelenmiştir. Elektrokoagülasyon prosesinde anodik çözünmenin başlamasıyla koagülasyon oluşur. Çözeltiden kirletici parametrelerin gideriminin de direkt olarak elektrotlar tarafından üretilen iyon konsantrasyonu önemlidir. Elektroliz süresi artarsa, iyonların

konsantrasyonu ve onların hidroksit flokları artar. Yani Elektokoagülasyon prosesinde uygun ve yeterli miktarda flokların oluşması zamana bağlı olarak gerçekleşir. Şekil 4'te görüldüğü gibi 5-20 dakikalar arasında kirleticilerin giderme verimlerinde hızlı bir artış meydana gelirken 20 dakikadan sonra bu artışın hızı azalmakta ve daha sonra giderme veriminde bir artış görülmemektedir neredeyse sabitleştiği görülmektedir. Uygun EC süresi deneyler sonucunda 20 dk olarak bulunmuştur. Bu sürede TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla, %82,6-%72,5- %97,7 ve %98,7 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. EC prosesinde akım yoğunluğunun TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimi üzerine etkisi.



Şekil 4. EC prosesinde elektroliz süresinin TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimi üzerine etkisi.

5. Sonuç

Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atıksuyundan TOK, KOİ, renk, ve bulanıklık giderimin de başarılı sonuçlar elde edilmiştir. TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimini üzerine başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin etkili olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyum elektrotlarının kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesinde deneysel çalışmalar neticesinde optimum koşullar; pH:3, akım yoğunluğu 100 A/m² ve elektroliz süresi 20 dk olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla, %82,6-%72,5- %97,7 ve %98,7 olarak bulunmuştur. KOİ parametresi açısından, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 10'da verilen tekstil sanayii atık sularının alıcı ortam deşarj limitlerine bakıldığında

[59], EC prosesiyle arıtılan atıksuyun direkt deşarj limitlerini sağladığı görülmüştür. Bu prosesle KOİ derişimi 820 mg/L'den 225,5 mg/L'ye kadar düşürülmüştür. Buda deşarj limitlerinin altında olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışmada, Elektrokoagülasyon prosesiyle tekstil sanayi atıksularından kirleticilerin gideriminde yüksek giderme verimleri elde edilmiştir

Kaynaklar

1. Lin, S.H. and Lin, C.H. Treatment of textile Wastewater by Ozonation and Chemical Coagulation, Water Resource., 27:1743-1748, (1993).

2. Ince, N.H. and Tezcanli, G. Treability of textile Dye-bath Effulents by Advanced Oxidation: Preparation for Reuse. *Water Resource.*, 40: 183-190, (1999).
3. Vlyssides, A.G., Papaioannous, D., Loizidou, M., Karlis, P.K., Zorpas, A.A.. Testing an Electrochemical Method for Treatment of Textile Dye Wastewater., *Waste Management* 20:569–574, (2000).
4. Szyrkowicz, L., Juzzolino, C., Kaul, S.N. A Comparative Study on Oxidation of Disperse Dyes by Electrochemical Process, Ozone, Hypochlorite and Fenton Reagent, *Water Resource.*, 35: 2129-2136, (2001).
5. Kobya, M., Can, O.T., Bayramoglu, M. Treatment of Textile Wastewaters by Electrocoagulation Using Iron and Aluminum Electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, B100: 163-178, (2003).
6. Can, O.T. Kobya, M. Demirbas, E. Bayramoglu, M. Teratment of The Textile Wastewater by Combined Electrocoagulation, *Chemosphere*, 62: 181-187, (2006).
7. Slokar, Y.M., and Marechal, A.M.L., Methods of Decoloration of Textile Wastewaters. *Dye Pigment*, 37: 335-356, (1998).
8. Koch, M., Yediler, A., Lienert, D., Insel, G., Kettrup, A., Ozonation of Hydrolyzed Azo Dye Reactive Yellow 84(CI), *Chemosphere*, 46: 109-113, (2002).
9. Shu, H.Y., and Huang, C.R., Ultraviolet Enhanced Oxidation for Color Removal of Azo Dye Wastewater, *American Dyestuff Reporter*, 30-34, (1995).
10. Namboodri, C.G., and Walsh, W.K., Ultraviolet Ligth/Hydrogen Peroxide System for Decolorizing Spent Reactive Dye bath Wastewater, *American Dyestuff Reporter*, 15:32-45, (1996).
11. Arıcı, Y., *Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyar Maddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi*, Yük. Lisans Tezi, İTÜ Çevre Müh. Anabilim Dalı, İstanbul, (2000).
12. Kulunk, A., *Tekstil Endüstrisinde Asit Boyar Maddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi*, Yük. Lisans Tezi, İTÜ Çevre Müh. Anabilim Dalı, İstanbul, (2000).
13. Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., Remediation of Dyes in Textile Effluent: Critical Review on Current Treatment Technologies with A Proposed Alternative, *Bioresource Technol.*, 77:247-255, (2001).
14. Kennedy, M.T., Morgan, J.M., Benefield, L.K., McFadden, A.F., Color Removal from Textile Dye Wastewater; A Case Study, in: *Proceesings of the 47th. Ind. Waste Conference*, West Lafayette, IN, Lewis Pub. Chelsea, M.F, 727-741, (1993).
15. Shaw, C.B., Carliell, C.M., Wheatly, A.D., Anaerobic/aerobic Treatment of Coloured Textile Effulents Using Sequencing Batch Reactors, *Water Resource*, 36: 1193-2001, (2002).
16. Vandevivere, P.C., Bianchi, R., Verstraete, W., Treatment and Reuse of Wastewater from The Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies, *Journal Chem. Technol. Biotechnol.*, 72: 289-302, (1998).
17. Robinson, T., Chandran, B., Nigem, P., Removal of Dyes from A Synthetic Textile Dye Effluent by Biosorption on Apple Parnace and Wheat Straw, *Water Resource.*, 36: 2824-2830, (2002).
18. Pala, A., Tokat, E., Color Removal from Cotton Textile Industry Wastewater In An Activated Sludge System With Various Additives, *Water Resource*, 36: 2920-2925, (2002).
19. Hung-Yee, S., Ching-Rong, H., Degradation of Commerical Azo Dyes In Water Using Ozonation and UV Enhanced Ozonation Process, *Chemosphere*, 31: 3813-3825, (1995).
20. Kang, S.F., Chang, H.M., Coagulation of Textile Secondary Effulents with Fenton's Reagent, *Water Resource*, 36:(12) 215-222, (1997).
21. Kang, S.F., Liao, C.H., Chen, M.C., Pre-oxidation and Coagulation of Textile Wastewater By The Fenton Process, *Chemosphere*, 46: 923-928, (2002).
22. Solozhenko, E.G., Soboleva, N.M., Goncharut, V.V., Decolourization of Azo Dye Solutions By Fenton's Oxidation, *Water Resource*, 29: 2206-2210, (1995).
23. Pérez, M., Torrades, F., Domènech, X., Peral, J., Fenton and Photo-Fenton Oxidation of Textile Effulents, *Water Resource*, 36: 2703-2710, (2002).
24. Zaroni, M.V.B., Sene, J., Anderson, M.A., Photoelectro Catalytic degradation of Remazol Birillant Orange 3r on Titanium Dioxide Thin-Film Electrodes, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 157: 55-63, (2003).
25. Hachem, C., Bocquillon, F., Zahraa, O., Bouchy, M., Decolourization of Textile Industry Wastewater By The Photocatalytic Degradation Process, *Dye Pigments*, 49: 117-125, (2001).
26. Neppolian, B., Sakthivel, S., Arabindoo, B., Murugesan, V., Solar/UV Induced Photocatalytic Degradation of Three Commerical Textile Dyes, *Journal of Hazardous Materials*, 89: 303-317, (2002).
27. Zienlinska, B., Grzechuslka, J., Morawski, A.W., Photocatalytic decomposition of Textile Dyes on TiO₂ Tytanpol All and TiO₂-Degussa P25, *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, 157:(1), 65-70, (2003).
28. Pouet, M.F., Grasmick, A., Urban Wastewater Treatment By Electrocoagulation and Flotation, *Water Sci Technol*, 31: 275-283, (1995).

29. Vik, E.A., Carlson, D.A., Electrocoagulation of Potable Water, *Water Res*, 18: 1355-1360, (1984).
30. Holt, P.K., Barton, G.W., Wark, M., Mitchell, C.A., A Quantitative Comparison Between Chemical Dosing and Electrocoagulation, *Colloids Surf.*, A211: 233, (2002).
31. Tsai, C.T., Lin, S.T., Shue, Y.C., Su, P.L., Electrolysis of Soluble Organic Matter in Leachate from Landfills, *Water Resource*, 31: 3073-3081, (1997).
32. Chen, X., Chen, G., Yue, P.L., Separation of Pollutants From Restaurant Wastewater By Electrocoagulation, *Sep. Purif. Technol.*, 19: 65-76, (2000).
33. Mahesh, S., Prasad, B., Mall, I.D., Mishra, I.M., Electrochemical Degradation of Pulp and Paper Mill Wastewater, Part 1. Cod and Color Removal, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45: 2830, (2006).
34. Mahesh S., Prasad, B., Mall, I.D., Mishra, I.M., Electrochemical Degradation of Pulp and Paper Mill Wastewater. Part 2. Characterization and Analysis of Sludge, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45: 5766 (2006).
35. Lin, S.H., Chen, M.L., Treatment of Textile Wastewater By Chemical Methods for Reuse, *Water Resource*, 31: 868-876, (1997).
36. Lin, S.H., Peng, C.F., Treatment of Textile Wastewaters By Electrochemical Method, *Water Res*, 28, 276-282, (1994).
37. Mameri, N., Lounici, H., Belhocine, D., Grib, H., Piron, D.L., Yahiat, Y., Defluoridation of Shara Water By Small Plant Electrocoagulation Using Bipolar Aluminium Electrodes, *Sep. Purif. Technol.*, 24: 113-119, (2001).
38. Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., Kasiri, M.B., Decolorization of Dye Solution Containing Acid Red 14 by Electrocoagulation With A Comparative Investigation Of Different Electrode Connections, *Journal of Hazardous Materials*, B112: 55-62, (2004).
39. Daneshvar, N., Khatae, A.R., Djafarzadeh, N., The Use Artificial Neural Networks (ANN) for Modeling Of Decolorization Of Textile Dye Solution Containing C.I. Basic Yellow 28 by Electrocoagulation Process, *Journal of Hazardous Materials*, 137:1788-1795, (2006).
40. Kobya, M., Demirbas, E., Can, O.T., Bayramoglu, M., Treatment of Levafix Orange Textile Dye Solution By Electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, B132: 183-188, (2006).
41. Ogutveren, U.B., Gonen, N., Koparal, A.S., Removal of Dye Stuffs From Waswater: Electrocoagulation of Acilan Blau Using Soluble Anode, *J. Environ. Sci. Health.*, A27(5): 1237-1247, (1992).
42. Xiong, Y., Strunk, P.J., Xia, H., Zhu, X., Karlsson, H.T., Treatment of Dye Wastewater Containing Acid Orange Ii Using A Cell With Three-Phase Three-Dimensional Electrode, *Water Res*, 35:4226-4230, (2001),
43. Koparal, A.S., Ogutveren, U.B., Removal of Nitrate From Water By Electroreduction And Electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 89: 83-94, (2002).
44. Kumar, P.R., Chaudhari, S.C., Khilar, K.C., Mahajan, S.P., Removal of Arsenic From Water By Electrocoagulation, *Chemosphere*, 55: 1245-1252, (2004).
45. Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O.T., Sozbir, M., Operating Cost Analysis Of Electrocoagulation Of Textile Dye Wastewater, *Sep. Purif. Technol.*, 37: 117-125, (2004).
46. Mollah, M.Y.A., Pathak, S.R., Patil, P.K., Vayuvegula, M., Agrawal, T.S., Gomes, J.A.G., Kesmez, M., Cocke, D.L., Treatment of Orange II Azo-Dye By Electrocoagulation (EC) Technique In A Continuous Flow Cell Using Sacrificial Iron Electrodes. *Journal of Hazardous Materials. B.* 109 (2004), 165-171.
47. Alinsafi, A., Khemis, M., Pons, M.N., Leclerc, J.P., Yaacoubi, A., Benhammou, A., Nejmeddine, A., Electro-coagulation of Reactive Textile Dyes And Textile Wastewater, *Chemical Engineering and Processing*, 44: 461-470, (2005).
48. Kim, T.K., Park, C., Shin, E.B., Kim, S., Decolorization of Disperse and Reactive Dyes By Continuous Electrocoagulation Process, *Desalination*, 150: 165-175, (2002).
49. Ahlawat, P., Srivastava, V.C., Mall, I.D., Sinha, S., Investigataion of The Electrocoagulation Treatment Of Cotton Blue Dye Solution Using Aluminium Electrodes, *Clean*, 36:(10-11) 863-869, (2008).
50. Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.P., Cocke, D.L., Electrocoagulation (EC)-Science and applications, *Journal of Hazardous Materials*, B84: 29-41, (2001).
51. Canizares, P., Carmona, M., Lobato, J., Martinez, F., Rodrigo, M.A., Electrodisolution Of Aluminum Electrodes in Electrocoagulation Processes, *Indian journal of Engineering Chemical Research*, 44: 4178-4185, (2005).
52. Gurses, A., Yalcin, M., Dogan, C., Electrocoagulation of Some Reactive Dyes; A Statistical Investigation Of Some Electrochemical Variable, *Waste Management*, 22: 491-499, (2002).
53. Rebhun, M., and Lurie, M., Control of Organic Matter By Coagulation and Separation, *Water Sci Technol*, 27: 1-20, (1993).
54. Do, J.S., and Chen, M.L., Decolorization of Dye-containing Solutions by Electrocoagulation, *J. Appl. Electrochem.*, 24: 785-790, (1994).
55. APHA, Standart Methods for examination of water and wastewater. American Water Work Association, (1992), New York.

56. Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., Djafarzadeh, N., Decolorization of Basic Dye Solutions By Electrocoagulation: An Investigation Of The Effect of Operational Parameters, *Journal of Hazardous Materials*, B129: 116- 122, (2006).
57. Can, O.T., Alüminyum Elektrotlar Kullanılarak Tekstil Atıksu ve Boyalarının Elektrokoagülasyon ile Arıtımı, GYTE Müh., ve Fen Bil. Ens.,Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2002.
58. Adhoum, N., Monser, L., Decolourization and Removal of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater By Electrocoagulation, *Chem. Eng. Process*, 43:(10) 1281–1287, (2004).
59. Çevre ve Orman Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Tablo 10. Tekstil sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları, 2004.