
Derleme Makalesi / Review Article

Atıksuların Arıtılmasında Elektrokoagülasyon Uygulamaları

Zinnur YILMAZ*, Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, TR-58140, Sivas, Türkiye

Öz

Elektrokoagülasyon (EC), yüksek giderme etkinliği ile su ve atıksuların arıtımı açısından basit ve etkili bir yöntemdir. Bu yöntem, kimyasal oksijen ihtiyacı, bulanıklık, amonyak, renk ve katı madde gibi çeşitli kirleticilerin giderilmesinde potansiyele sahiptir. Elektrokoagülasyon yönteminin etkinliği elektrot türü, bağlantı tipi, akım yoğunluğu, işletme süresi ve pH gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Son yıllarda birçok araştırma özellikle çıkış atıksularındaki çevresel kısıtlamaların artması nedeniyle elektrokoagülasyonun kullanımına odaklanmıştır. Bu çalışmada EC yöntemi ile yapılan araştırmalar incelenerek EC proses performansını etkileyen faktörler belirlenmiştir (atıksu karakteristikleri, pH, iletkenlik, işletme değişkenleri, akım yoğunluğu ve arıtma süresi gibi). Çalışma, çeşitli su ve atıksulardaki kirleticilerin EC prosesi kullanılarak giderimleri açısından prosesi etkileyen faktörlerin tanımlanması, karşılaştırılması ve tartışılmasını amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Atıksu, Atıksu Arıtımı, Elektrokoagülasyon, Endüstri.

Electrocoagulation Applications in Wastewater Treatment

Abstract

Electrocoagulation (EC) is a simple and effective method for treatment of water and wastewater with high removal efficiency. This method has the potential to remove various pollutants such as chemical oxygen demand, turbidity, ammonia, color and solid matter. The effectiveness of the electrocoagulation method depends on various factors such as electrode type, connection type, current density, operating time and pH. In recent years, many researches have focused on the use of electrocoagulation, especially as environmental restrictions have increased in the output effluent. In this study, the factors that affect EC process performance have been determined by researching the EC method (wastewater characteristics, pH, conductivity, operating variables, current density and treatment time). The study aims to identify, compare and discuss the factors affecting the process in terms of the removal of contaminants from various water and wastewater by using the EC process.

Keywords: Wastewater, Wastewater Treatment, Electrocoagulation, Industry.

1. Giriş

İnsan nüfusuna temiz içme suyu sağlanması bugün dünyanın en önemli problemlerinden birisidir. İnsan nüfusunun gün geçtikçe artması ile yeni tüketim modellerinin gelişmesiyle birlikte sanayi ve evsel atıklarının ve atıksularının toplam miktarındaki artışı nedeniyle önemli bir sorun haline gelmektedir [1, 2]. Atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemleri genellikle biyolojik ve fizikokimyasal arıtma prosesleridir. Biyolojik arıtma yöntemleri bakteriye, küçük mikroorganizmalara dayanan doğal bir süreçtir. Fizikokimyasal arıtım ise genellikle kimyasal ilavesi gerektiren bir yöntemdir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda elektrokimyasal teknolojiye dayanan umut verici ve kimyasal ilaveler gerektirmeyen mevcut tekniklerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlar arasında elektrokoagülasyon, elektrofлотasyon, elektrodokantasyon ve diğerleri bulunmaktadır. Kimyasal madde gerektirmeyen fizikokimyasal arıtım yöntemlerinden birisi elektrokoagülasyondur (EC). EC prosesi kimyasal koagülasyon (CC) prosesine göre sağladığı çeşitli avantajlarından dolayı tercih edilen bir proses olarak karşımıza çıkmaktadır [3]. Son on yılda Avrupa ve Güney Amerikada

*Sorumlu yazar: zinnuryilmaz@cumhuriyet.edu.tr
Geliş Tarihi: 01.10.2018, Kabul Tarihi: 08.01.2019

metal içeren atıksuların arıtımı için bu prosesin daha fazla kullanıldığı görülmektedir [4]. Ek olarak gıda atıkları [5], yağ atıkları, boyalar [6], askıdaki partiküller [7], petrol atıkları [8], kimyasal ve mekanik patlama atıkları [9], deponi alanları sızıntı suyundan organik madde giderimi [10], polimerik atıklar [11], sentetik deterjan ve fosfat içeren atıksularının giderimi [12], maden atıkları [13], ağır metal içeren atıkların [14-16], kâğıt [17] ve tekstil endüstrisi [18] gibi çeşitli endüstriyel atıksuların arıtılmasında uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Teknoloji elektriksel güç üretimini en aza indirmek atık giderim oranlarını en üst düzeye çıkarmak için optimize edilmiştir [3].

2. Elektrokoagülasyon (EC) Prosesi ve Temeli

EC prosesinde elektrotlarda hidroliz reaksiyonları sonucu oluşan metal hidroksit flokları sayesinde kısmi oksidasyon, koagülasyon, adsorpsiyon, çökeltme ve flotasyon işlemleri eşzamanlı olarak gerçekleşerek renk, türbidite ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderimi sağlanmaktadır. EC, çözünebilir ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal bir elektrotun kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir [20]. Temel olarak EC prosesi kullanılan çift metal (elektrot) ve çift taraflı (anot ve katot) düzenlenen düzenekle atıksu arıtma için kullanılan elektroliz işlemidir [3]. Yöntem kullanılan elektrot malzemesinin elektriksel olarak çözünmesiyle koagülantların oluşturulması prensibine dayanır [19]. EC prosesinin genel mekanizmasında koagülasyon, adsorpsiyon, absorpsiyon, çöktürme ve flotasyon prosesleri birlikte gerçekleşebilir [20]. Genellikle elektrokoagülasyon sonucunda seri olarak üç süreç oluşmaktadır.

- i- Elektrot yüzeylerindeki elektrolitik reaksiyonlar
- ii-Sıvı fazda pıhtılaşma (koagülasyonun) oluşumu
- iii- Koagülant üzerindeki çözünebilir ve ya kolloidal kirleticilerin adsorbe edilmesi, çöktürme yoluyla veya yüzdürme yoluyla uzaklaştırmadır [21,22].

Elektrot malzemesi olarak temini kolay ve ucuz olan alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} veya Fe^{+2}) en çok tercih edilen malzemelerdir [19]. Metal tabaka çiftlerin biri anot ve diğeri katot olarak bilinir [23]. EC işleminde kullanılan elektrotlar monopolar veya bipolar olarak düzenlenebilir [24]. EC’de, pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesi ile değil, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir [25]. Farklı elektrotların kullanılması atıksuda pH, yoğunluk, KOİ, amonyak, renk, askıda katı madde gibi kirleticilerin giderim mekanizmasına farklı etkiler oluşturur [26]. EC, kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektriksel yüklerden etkilenmesi prensibine dayanır [27]. EC prosesinde genellikle ard arda üç aşamanın olduğu kabul edilmektedir; 1. Elektrolitik oksidasyonda çözünen elektrot ile koagülant türlerinin oluşumu, 2. Kirleticilerin destabilizasyonu, partikül süspansiyonu ve emülsiyonların kırılması, 3. Destablize edilmiş fazlarda flokların toplanmasıdır [21, 22]. Bir elektrot için bir EC hücresinde meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir. Elektrokimyasal süreçte anotta yükseltgenme, kattotta ise indirgenme olur. EC’nun mekanizması, ortamın kimyasal özelliğine ve iletkenliğine bağlıdır. [28]. Pozitif yüklü iyonlar, çözüldükte negatif yüklü hidroksitler ile çekilir ve karşı iyonlar koagülasyona neden olduğu için dağılmış parçacıklara karşı daha güçlü bir çekim yapan iyonik hidroksitler üretilir.

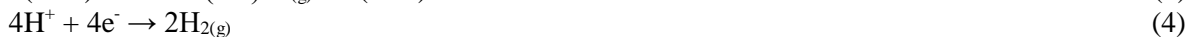
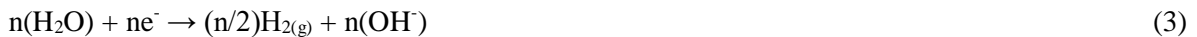
Anodik reaksiyon: Metal çözünmesi:

Anot:

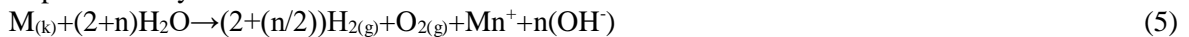


Katodik reaksiyon: Hidrojen gazı ve hidroksit iyonunun oluşması:

Katot:



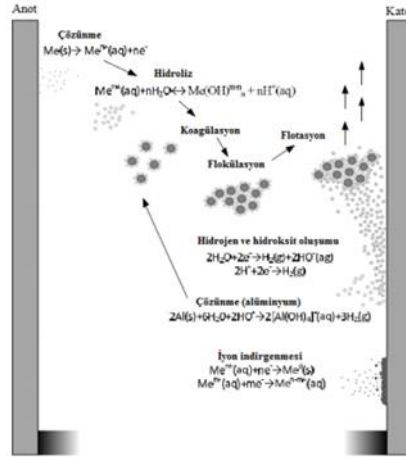
Toplam reaksiyon:



Çözüldükte koagülant oluşması:



EC'de anot olarak çözünen demir veya alüminyum elektrotlar kullanılması halinde bu elektrotlar çözünerek çözültüye Al^{+3} ve Fe^{+2} , Fe^{+3} iyonları vermekte olup, bu iyonlar sudaki hidroksil iyonları ile reaksiyona girerek çok az çözünen $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitleri oluşturur. EC sırasında oluşan metal hidroksit partiküllerinin adsorpsiyon özellikleri çok fazladır [21,29,30,31]. Metal hidroksitler elektrostatik çekim yoluyla farklı kirlilik parametrelerini adsorbe ederek dolaylı olarak sudan çökeltme yoluyla giderimi sağlanacaktır [32]. Kolloidal partiküllerin pıhtılaşmaya yönelik elektrik alan potansiyeli, kimyasal madde kullanımından daha yüksektir. Ve elektrokoagülasyon işleminde pıhtılaşma oranını artırır [33]. EC yöntemiyle arıtım işlemleri çöktürme ve filtrasyon işlemlerinden sonra tamamlanabilmektedir [34]. EC prosesinin temel mekanizması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. EC Metodunun Prensibi

Alışılmış koagülasyon flokülasyon uygulamalarına kıyasla EC, elektriksel alanın varlığından dolayı en küçük kolloid tanecikleri uzaklaştırabilme avantajına sahiptir [35]. Ayrıca oluşan çamur, temel olarak metal oksitleri veya hidroksitleri içermesiyle kolay çökebilir ve susuzlaştırılabilir bir yapı sergilemektedir [36]. EC işleminin etkinliğini etkileyen faktörler arasında elektrot tipi, elektrotlar arasındaki boşluk, elektrot sayısı, elektrolit büyüklüğü ve çalışma süresi gibi çeşitli faktörler vardır [37]. EC işlemi sırasında, katot oksitlenir (elektronları kaybeder) ve suyun içindeki flokların kolay şekilde çöktürülmesiyle birlikte arıtılma işlemi tamamlanır [38]. EC sistemi, koagülasyon flokülasyon uygulamalarına benzese de bu sistemlere kıyasla birçok avantajı vardır. EC teknolojisinin avantaj ve dezavantajları aşağıda tartışılmıştır.

EC'nin Avantajları;

1. EC basit ekipman gerektirir ve çalışma sırasında karşılaşılan sorunların üstesinden gelmek için yeterli işletme koşulları ile çalıştırılması kolaydır.
2. EC tarafından arıtılan atık su, berrak, renksiz ve kokusuz sudur.
3. EC tarafından oluşturulan çamur, esas olarak metalik oksitler / hidroksitler olduğu için sudan arındırılması kolay olma eğilimindedir. Her şeyden önce, düşük çamur üreten bir tekniktir.
4. EC tarafından oluşturulan floklar kimyasal floklara benzemektedir, ancak EC'den oluşan floklar daha büyüktür, daha az bağlı su içerir, asite dayanıklı ve daha stabildir. Bu nedenle filtrasyon ile daha hızlı ayrılabilir.
5. EC, kimyasal işlemlerle karşılaştırıldığında daha az toplam çözünmüş katı madde (TDS) içeriğine sahip atık su üretir. Bu durum ise eğer su tekrar kullanılacaksa düşük TDS seviyesi düşük olduğu için su geri kazanım maliyetine katkıda bulunacaktır.
6. EC prosesi, en küçük kolloidal partiküllerin bile giderilmesinde büyük avantaja sahiptir. Uygulanan elektrik alan, bunları daha hızlı harekete geçirir ve böylece koagülasyonu kolaylaştırır.
7. EC süreci kimyasalların kullanılmasını önler ve bu nedenle fazla kimyasalların nötrale edilmesi ile atık suların kimyasal pıhtılaşması kullanıldığında olduğu gibi yüksek konsantrasyonda ilave edilen kimyasal maddelerin neden olduğu sekonder kirlenme olasılığı yoktur.

8. Elektroliz sırasında üretilen gaz kabarcıkları, kirletici maddenin daha kolay konsantre edilebildiği, toplanabildiği ve çözeltinin üst yüzüne çıkarılabileceği özelliklerindedir.

9. EC hücresindeki elektrolitik prosesler, hareketli parça olmadan elektriksel olarak kontrol edilir, böylece daha az kontrol gerektirir.

10. EC prosesi, elektriğin mümkün olmadığı kırsal alanlarda uygun bir şekilde kullanılabilir, üniteye bağlı bir güneş paneli, işlemi gerçekleştirmek için yeterli olabileceğinden elektriğin mümkün olmadığı yerlerde kullanılabilir [4].

EC'nin Dezavantajları;

1. "Kullanılan elektrotlar" oksidasyon sonucunda atık suda çözülür ve düzenli olarak değiştirilmeleri gerekir.

2. Elektrik kullanımı birçok yerde pahalı olabilir.

3. EC ünitesinin verim kaybına yol açan katot üzerinde geçirimsiz bir oksit film oluşturulabilir.

4. Atıksu süspansiyonunun iletkenliği yüksek olması gereklidir

5. Jelatimsi hidroksit bazı durumlarda çözündürme eğilimi gösterebilir [4].

3. Elektrokoagülasyon Prosesi Uygulamaları

İçmesuyu, kağıt sanayi, hastane, çamaşırhane, restoran atıksular, tekstil, patates cipsi fabrikası, mezbahane atıksuyu gibi çeşitli atıksuların arıtılmasında EC prosesi kullanılmaktadır. EC işlemleri, arıtımı verimliliğini belirlemek için farklı tipte elektrotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Birçok çalışmada elektrot tipi, pH, akım yoğunluğu gibi EC arıtma performanslarını etkileyen faktörleri incelenmiştir. Araştırmacılar yapılan çalışmalar sonucunda ucuz ve kolay bulunması nedeniyle alüminyum ve demir elektrotun kullanılmasının en iyi seçim olduğunu belirtmiştir.

3.1. Tekstil atıksularında elektrokoagülasyon prosesi uygulamaları

Tekstil endüstrisi atık sularında KOİ/BOİ5 (biyokimyasal oksijen ihtiyacı) oranı 3-4 arasında değişmekte olup, bunun anlamı biyolojik olarak zor ayrışabilirliktir [39]. Rengi meydana getiren boyalar, biyolojik olarak parçalanmamaları ve canlılar üzerinde potansiyel toksidite oluşturmaları nedeni ile atıksu arıtımında problem yaratmaktadır. Boyama sırasında kullanılan kimyasal maddeler, kalıcı ve biyolojik olarak ayrışmasının zor olması nedeniyle biyolojik ve fizikokimyasal arıtma proseslerine karşı dirençli olup bu tip arıtma yöntemleri ile giderilememektedir [40,41]. Yapılan çalışmalarda EC prosesi ile tekstil atıksuları arıtımında yüksek KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri elde edilmiştir. Tekstil atıksularının arıtımında EC üzerine, kullanılan elektrotun cinsi (Alüminyum plaka ve Alüminyum folyodan plaka), başlangıç pH (7-9-10) ve ek olarak kullanılan yardımcı kimyasal maddenin (NaOH) etkisi araştırılmıştır. Analizlere göre 600 A/m² akım yoğunluğunda ve pH 10'da alüminyum elektrot plaka ile numunenin renginde %98'lik bir giderim verimi sağlamıştır [42]. Başka bir çalışmada ise EC prosesinde; kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), renk ve bulanıklık giderim verimi üzerine; başlangıç pH, akım yoğunluğu ve elektroliz süresinin etkisi incelenmiş ve yapılan deneysel çalışmalar sonucunda alüminyum elektrot kullanılarak, başlangıç pH:3, akım yoğunluğu 100 A/m² ve elektroliz süresi 20 dk'da renk, KOİ ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla %98, %72,5 ve %98 olarak bulunmuştur [43]. Diğer bir çalışmada ise demir elektrotu kullanmış pH 7, 100 A/m² akım yoğunluğu ve 10 dk elektroliz süresinde KOİ için %78 ve bulanıklık için %99 giderme verimleri elde edilmiştir [44]. Demir elektrotlarının kullanıldığı başka bir çalışmada ise bir önceki çalışmadaki aynı işletme şartları (pH:7, akım süresi:10dk, akım yoğunluğu 100 A/m²) [44] prosese uygulanmış ve deneyler sonucunda KOİ giderimi atıksuda %50 olarak hesaplanmıştır [37]. Tekstil atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'deki çalışmalar karşılaştırıldığında tekstil atıksularının EC ile arıtımında ortam asidik olduğunda, alüminyum elektrotları kullanıldığında prosesin KOİ ve bulanıklık açısından giderme verimleri, demir elektrottan daha yüksektir, nötr ve zayıf alkali ortamlarda ise demirden daha verimli olduğunu görülebilir.

Tablo 1. Tekstil Atıksularında EC Prosesi Uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
10	600	20	Al	98 ⁽³⁾		[42]
3	100	20	Al	99 ⁽²⁾	98 ⁽³⁾	[43]
7	100	10	Fe	78 ⁽¹⁾	99 ⁽²⁾	[44]
4	100	10	Al	60 ⁽¹⁾	98 ⁽²⁾	
7	100	10	Al	50 ⁽¹⁾		[37]
7	30	15	Fe	65 ⁽¹⁾	83 ⁽²⁾	[45]
5	30	15	Al	63 ⁽¹⁾	80 ⁽²⁾	
7	100	60	Fe	92 ⁽¹⁾		[46]
6	100	60	Al	92 ⁽¹⁾		
10.6	--	3	Fe	84 ⁽¹⁾		[47]
7	30	15	Fe	65 ⁽¹⁾	83 ⁽²⁾	[48]
5	30	5	Al	65 ⁽¹⁾	78 ⁽²⁾	

(1)KOI, (2)Bulanık, (3)Renk

3.2. Kağıt sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

Kağıt sanayisinde, kağıdın üretiminin her aşamasında su kullanılmakta ve aşırı bir şekilde atıksu oluşmaktadır. Araştırmacılar EC prosesi ile kağıt sanayi atıksuları için genellikle elektrot tipi olarak alüminyum ve demir kullanmış ve pH 6-7.7 aralığında kirleticiler için maksimum giderme verimleri elde etmişlerdir. Kağıt sanayi atıksuyunun alüminyum elektrotu kullanarak EC prosesi ile arıtılması aşamasında 140 A/m² akım yoğunluğunda, pH 7'de ve 50 dk işletim süresinde KOI için %98 ve renk için %99 oranında giderme verimleri elde edilmiştir. [49]. Alüminyum elektrotunun kullanıldığı başka bir araştırmada ise 150 A/m² akım yoğunluğunda, pH 7'de ve 30 dk işletim süresinde KOI ve renk giderim verimleri sırasıyla %90 %94 oranında bulunmuştur [50]. Diğer bir çalışmada ise araştırmacılar, pH 6, 70 A/m² akım yoğunluğu ve 60 dk. akım süresinde kağıt atıksuyunda EC işlemi uygulamış ve KOI ile renk giderim hesaplarını yaparak en uygun elektrot tipini araştırmıştır. Araştırmada KOI ve renk giderimleri için alüminyum-alüminyum, alüminyum-demir, demir-alüminyum ve demir-demir elektrot tipleri kullanılarak deneyler yapılmış KOI giderimi için demir-demir elektrot çiftinde %85, renk için ise alüminyum-alüminyum elektrot çiftinde %88 giderme verimi elde etmişlerdir [17]. Kağıt sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'deki çalışmalar karşılaştırıldığında kâğıt sanayi atıksularının EC ile arıtımında ortam nötral olduğunda ve alüminyum elektrotları kullanılarak prosenin KOI ve renk açısından giderme verimlerinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Kağıt sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
7	140	50	Al	98 ⁽¹⁾	99 ⁽²⁾	[49]
7	150	30	Al	90 ⁽¹⁾	94 ⁽²⁾	[50]
7.50	48	7.5	Al	75 ⁽¹⁾		[51]
6	70	60	Al	72 ⁽¹⁾	88 ⁽²⁾	[17]
6	70	60	Al-Fe	79 ⁽¹⁾	82 ⁽²⁾	
6	70	60	Fe-Al	80 ⁽¹⁾	65 ⁽²⁾	
6	70	60	Fe	85 ⁽¹⁾	50 ⁽²⁾	
7.7	100	90	Al	68 ⁽¹⁾	46 ⁽³⁾	[52]
7.5	77	5	Fe	56 ⁽¹⁾		[53]

(1)KOI, (2)Renk, (3)Çözünmüş Organik Karbon

3.3. Hastane atıksularının gideriminde EC prosesi uygulamaları

Hastane atıksuları, en tehlikeli kirlilik türlerinden biridir. Bu atıksular, bakteriler, virüsler ve parazitler gibi patojenler, ayrıca tehlikeli kimyasal bileşikler, farmasötik bileşikler ve radyoaktif izotoplar ile kirlenmiş sulardır. Araştırmacılar EC prosesi ile hastane atıksuları için elektrot türü olarak alüminyum, demir ve çelik kullanmış ve deneyler pH 3-7.56 aralığında gerçekleştirilerek Toplam Organik Karbon (TOK) ve KOI için maksimum giderme verimlerini elde etmişlerdir. Hastane atıksuyunun EC prosesi ile arıtımında demir, alüminyum ve çelik elektrotları kullanarak TOK için giderme verimlerini hesaplanmış ve en yüksek verimin pH 7.56, 24.5 A/m² akım yoğunluğunda ve 20 dk elektroliz süresinde %99 giderme verimi ile paslanmaz çelik elektrotta elde etmişlerdir. [54]. Bir çalışmada ise pH 6.8'de 122 A/m² akım yoğunluğunda, 75 dk akım süresince demir elektrotları kullanarak %100 oranında KOI giderimi elde edilmiştir [28]. Bu çalışmaya yakın koşullar olarak yapılan diğer bir çalışmada ise pH 7.1'de, 130 A/m² akım yoğunluğunda, 9 dk akım süresinde demir elektrotu kullanarak %96 oranında KOI giderim verimi elde edilmiştir. [55]. Hastane atıksularında EC prosesi ile arıtım uygulamaları Tablo 3'te sunulmuştur. Yapılan çalışmaların sonuçlarına baktığımızda EC prosesinin, hastane atıksularındaki organik kirleticileri gidermek için etkili bir arıtım yöntemi olduğunu göstermiştir.

Tablo 3. Hastane atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi	
7.56	44.6	20	Fe	98 ⁽²⁾	[54]
5.44	54.4	20	Al	98 ⁽²⁾	
7.56	24.5	20	St	99 ⁽²⁾	
6.8	122	75	Fe	100 ⁽¹⁾	[28]
7.1-7.3	130	9	Fe	96 ⁽¹⁾	[55]
3	30 V	60	Fe	87 ⁽¹⁾	[56]
	12 V	34	Al	65 ⁽¹⁾	[57]

⁽¹⁾KOI, ⁽²⁾TOK

3.4. İçme sularında EC prosesi uygulamaları

Literatür incelemeleri sonucunda içme sularından EC prosesiyle kirleticilerin giderimi hakkında fazla sayıda çalışma bulunmamaktadır. İçmesularını EC prosesiyle arıtımında kirletici giderimi olarak çözülmüş organik madde (ÇOK), arsenik, nitrat ve bulanıklık üzerine çalışmalar mevcuttur. İçme suyu arıtımı için pH 7.9'da akım yoğunluğu 10 A/m²'de ve akım süresi olarak 3 dk sabit koşullarda elektrot türünü değiştirilerek bulanık giderimleri incelenmiş ve bu şartlar altında içme suyunda bulanık giderimi demir elektrotu için %96 ve alüminyum elektrotu için ise %99 olarak bulunmuştur [3]. İçme sularında arsenik gideriminde EC prosesi kullanarak yapılan bir çalışmada ise demir ve alüminyum elektrotları kullanmış, alüminyum elektrotu için pH 7'de, 2.5 A/m² akım yoğunluğunda ve 2.5 dk işletim süresinde %93.5, demir elektrotunun kullanıldığı deneylerde ise 6.5 pH'da, 2.5 A/m² akım yoğunluğunda ve 2.5 dk akım süresinde %94'lük giderme verimleri elde edilmiştir [58]. Benzer bir çalışmada ise aynı pH'larda (demir elektrotu için pH 6.5; alüminyum elektrotu için pH: 7) ve aynı akım yoğunluğunda (2.5 A/m²) demir elektrotu için 12.5 dk, alüminyum elektrotu için 15 dk akım süresi boyunca demir elektrotu kullanılan EC işleminde arsenik giderimi %93.5, alüminyum elektrotunda ise %96'luk bir giderme verimleri bulunmuştur [59]. İçme sularında EC prosesi uygulamaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. İçme sularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi	
7.9	10	3	Fe	96 ⁽²⁾	[3]
7.9	10	3	Al	99 ⁽²⁾	
6.5	2.5	2.5	Fe	94 ⁽²⁾	[58]
7	2.5	4	Al	93.5 ⁽¹⁾	
7	2.5	15	Al	96 ⁽¹⁾	[59]
6.5	2.5	12.5	Fe	93.5 ⁽¹⁾	
5	20	20	Al	78 ⁽³⁾	[60]
6	20	20	Fe	65 ⁽³⁾	
7-7.2	25 V	480	Fe	84 ⁽⁴⁾	[61]
7-7.2	20 V	480	Fe	75 ⁽¹⁾	
6.8	10	60	Fe	99.6 ⁽¹⁾	[62]

⁽¹⁾Arsenik, ⁽²⁾Bulanıklık, ⁽³⁾Çözünmüş Organik Karbon, ⁽⁴⁾Nitrat

3.5. Mezbahane atıksularında EC prosesi uygulamaları

EC prosesi ileri atıksu arıtma teknolojisi olarak mezbahane atıksularının arıtımı için kullanılmıştır. Kimyasal madde eklemeyen bir elektrik akımı sağlayarak mezbahane atıksularından organik maddelerin, besin maddelerinin, ağır metallerin ve hatta patojenlerin giderilmesi için EC prosesinin etkili bir teknoloji olduğu görülmektedir. EC prosesi için Al, Fe, Pt, SnO₂, TiO₂ ve diğer kullanılan elektrot türleri arasında en yaygın Fe ve Al elektrotlarının kullanıldığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, elektrot tipi ve elektrik enerjisi tüketiminin irdelendiği mezbahane atıksuyunda yağ-gres ve KOİ giderimi için, pH, akım süresi, elektrot malzemesi ve EC sürecinin akım yoğunluğuna etkisi incelenmiş, elektrot malzemesi olarak Al elektrotunun kullanıldığı deneylerde 150 A/m² akım yoğunluğunda %93 oranında, Fe elektrotun kullanıldığı deneylerde ise %86 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir [63]. Başka bir çalışmada ise pilot ölçekte deneyler çelik ve Al elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, hafif çelik bipolar elektrotların kullanıldığı çalışmada, KOİ, BOİ, TKM, bulanıklık ve yağ-gres için sırasıyla % 82, 86, 93, 90 ve 99 oranında bir giderme veriminin elde edildiğini göstermektedir [64]. Farklı bir çalışmada ise düşük pH ve yüksek yoğunlukta yüksek giderim verimleri elde edilmiş ve pH 3.0, 20 A/m² akım yoğunluğu ile %85 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir [65]. Benzer şekilde, Fe elektrotları kullanarak mezbahane atıksuyunun arıtımı için EC performansı değerlendirilmiştir. Akım yoğunluğu, çalışma süresi ve elektrot sayısının artırılmasıyla organik madde ve besin maddesi giderim oranları artırılmıştır. Sonuçlar, BOİ, KOİ, TN ve TKM için sırasıyla % 97, 93, 84 ve % 81 oranında giderme verimlerinin elde edildiğini göstermektedir [66]. Mezbahane atıksularında EC prosesi uygulamaları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Mezbahane atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
3	150	25	Fe	86 ⁽¹⁾		[63]
3	150	25	Al	93 ⁽¹⁾		
6.1 -6.5	0.3A	60	Fe	82 ⁽¹⁾	90 ⁽²⁾	[64]
4	10	20	Al	85 ⁽¹⁾		[65]
7.1	25	50	Fe	93 ⁽¹⁾	97 ⁽³⁾	[66]
4	100	20	Al	78 ⁽¹⁾	90 ⁽²⁾	[67]
6	100	20	Fe	77 ⁽¹⁾	96 ⁽²⁾	
3	150	25	Fe	98 ⁽¹⁾		[68]
3	150	25	Al	93 ⁽¹⁾		

⁽¹⁾KOİ, ⁽²⁾Bulanık, ⁽³⁾BOİ

3.6. Süt ve yumurta sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

Süt atıksuları genellikle yüksek konsantrasyonlarda biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), genellikle yağ ve besin maddeleri açısından zengin sulardır. Süt endüstrisi atıksularının EC prosesi ile arıtımında genellikle KOİ, bulanıklık ve yağ-gres giderimleri üzerinde durulmuştur. Süt endüstrisi atıksularında KOİ ve Yağ-gres giderimini gerçekleştirmek için yapılan çalışmada pH 7’de, 6 A/m² akım yoğunluğunda, 1 dk akım süresinde demir elektrotu kullanarak EC işlemi uygulamış ve KOİ için %99, yağ-gres için ise %99 oranında bir giderim verimleri [69] başka bir çalışmada ise pH 7’de akım yoğunluğu 43 A/m² ve 25 dk akım süresinde alüminyum elektrotları kullanılarak % 61 KOİ ve %100 oranında bulanıklık giderme verimleri elde edilmiştir [70]. Süt ve Yumurta Sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları Tablo 6’da özetlenmiştir. Tablo 6 elektrot türü bakımından incelendiğinde demir elektrotları ile yapılan çalışmalarda KOİ giderimi açısından yüksek değerler verdiği görülmektedir. Her iki elektrot türü (alüminyum-demir) de süt ve yumurta sanayi atıksularında bulanıklık için %100 oranında giderim verimine ulaşıldığını göstermektedir.

Tablo 6. Süt ve Yumurta Sanayi atıksularında EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
7	6	1	Fe	98 ⁽¹⁾	99 ⁽³⁾	[69]
7	43	25	Al	61 ⁽¹⁾	100 ⁽²⁾	[70]
6-8	2700	50	Fe	70 ⁽¹⁾	100 ⁽²⁾	[20]
7	185	14	Fe	95 ⁽¹⁾	97 ⁽²⁾	[71]
6	0.65	20	Al	80 ⁽¹⁾	100 ⁽²⁻⁴⁾	[72]

⁽¹⁾KOİ, ⁽²⁾Bulanık, ⁽³⁾Yağ-Gres, ⁽⁴⁾TKM

3.7. Sızıntı sularında EC prosesi uygulamaları

Depolama sahalarındaki mevcut sızıntı suyu, karmaşık bir atıksudur ve çevreye olumsuz etkisi olan kirlenici maddelere sahiptir. Bir şehir depolama sahası sızıntı suyunda EC prosesi ile KOİ, bulanıklık, renk ve toplam azotun giderilmesi için alüminyum elektrotunun kullanıldığı deneysel çalışmalarda pH 8, 250 A/m² akım yoğunluğu, 30 dk akım süresinde %70 KOİ ve %60 oranında bulanıklık giderim verimleri elde edilmiştir [73]. Sızıntı suyunun arıtımı için EC prosesinin uygulandığı başka bir çalışmada ise pH 8, 95 A/m² akım yoğunluğunda ve 135 dk akım süresince 40 adet alüminyum elektrotun kullanıldığı deneylerde %80 renk ve %83 oranında bulanıklık giderimi hesaplanmıştır [74]. Yapılan çalışmalar EC prosesiyle sızıntı suyundaki KOİ giderim verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisinin akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğunun 348’den 631 A/m²’a artmasıyla arıtma şartlarının da değiştiği, akım yoğunluğunun artmasıyla KOİ giderim verimliliğinin % 45.5’ten %59’a çıktığını göstermektedir [75]. Diğer bir çalışmada ise akım yoğunluğu 600 A/m² uygulanması ile KOİ gideriminde optimum azalmanın %81 olduğu belirtilmiş, akım yoğunluğunun azaltılmasıyla KOİ gideriminin de buna paralel olarak azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [76]. Başka bir çalışmada ise araştırmacılar, EC prosesiyle sızıntı suyu arıtımında pH faktörünün EC sürecinin performansında en önemli parametrelerden birisi olduğunu vurgulamışlardır. pH değeri çoğunlukla katotlardaki elektrot türlerinden ve artan akım yoğunluğundan etkilenmektedir. pH, EC’nin tüm performansını etkileyen ana faktörlerden biridir [77]. KOİ gideriminin amaçlandığı bir çalışmada pH 6’da giderim veriminin %81 olarak bulunduğu daha asidik şartlarda KOİ gideriminin azaldığı sonucuna varılmıştır [76]. Bununla birlikte başka bir çalışmada ise araştırmacılar, pH’ın alkali durumda olduğu zaman, KOİ’nin % 95.8 oranında giderildiğini ve pH 4’te KOİ’nin %73.6 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir [78]. Sızıntı sularının EC prosesi uygulamaları Tablo 7’de özetlenmiştir. Tablo 7 incelendiğinde EC prosesi ile sızıntı suyu arıtımında alüminyum elektrotlarının kullanılması durumunda pH’ın yükselmesiyle birlikte KOİ’deki giderim verimi de yükselmektedir.

Tablo 7. Sızıntı sularının EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
8	250	30	Al	70 ⁽¹⁾	60 ⁽²⁾	[73]
8	95	135	Al	80 ⁽³⁾	83 ⁽²⁾	[74]
8.2	348	30	Al	45 ⁽¹⁾		[75]
6	600	30	Fe	81 ⁽¹⁾	72 ⁽³⁾	[76]
7	50	90	Fe	50 ⁽¹⁾	70 ⁽²⁾	[77]
5.8	9 V	35	Al	96 ⁽¹⁾	97 ⁽²⁾	[78]
6.6	159	30	Al	45 ⁽¹⁾	60 ⁽³⁾	[79]
8	0,15	240	(Sn-Pd-Ru)-St	92 ⁽¹⁾		[80]
6.5	300	180	Fe	68.5 ⁽¹⁾		[81]

⁽¹⁾KOI, ⁽²⁾Bulamık, ⁽³⁾Renk**3.8. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları**

Akdeniz bölgesinde, çevreye yılda 30 milyon m³ zeytinyağı sanayi atıksuyu deşarj edilmektedir [82]. Zeytinyağı atıksuyu genel olarak, su (ağırlıkça % 83-92), organik madde (ağırlıkça% 4-16) ve minerallerden (ağırlıkça% 1-2) oluşur. Zeytin özünden elde edilen suda çözünebilen biyofenolik bileşiklerin (zeytin meyvesindeki toplam fenollerin% 98'i) varlığı, zeytin çekirdeğindeki yağ ekstraksiyonu sırasında en yüksek kirletme kapasitesini temsil eder [83, 84, 85]. Türkiye'de önemli zeytinyağı üreticilerinden ve bir zeytinyağı sürekli işleme tesisinden gelen atıksuyunun arıtımı için EC prosesi uygulanmış ve bu amaçla, reaktörde alüminyum ve demir elektrotlar kullanılmıştır. Araştırma, %52 KOI'nin alüminyum anot ile %42'sinin ise 30 dakika akım süresiyle demir anot tarafından giderilebileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca, KOI giderim yüzdesinin, akım yoğunluğunun artmasıyla arttığı gözlenmiştir [86]. Başka bir çalışmada ise zeytinyağı sanayi atıksuyuna 400 A/m² akım yoğunluğunda, pH 6'da ve 45 dk akım süresinde alüminyum elektrotları ile birlikte EC işlemi uygulanmıştır. Araştırmacılar 45 dk işletim süresi sonunda KOI açısından %59'luk bir giderim verimi tespit etmişlerdir [87]. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 8'de sunulmuştur. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi ile arıtımında pH, kirletici tipi ve konsantrasyonu, kabarcık boyutu ve flok stabilitesi işletimi etkilemektedir [88].

Tablo 8. Zeytinyağı sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
6	400	30	Al	52 ⁽¹⁾	97 ⁽²⁾	[86]
6	400	30	Fe	42 ⁽¹⁾	93 ⁽²⁾	
6	400	45	Al	59 ⁽¹⁾		[87]
4.2	250	15	Al	70 ⁽¹⁾	100 ⁽²⁾	[88]
5.5	750	60	Fe	78 ⁽¹⁾		[89]
6.5	750	60	Al	55 ⁽¹⁾		
4.96	750	25	Al	76 ⁽¹⁾	95 ⁽²⁾	[90]
5	250	50	Al-Fe	40 ⁽¹⁾		[91]
7.2	20 A	120	Fe	34 ⁽¹⁾	75 ⁽²⁾	[92]
4.6	337.5	60	St	6 ⁽¹⁾	63 ⁽³⁾	[93]
4.6	225	45	Al	35 ⁽¹⁾	34 ⁽³⁾	

⁽¹⁾KOI, ⁽²⁾Renk, ⁽³⁾TOK

3.9. Gıda sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

Bir gıda endüstrisi atıksuyunun arıtımında EC, yağ ve gresin giderilmesinde etkilidir, ancak çözünmüş organik bileşikler için geçerli değildir. Gıda endüstrisi atıksuyunun alüminyum elektrot kullanılarak kesikli sistemde EC yöntemi ile arıtımının yapıldığı çalışmada pH, iletkenlik, akım yoğunluğu ve reaksiyon süresinin etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada optimum koşullar pH=7, iletkenlik=3.5 ms/cm, akım yoğunluğu =18.3 A/m² ve işletim süresi=30 dk. olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda %95 KOİ giderim verimi elde edilirken işletme maliyeti de 0.98 TL/m³ arıtılan atıksu olarak belirlenmiştir [94]. Başka bir çalışmada ise restoran atıksuları için pH'nın elektrokimyasal işlemin performansını etkileyen önemli bir çalışma faktörü olduğu belirlenmiştir. Atıksuda KOİ iki kaynaktan, yağ ve gres ile çözünmüş organik bileşiklerden oluşur. KOİ giderilmesinde, pH 10'dan büyük olduğu zaman pH'ta dramatik bir şekilde düşüş gözlenmiştir. Çoğu restoran atıksularındaki pH'ın 6-10 aralığında olduğu düşünüldüğündedir. Araştırmacı yaptığı çalışmada, pH'nın düşük olması durumunda pH artışı meydana geldiğini bununla birlikte, aynı zamanda, pH'nın 9'un üzerinde olması durumunda, bir pH düşüşünün meydana geldiği de bulunmuştur. Başka bir deyişle, EC pH nötrleştirme olarak hareket edebildiğini buldu [95]. Gıda sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Gıda sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

	pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi	
Gıda	7	18.3	30	Al	95 ⁽¹⁾	[94]
	4	18	40	Al	88 ⁽¹⁾	[96]
Patates	6.83	65	60	Al	81 ⁽²⁾	[97]
	6.32	65	30	Fe	91 ⁽²⁾	
	5	200	40	Al	60 ⁽¹⁾ 98 ⁽³⁾	[98]
Restoran	6.6	80	20	Fe	95 ⁽¹⁾	[95]
	6.6	80	20	Al	97 ⁽¹⁾	
	6	80	30	Al	90 ⁽¹⁾	[99]

⁽¹⁾KOI, ⁽²⁾Toplam Fosfor, ⁽³⁾Bulanık

3.10. Diğer sanayi atıksularının EC prosesi uygulamaları

Araba yıkama suyunda yapılan EC işlemi ile arıtımda, optimum deney koşullarında (gerçek pH 6.4, elektroliz süresi 6dk ve uygulanan akım 2 A/m²) EC yönteminin, düşük enerji tüketimi ile yaklaşık %75 KOİ'yi, giderilebileceğini ortaya koymuştur. Araştırmacılara göre, araba yıkama suyunun EC yoluyla arıtılmasında uygulanan akım şiddeti KOİ giderim oranı üzerinde neredeyse bağımsız, ancak uygulanan akımın artışı enerji tüketiminin artmasına neden olmuştur [100]. Başka bir çalışmada ise çamaşırhane atıksuyu arıtımı için EC işleminin alüminyum elektrotlarla performansı araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, KOİ, fosfor, deterjan, renk ve bulanıklık giderme verimliliğini, artan voltaj, akım süresi ile anot ve katot arasında ekstra alüminyum plakaların eklenmesiyle arttığını göstermektedir. İşlemden sonra, KOİ, fosfor, deterjan, renk ve bulanıklık giderme yüzdeleri sırasıyla % 93.2,% 96.7,% 93.5,% 90.1 ve% 95.9 olarak bulunmuştur [101]. Diğer atıksularının EC prosesi uygulamaları Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10. Diğer atıksularının EC prosesi uygulamaları

	pH	Akım Yoğunluğu (A/m ²)	Akım Süresi (dk)	Elektrot Türü	Giderim Yüzdesi		
Araba	6.4	20	6	St	97 ⁽¹⁾		[100]
Boya Üretimi	6.95	350	15	Al	94 ⁽¹⁾	89 ⁽²⁾	[102]
	6.95	350	15	Fe	93 ⁽¹⁾	88 ⁽²⁾	
Çamaşır hane	8-9	0-2 A	80	Al	93 ⁽¹⁾	97 ⁽³⁾	[101]
	7.5	37	40	Al	62 ⁽¹⁾		[103]
Çay	6	24 V	---	St	97 ⁽¹⁾	100 ⁽⁴⁾	[104]
Evsel Atıksu	7	0.8 A	5	St	95 ⁽⁵⁾	99 ⁽⁶⁾	[105]

⁽¹⁾KOI, ⁽²⁾TOK, ⁽³⁾Toplam Fosfor, ⁽⁴⁾Renk, ⁽⁵⁾TKM

4. Sonuç ve Öneriler

Tekstil atıksularının EC ile arıtımında ortam asidik olduğunda, alüminyum elektrot kullanıldığında prosesin KOI ve bulanıklık açısından giderme verimlerinin, demirden daha yüksek olduğu, nötr ve zayıf alkali ortamlarda ise demir elektrotun daha verimli olduğu açığa çıkmaktadır. Kâğıt sanayi atıksularının EC ile arıtımında ortam nötr olduğu durumlarda alüminyum elektrotları kullanılarak KOI ve renk açısından giderme verimlerinin daha yüksek olduğunu görülmektedir. EC prosesinin hastane atıksularında organik kirleticileri gidermek için etkili bir arıtım yöntemi olduğunu göstermiştir. Hastane atıksularında TOK ve KOI kirleticilerinin giderilmesinde incelenen araştırmalar sonucunda pH değerinin önemi olmadığı görülmektedir. İçme sularında EC prosesiyle arıtımında ise insan sağlığına zararlı olan arsenik gibi metallerin arıtımında prosesin etkin olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında içme sularında kirletici olarak nitelendirilen nitrat, çözünmüş organik karbon ve bulanıklık gibi parametrelerin neredeyse tamamına yakınının giderildiği sonucuna varılmaktadır. Süt ve yumurta sanayi atıksularının EC ile arıtımında alüminyum-demir elektrot türü açısından incelendiğinde demir elektrotları ile yapılan çalışmalarda KOI giderimi bakımından yüksek değerler verdiği görülmektedir. Her iki elektrot türü için (alüminyum-demir) de pH 6-8 aralığında süt ve yumurta sanayi atıksularında bulanıklık için %100 oranında giderim verimine ulaşıldığı görülmektedir.

Çalışmalarda, genellikle alüminyum elektrotunun çeşitli atıksuların arıtılmasında katı madde ve KOI gideriminde yüksek miktarda giderim verimi elde edildiği için demir elektrottan daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Ayrıca sızıntı suyu arıtımı için, alüminyum elektrot aynı zamanda renk, bulanıklık ve KOI üzerindeki demir elektroduna kıyasla, giderim yüzdesini açısından daha iyi bir etki gösterdiği görülmektedir. Akım yoğunluğu EC performansları için en önemli faktörlerden biridir. Akım yoğunluğundan başka pH faktörü de EC performansları için de önemli bir faktör olarak görülmektedir. Katot aktiviteleri de pH değerini etkilemektedir.

Zeytinyağı sanayi atıksularında ise KOI gideriminin yüzdesinin, akım yoğunluğunun artmasıyla arttığını gözlenmiştir.

EC prosesinde farklı elektrot malzemeleri kullanılarak farklı oranlarda sudaki kirlilik parametrelerinde (KOI, bulanıklık renk ve amonyak) giderimi ile sonuçlanır. Mevcut literatürün analizi, atıksulardan, laboratuvar ve pilot tesis ölçeğindeki farklı kirleticilerin giderilmesi için EC yaklaşımının geçerliliğine işaret etmektedir. Bu açıdan elektrokimyasal teknoloji, bazı durumlarda kirleticileri tamamen giderilmemesine rağmen, yüksek kirletici içeriğini de önemli ölçüde azaltabilmektedir. Öte yandan, biyolojik yöntemlerle arıtılmadan önce bu yöntemlerin uygulanmasına odaklanan araştırmalar, daha ekonomik geçerli yöntemleri önermek için yürütülmektedir. Ayrıca, EC'de enerji giderleri bakımından, ucuz ve yenilenebilir enerjilerin (güneş ışığı veya rüzgar enerjisi) alternatif kullanımı, uygulamada çok daha cazip eko sürdürülebilir süreçlerin yapılması için de araştırılmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Bashir M.J., Isa M.H., Kutty S.R.M., Awang Z.B., Aziz H.A., Mohajeri S., Farooqi I.H. 2009. Landfill Leachate Treatment By Electrochemical Oxidation, *Waste Management*, 29 (9): 2534-2541.
- [2] Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P. 2008. Landfill Leachate Treatment: Review And Opportunity, *Journal Of Hazardous Materials*, 150 (3): 468-493.
- [3] Özyonar F., Karagözoğlu B. 2012. İçme Sularından Elektrokoagülasyon Ve Kimyasal Koagülasyon İle Bulanıklığın Giderimi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27 (1): 81-89.
- [4] Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.R., Cocke D.L. 2001. Electrocoagulation (Ec)—Science And Applications, *Journal Of Hazardous Materials*, 84 (1): 29-41.
- [5] Do J.S., Chen C.P. 1994. In Situ Oxidative Degradation Of Formaldehyde With Hydrogen Peroxide Electrogenerated On The Modified Graphites, *Journal Of Applied Electrochemistry*, 24 (9): 936-942.
- [6] Mameri N., Lounici H., Belhocine D., Grib H., Piron D.L., Yahiat Y. 1998. Defluoridation Of Septentrional Sahara Water Of North Africa By Electrocoagulation Process Using Bipolar Aluminium Electrodes, *Water Research*, 32 (5): 1604-1612.
- [7] Pogrebnyaya V.L., Klimentko A.A., Bokovikova T.N, Tsymbal E.P., Pronina N.P. 1995. Purification Of Waste Water Of Heavy Metals By Electrocoagulation, *Chemical And Petroleum Engineering*, 31 (5): 280-281.
- [8] Biswas N., Lazarescu G. 1991. Removal Of Oil From Emulsions Using Electrocoagulation, *International Journal Of Environmental Studies*, 38 (1): 65-75.
- [9] Belongia B.M., Haworth P.D., Baygents J.C., Raghavan S. 1999. Treatment Of Alumina And Silica Chemical Mechanical Polishing Waste By Electrodecentration And Electrocoagulation, *J. Elec-Trochem. Soc.*, 146 (11): 4124-4130.
- [10] Tsai C.T., Lin S.T., Shue Y.C., Su P.L. 1997. Electrolysis Of Soluble Organic Matter İn Leachate From Landfills, *Water Res.*, 31 (12): 3073-3081.
- [11] Panizza M., Bocca C., Cerisola G. 2000. Electrochemical Treatment Of Wastewater Containing Polyaromatic Organic Pollutants, *Water Res.*, 34 (9): 2601-2605.
- [12] Takdastan A., Farhadi M., Salari J., Kayedi N., Hashemzadeh B., Mohammadi M.J., Rahimi S., Khaniabadi Y.O., Vosoughi M., Sadeghi S., Zahedi A. 2017. Electrocoagulation Process For Treatment Of Detergent And Phosphate, *Arch Hyg Sci.*, 6 (1): 66-74.
- [13] Touahria S., Hazourli S., Touahria K., Eulmi A., Aitbara A. 2016. Clarification Of Industrial Mining Wastewater Using Electrocoagulation. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 11: 5710-5723.
- [14] Al-Shannag M., Al-Qodah Z., Bani-Melhem K., Qtaishata M.R., Alkasraw M. 2015. Heavy Metal İons Removal From Metal Plating Wastewater Using Electrocoagulation: Kinetic Study And Process Performance, *Chemical Engineering Journal*, 260: 749-756.
- [15] Adhoum N., Monser L., Bellakhal N., Belgaied J.E. 2004. Treatment Of Electroplating Wastewater Containing Cu²⁺, Zn²⁺ And Cr(VI) By Electrocoagulation, *Journal Of Hazardous Materials*, 112 (3): 207-213.
- [16] Fu F., Wang Q. 2011. Removal Of Heavy Metal İons From Wastewaters: A Review, *Journal Of Environmental Management*, 92 (3): 407-418.
- [17] Katal R., Pahlavanzadeh H. 2011. Influence Of Different Combinations Of Aluminum And İron Electrode On Electrocoagulation Efficiency: Application To The Treatment Of Paper Mill Wastewater, *Desalination*, 265 (1-3): 199-205.
- [18] Khandegar V., Saroha A.K. 2013. Electrocoagulation For The Treatment Of Textile İndustry Effluent – A Review, *Journal Of Environmental Management*, 128: 949-963.
- [19] Donini J.C., Kan J., Szykarczuk J., Hassan T. 1994. The Operating Cost Of Electrocoagulation, *The Canadian Journal Of Chemical Engineering*, 72 (6): 1007-1012.
- [20] Kushwaha J.P., Srivastava V.C., Mall I.D. 2010. Organics Removal From Dairy Wastewater By Electrochemical Treatment And Residue Disposal, *Separation And Purification Technology*, 76 (2): 198-205.
- [21] Canizares P., Carmona M., Lobato J., Martinez F., Rodrigo M.A. 2005. Electrodissolution Of Aluminum Electrodes İn Electrocoagulation Processes, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44 (12): 4178-4185.

- [22] Holt P.K., Barton G.W., Wark M., Mitchell C.A. 2002. A Quantitative Comparison Between Chemical Dosing And Electrocoagulation, *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 211 (2-3): 233-248.
- [23] Roopashree G.B., Lokesh K.S. 2013. Comparative Study Electrode Material (İron, Aluminum And Stainless Steel) For Treatment Of Textile Industry Wastewater, *International Journal Of Environmental Sciences*, 4 (4): 519-531.
- [24] Lin S.H., Chang C.C. 2000. Treatment Of Landfill Leachate By Combined Electroco-Fenton And Sequencing Batch Reactor Method, *Water Research*, 34 (17): 4243-4249.
- [25] Koparan A.S., Gökçen Ş., Ögütveren Ü. 1999. Petrol Formasyon Suyunun Elektrokimya Ve Geleneksel Yöntemler İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu Iıı, Pp.370-390, 18-19 Kasım, Gebze, Kocaeli.
- [26] Naje A.S., Abbas S.A. 2013. Electrocoagulation Technology İn Wastewater Treatment: A Review Of Methods And Application, *Civil And Environmental Research*, 3 (11): 29-42.
- [27] Yıldız Y.Ş. 2003. Humik Maddeler İçeren Atık Suların Elektrokogülasyon Metodu İle Arıtımı, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- [28] Mahajan R., Khandegar V., Saroha A.K. 2013. Treatment Of Hospital Operation Theatre Effluent By Electrocoagulation, *International Journal Of Chemical And Environmental Engineering*, 4 (2): 104-107.
- [29] Gürses A., Yalçın M., Doğar C. 2002. Electrocoagulation Of Some Reactive Dyes: A Statistical Investigation Of Some Electrochemical Variables, *Waste Management*, 22 (5): 491-499.
- [30] Cañizares P., Martínez F., Jiménez C., Lobato J., Rodrigo M.A. 2006. Comparison Of The Aluminium Speciation İn Chemical And Electrochemical Dosing Processes, *Industrial And Engineering Chemistry Research*, 45 (26): 8749-8756.
- [31] Moreno-Casillas H.A., Cocke D.L., Gomes J.A.G., Morkovsky P., Parga J.R., Peterson E. 2007. Electrocoagulation Mechanism For Cod Removal, *Separation And Purification Technology*, 56 (2): 204-211.
- [32] Daneshvar N., Sorkhabi H.A., Kasiri M. 2004. Decolorization Of Dye Solution Containing Acid Red 14 By Electrocoagulation With A Comparative Investigation Of Different Electrode Connections, *Journal Of Hazardous Materials*, 112 (1-2): 55-62.
- [33] Matteson M.J., Dobson R.L., Glenn Jr. R.W., Kukunoor N.S., Waits W.H., Clayfield E.J. 1995. Electrocoagulation And Separation Of Aqueous Suspensions Of Ultrafine Particles, *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 104 (1): 101-109.
- [34] Rahmani A.R. 2008. Removal Of Water Turbidity By The Electrocoagulation Method, *Journal Of Research İn Health Sciences*, 8 (1): 18-24.
- [35] Pouet M.F., Grasmick A. 1995. Urban Wastewater Treatment By Electrocoagulation And Flotation, *Water Science And Technology*, 31 (3-4): 275-283.
- [36] Arslan T., Kabdaşlı I., Arslan-Alaton İ., Ölmez T., Tünay O. 2008. Kompleks Olarak Bağlı Metal İçeren Atıksuların Elektrokogülasyon Prosesi İle Arıtımı, İ.T.Ü. Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi, 18 (11): 45-52.
- [37] Can O.T., Kobya M., Demirbaş E., Bayramoğlu M. 2006. Treatment Of The Textile Wastewater By Combined Electrocoagulation, *Chemosphere*, 62 (2): 181-187.
- [38] Fagnekar N.A., Mane P.S. 2015. Removal Of Turbidity Using Electrocoagulation, *International Journal Of Research İn Engineering And Technology*, 4 (6): 537-543.
- [39] Marmagne O., Coste C. 1996. Color Removal From Textile Plant Effluents, *American Dyestuff Reporter*, France, 15-21.
- [40] Paga U., Brown D. 1986. The Degradation Of Dyestuffs. Part I. Behaviours Of Dyestuffs İn Aerobic Biodegradation Tests, *Chemosphere*, 15 (4): 479-491.
- [41] Kulla H.G. 1981. Aerobic Bacterial Degradation Of Azo Dyes. In: Leisinger T (Ed) *Microbial Degradation Of Xenobiotic And Recalcitrant Compounds*. Academic Press, London.
- [42] Üçgül İ., İskender K.A. 2013. Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Renk Giderimi İçin Elektrokogülasyon Yöntemi Uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum E-Dergi, 2 (1): 1-12.
- [43] Özyonar F., Karagözoğlu B. 2012. Elektrokogülasyon Prosesi İle Tekstil Sanayi Atıksuyunun Arıtımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 28 (1): 29-37.

- [44] Bayramoğlu M., Koby M., Can O.T., Sözbir M. 2004. Operating Cost Analysis Of Electrocoagulation Of Textile Dye Wastewater, Separation And Purification Technology, 37 (2): 117-125.
- [45] Bayramoğlu M., Eyvaz M., Koby M. 2007. Treatment Of The Textile Wastewater By Electrocoagulation: Economical Evaluation, Chemical Engineering Journal, 128 (2-3): 155-161.
- [46] Zodi S., Potier O., Lapique F., Leclerc J-P. 2009. Treatment Of The Textile Wastewaters By Electrocoagulation: Effect Of Operating Parameters On The Sludge Settling Characteristics, Separation And Purification Technology, 69 (1): 29-36.
- [47] Zaroual Z., Azzi M., Saib N., Chainet E. 2006. Contribution To The Study Of Electrocoagulation Mechanism In Basic Textile Effluent, Journal Of Hazardous Materials, 131 (1-3): 73-78.
- [48] Eyvaz M., Bayramoğlu M., Koby M. 2006. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon İle Arıtılması: Teknik Ve Ekonomik Değerlendirme, İtüdergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü, 16 (1): 55-65.
- [49] Zaied M., Bellakhal N. 2009. Electrocoagulation Treatment Of Black Liquor From Paper Industry, Journal Of Hazardous Materials, 163 (2-3): 995-1000.
- [50] Sridhar R., Sivakumar V., Immanuel V.P., Maran J.P. 2011. Treatment Of Pulp And Paper Industry Bleaching Effluent By Electrocoagulant Process, Journal Of Hazardous Materials, 186 (2-3): 1495-1502.
- [51] Uğurlu M., Gürses A., Doğar Ç., Yalçın M. 2008. The Removal Of Lignin And Phenol From Paper Mill Effluents By Electrocoagulation, Journal Of Environmental Management, 84 (3): 420-428.
- [52] Zodi S., Louvet M., C., Potier O., Pons M-N., Lapique F., Leclerc J-P. 2011. Electrocoagulation As A Tertiary Treatment For Paper Mill Wastewater: Removal Of Non-Biodegradable Organic Pollution And Arsenic, Separation And Purification Technology, 81 (1): 62-68.
- [53] Uğurlu M. 2004. The Removal Of Some Inorganic Compounds From Paper Mill Effluents By The Electrocoagulation Method, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 17 (3): 85-99.
- [54] Veli S., Arslan A., Yılmaz E. 2015. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Hastane Atıksuyunda Toplam Organik Karbon Giderimi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 35: 65-77.
- [55] Bui M.H., Luong X.T.H. 2017. Removal Of Chemical Oxygen Demand From Hospital Wastewater Using Electrocoagulation, Moroccan Journal Of Chemistry, 5 (2): 371-376.
- [56] Dehghani M., Seresht S.S., Taghizadeh M.M. 2015. Optimization Of Organic Compounds Removal From Wastewater By Electrocoagulation, Hormozgan Medical Journal, 19 (1): 59-65.
- [57] Murdani J., Ekawati, D., Nadire, R., Darmadi, 2018. Application Of Response Surface Methodology (Rsm) For Wastewater Of Hospital By Using Electrocoagulation, Materials Science And Engineering, 345 (1): 1-7.
- [58] Koby M., Ulu F., Gebologlu U., Demirbas E., Oncel M. S. 2011. Treatment Of Potable Water Containing Low Concentration Of Arsenic With Electrocoagulation: Different Connection Modes And Fe-Al Electrodes. Separation And Purification Technology, 77 (3): 283-293.
- [59] Koby M., Geboloğlu U., Ulu F., Öncel S., Demirbaş E. 2011. Removal Of Arsenic From Drinking Water By The Electrocoagulation Using Fe And Al Electrodes. Electrochimica Acta, 56 (14): 5060-5070.
- [60] Özyonar F., Karagözoğlu B., Atmaca E. 2011. İçme Suyundan Elektrokoagülasyon Prosesi İle Doğal Organik Madde Giderimi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27 (4): 309-316.
- [61] Kumar N.S., Sudha G. 2010. Factors Influencing Arsenic And Nitrate Removal From Drinking Water In A Continuous Flow Electrocoagulation (Ec) Process, Journal Of Hazardous Materials, 173 (1-3): 528-533.
- [62] Pop A., Bordianu C., Pode R., Vlaicu I., Lungar N., Bodor K., Manea F. 2016. Drinking Water Treatment By Iron Anode-Based Electrocoagulation: Humic Acids And Arsenic Removal, Wit Transactions On Ecology And The Environment, 209: 127-138.
- [63] Koby M., Şentürk E., Bayramoğlu M. 2006. Treatment Of Poultry Slaughterhouse Wastewaters By Electrocoagulation, Journal Of Hazardous Materials, 133 (1-3): 172-176.
- [64] Asselin M., Drogui P., Benmoussa H., Blais J.-F. 2008. Effectiveness Of Electrocoagulation Process In Removing Organic Compounds From Slaughterhouse Wastewater Using Monopolar And Bipolar Electrolytic Cells, Chemosphere, 72 (11): 1727-1733.

- [65] 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 (1-3): 103-107.
- [66] Ahmadian M., Yousefi N., Van Ginkel, S.W., Zare M.R., Rahimi S., Fatehizadeh A. 2012. Kinetic Study Of Slaughterhouse Wastewater Treatment By Electrocoagulation Using Fe Electrodes, *Water Sci Technol.*, 66 (4): 754-760.
- [67] Özyonar F., Karagözoğlu B. 2014. Investigation Of Technical And Economic Analysis Of Electrocoagulation Process For The Treatment Of Great And Small Cattle Slaughterhouse Wastewater, *Desalination And Water Treatment*, 52 (1-3): 74-87.
- [68] Bayramoğlu M., Kobya M., Eyvaz M., Şentürk E. 2006. Technical And Economic Analysis Of Electrocoagulation For The Treatment Of Poultry Slaughterhouse Wastewater, *Separation And Purification Technology*, 51 (3): 404-408.
- [69] Şengil I.A., Özacar M. 2006. Treatment Of Dairy Wastewaters By Electrocoagulation Using Mild Steel Electrodes, *Journal Of Hazardous Materials*, 137 (2): 1197-1205.
- [70] Tchamango S., Nanseu-Njiki C.P., Ngameni E., Hadjiev D., Darchen A. 2010. Treatment Of Dairy Effluents By Electrocoagulation Using Aluminium Electrodes, *Science Of The Total Environment*, 408 (4): 947-952.
- [71] Xu L.J., Sheldon B.W., Larick D.K., Carawan R.E. 2002. Recovery And Utilization Of Useful By-Products From Egg Processing Wastewater By Electrocoagulation, *Poult Sci*, 81 (6): 785-792.
- [72] Bassala H.D., Dedzo G.K., Bememba C.B.N., Seumo P.M.T., Dazie J.D., Nanseu-Njiki C.P., Ngameni E. 2017. Investigation Of The Efficient Of A Designed Electrocoagulation Reactor: Application For Dairy Effluent Treatment, *Process Safety And Environmental Protection*, 111: 122-127.
- [73] Bouhezila F., Hariti M., Lounici H., Mameri N. 2011. Treatment Of The Oued Smar Town Landfill Leachate By An Electrochemical Reactor, *Desalination*, 280 (1-3): 347-353.
- [74] Ricordel C., Djelal H. 2014. Treatment Of Landfill Leachate With High Proportion Of Refractory Materials By Electrocoagulation: System Performances And Sludge Settling Characteristics, *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 2 (3): 1551-1557.
- [75] İlhan F., Kurt U., Apaydın O., Gönüllü M.T. 2008. Treatment Of Leachate By Electrocoagulation Using Aluminum And Iron Electrodes. *Journal Of Hazardous Materials*, 154 (1-3): 381-389.
- [76] Kashani M.M., Soltani S.M., Sobri S. 2012. Treatment Of A Malaysian Leachate Sample Using Electrocoagulation, *International Journal Of Chemical Engineering And Applications*, 3 (1): 63-66.
- [77] Li X., Song J., Guo, J., Wang Z., Feng Q. 2011. Landfill Leachate Treatment Using Electrocoagulation, *Procedia Environmental Sciences*, 10 (B): 1159-1164.
- [78] Shivayogimath C.B., Watawati C. 2013. Treatment Of Solid Waste Leachate By Electrocoagulation Technology, *International Journal Of Research In Engineering And Technology*, Ic-Rice Conference Issue, Nov-2013: 266-269.
- [79] Top S., Sekman E., Hoşver S., Bilgili M.S. 2011. Characterization And Electrocaogulative Treatment Of Nanofiltration Concentrate Of A Full-Scale Landfill Leachate Treatment Plant, *Desalination*, 268 (1-3): 158-162.
- [80] Chiang L-C., Chang J-E., Wen T-C. 1995. Indirect Oxidation Effect İn Electrochemical Oxidation Treatment Of Landfill Leachate, *Water Research*, 29 (2): 671-678.
- [81] Orkun M.O., Kuleyin A. 2012. Treatment Performance Evaluation Of Chemical Oxygen Demand From Landfill Leachate By Electro-Coagulation And Electro-Fenton Technique, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31 (1): 59-67.
- [82] D'annibale A., Ricci M., Quarantino D., Federici F., Fenice M. 2004. Panus Tigrinus Efficiently Removes Phenols, Color And Organic Load From Olive-Mill Wastewater, *Research In Microbiology*, 155 (7): 596-603.
- [83] Khoufi S., Hamza M., Sayadi S. 2011. Enzymatic Hydrolysis Of Olive Wastewater For Hydroxytyrosol Enrichment, *Bioresource Technology*, 102 (19): 9050-9058.
- [84] Borsani R., Ferrando B. 1997. Ultrafiltration Plant For Olive Vegetation Waters By Polymeric Membrane Batteries, *Desalination*, 108 (1-3): 281-286.

- [85] Gebreyohannes A.Y., Curcio E., Poerio T., Mazzei R., Di Profio G., Drioli E., Giorno L. 2015. Treatment Of Olive Mill Wastewater By Forward Osmosis, Separation And Purification Technology, 147: 292-302.
- [86] İnan H., Dimoglo A., Şimşek H., Karpuzcu M. 2004. Olive Oil Mill Wastewater Treatment By Means Of Electro-Coagulation, Separation And Purification Technology, 36 (1): 23-31.
- [87] Çoskun T., İlhan F., Manav-Demir N., Kurt U. 2012. Optimization Of Energy Costs İn The Pretreatment Of Olive Mill Wastewaters By Electrocoagulation. Environmental Technology, 33 (7): 801-807.
- [88] Hanafi F., Assobhei O., Mountadar M. 2010. Detoxification And Discoloration Of Moroccan Olive Mill Wastewater, Journal Of Hazardous Materials, 174 (1-3): 807-812.
- [89] Ün Ü.T., Uğur S., Koparal A.S., Ögütveren Ü.B. 2006. Electrocoagulation Of Olive Mill Wastewaters, Separation And Purification Technology, 52 (1): 136-141.
- [90] Adhoum N., Monser L. 2004. Decolourization And Removal Of Phenolic Compounds From Olive Mill Wastewater By Electrocoagulation, Chemical Engineering And Processing: Process Intensification, 43 (10): 1281-1287.
- [91] García-García P., López-López A., Moreno-Baquero J.M., Garrido-Fernández A. 2011. Treatment Of Wastewaters From The Green Table Olive Packaging Industry Using Electro-Coagulation, Chemical Engineering Journal, 170 (1): 59-66.
- [92] Khoufi S., Feki F., Sayadi S. 2007. Detoxification Of Olive Mill Wastewater By Electrocoagulation And Sedimentation Processes, Journal Of Hazardous Materials, 142 (1-2): 58-67.
- [93] Kartal Z., Ölmez-Hancı T., Arslan-Alaton İ. 2008. Bir Zeytinyağı Karasuyunun Koagülasyon Ve Elektrokoagülasyon Prosesleriyle Kimyasal Aritılabilirliğinin İncelenmesi, Su Kirlenmesi Kontrolü - İtüdergisi/E, 18 (2-3): 3-12.
- [94] Sevil V., Özbay B., Özbay İ., Arslan A., Eren Ç. 2018. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Gıda Endüstrisi Atıksuyunun Aritımında Optimum Koşulların Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 932-936.
- [95] Chen X., Chen G., Yue P.L. 2000. Separation Of Pollutants From Restaurant Wastewater By Electrocoagulation, Separation And Purification Technology, 19 (1-2): 65-76.
- [96] Barrera-Díaz C., Roa-Morales G., Avila-Córdoba L., Pavón-Silva T., Bilyeu B. 2006. Electrochemical Treatment Applied To Food-Processing Industrial Wastewater, Ind. Eng. Chem. Res, 45 (1): 34-38.
- [97] Solak M., Pakdil N.B., Kılıç M., Kobya M. 2018. Elektrokoagülasyon Prosesi İle Patates Çipsi Üretim Atıksularından Fosfor Giderimi: Elektrot Materyali Karşılaştırması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 302-313.
- [98] Kobya M., Hiz H., Senturk E., Aydiner C., Demirbas E. 2006. Treatment Of Potato Chips Manufacturing Wastewater By Electrocoagulation, Desalination, 190 (1-3): 201-211.
- [99] Murthy Z.V., Nancy C., Kant A. 2007. Separation Of Pollutants From Restaurant Wastewater By Electrocoagulation, Separation Science And Technology, 42 (4): 819-833.
- [100] Panizza M., Cerisola G. 2010. Applicability Of Electrochemical Methods To Carwash Wastewaters For Reuse. Part 2: Electrocoagulation And Anodic Oxidation İntegrated Process, Journal Of Electroanalytical Chemistry, 638 (2): 236-240.
- [101] Janpoor F., Torabian A., Khatibikamal V. 2011. Treatment Of Laundry Wastewater By Electrocoagulation, Journal Of Chemical Technology & Biotechnology, 86 (8): 1113-1120.
- [102] Akyol A. 2012. Treatment Of Paint Manufacturing Wastewater By Electrocoagulation, Desalination, 285: 91-99.
- [103] Wang C-T., Chou W-L., Kuo Y-M. 2009. Removal of Cod From Laundry Wastewater By Electrocoagulation/Electroflotation, Journal of Hazardous Materials, 164 (1): 81-86.
- [104] Maghanga J.K., Segor F.K., Etiğni L., Lusweti J. 2009. Electrocoagulation Method For Colour Removal İn Tea Effluent: A Case Study Of Chemomi Tea Factory İn Rift Valley, Kenya, Bulletin Of The Chemical Society Of Ethiopia, 23 (3): 371-381.
- [105] Bukhari A.A. 2008. Investigation of The Electro-Coagulation Treatment Process for The Removal of Total Suspended Solids And Turbidity From Municipal Wastewaterbioresource Technology, 99 (5): 914-921.