



Tekstil Atıksularının Elektrokoagülasyon Prosesiyle Arıtımının İncelenmesi

Kasım ATMACA¹

How to cite: Atmaca, K. (2023). Tekstil atıksularının elektrokoagülasyon prosesiyle arıtımının incelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 87-100. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.1225094>

Derleme

Sorumlu Yazar

Kasım ATMACA
katmaca@sinop.edu.tr

Yazarlara ait ORCID

K.A: 0000-0002-6570-4127

Received: 27.12.2022

Accepted: 05.06.2023

Öz

Bu çalışmada, Elektrokoagülasyon (EC) prosesinin temel mekanizması, prosesi etkileyen işletme parametrelerinin tekstil atıksuyundan kirletici giderimi üzerine etkileri tartışılmıştır. Tekstil endüstrisinin gelişmesiyle beraber oluşan kirleticilerin konsantrasyonları artmış ve bu durum çeşitli çevresel problemler oluşturmuştur. Tekstil atıksuları, yüksek askıda katı madde içeriği, bulanıklık, kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk ile karakterize edilir. Oluşan atıksuların çevreye deşarjı öncesi etkili ve verimli arıtma proseslerine ihtiyaç vardır. EC, çok yönlülüğü, kurulum kolaylığı ve çevre dostu olması nedeniyle son yıllarda endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. EC prosesi için enerji gereksinimi ve oluşan çamur miktarı diğer arıtma proseslerine göre çok daha azdır. Bu gibi avantajlarından dolayı EC nin tekstil atıksularının arıtımında kullanımı yaygın olarak kabul görmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokoagülasyon, proses, arıtım, tekstil atıksuyu

Investigation of Textile Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process

¹Sinop Üniversitesi, Mühendislik-
Mimarlık Fakültesi, Çevre
Mühendisliği Bölümü,
Sinop/Türkiye

Bu çalışma Creative Commons
Attribution 4.0 International
License ile lisanslanmıştır

Abstract

In this study, the basic mechanism of the Electrocoagulation (EC) process and the effects of operating parameters affecting the process on pollutant removal from textile wastewater are discussed. With the development of the textile industry, the concentrations of pollutants have increased and this has created various environmental problems. Textile wastewater is characterized by high suspended solids content, turbidity, chemical oxygen demand and color. There is a need for effective and efficient treatment processes before the resulting wastewater is discharged to the environment. EC has been widely used in the treatment of industrial wastewater in recent years due to its versatility, ease of installation and environmental friendliness. The energy requirement and the amount of sludge formed for the EC process are much less than other treatment processes. Due to such advantages, the use of EC in the treatment of textile wastewater is widely accepted.

Keywords: Electrocoagulation, process, treatment, textile wastewater

Giriş

Günümüz dünyası bir sürdürülebilirlik çağına girmiş olup, çevre kirliliğinin getirdiği zorluklarla acilen başa çıkmak gerekmektedir. Atıksular, oluştuktan sonra arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilmesi durumunda hem su rezervlerinin tükenmesine neden olur hem de gelecek nesiller için tehdit oluşturur [1]. Su kaynaklarının korunması yirmi birinci yüzyılın en büyük zorluklarından biridir. Nüfus artışı, ormanların yok edilmesi, hızlı kentleşme, sanayileşme ve küresel iklim değişikliği gibi çeşitli sorunlarla mücadele etmek gerekmektedir. Günümüzde, sağlıklı içme suyuna erişim sınırlıdır ve stres altındadır; su kirliliği, su ekosistemlerini ve sağlıklı tatlı suyun mevcudiyetini ciddi şekilde etkilemektedir. Bu nedenle, atıksuların arıtılması ve yönetilmesi, su kalitesinin korunması için verimli teknolojiler ve yaklaşımlar geliştirmeye ihtiyaç vardır [2]. Tekstil atıksuları, endüstriyel atıksular arasında kirlilik yükü fazla olan atıksulardandır. Yüksek oranda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK), bulanıklık ve tuz içeriği tekstil atıksularının özelliklerindedir. Tekstil atıksularının karakterizasyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Tekstil atıksularının karakterizasyonu [1]

Parametre	Konsantrasyon
pH	9.5-12.5
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	25-433
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1835-3828
Toplam Organik Karbon (mg/L)	26.390-73.190
Amonyum (mg/L)	2-3
Klorür (mg/L)	1200-1375

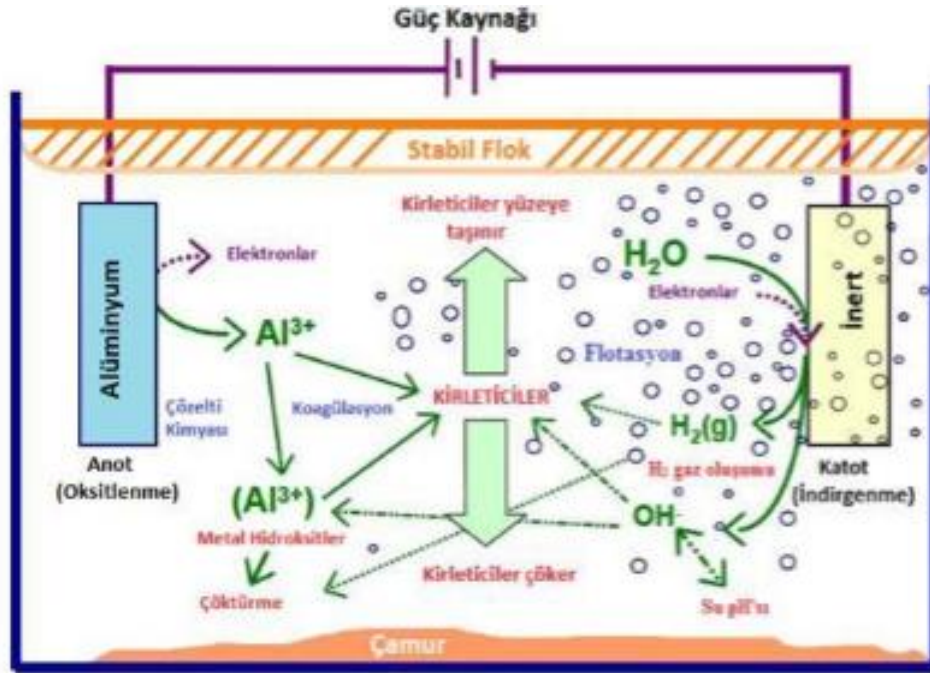
Uygun şekilde arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilen tekstil atıksuları sucul ekosistemlerde yaşayan canlılar üzerinde ve insanlarda zararlı etkilere neden olabilir. Örneğin bazı tekstil boya ve bunların bozunmuş türevleri, suda yaşayan organizmaların büyümesini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca insanlarda, bağırsak kanserine, beyin anormalliklerine, üst solunum yollarında, gözde ve ciltte tahrişe neden olmaktadır [1]. Tekstil endüstrisi atıksuları, farklı işlemlerde kullanılan kimyasallar nedeniyle kirlenici bileşimi açısından büyük ölçüde farklılık gösterir. Dünya çapında çok çeşitli boya türleri üretilmekte ve tekstil, kozmetik, kağıt, deri, ilaç ve gıda endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Boyalar asidik, bazik, direkt, azoik renkler, vat, kükürt, reaktif ve metal kompleks boyalar olarak sınıflandırılabilir. Tahmini yıllık üretimi 7×10^5 tonun üzerinde olan 100.000'den fazla ticari olarak temin edilebilen boya vardır. Tekstil endüstrisi, ürünün gerekli şekil ve özelliklerini üretmek için çok çeşitli makine ve süreçleri içerir. Haşılama, yıkama, ağartma, merserize etme, boyama, baskı ve terbiye gibi çeşitli işlemlerde büyük miktarlarda atıksu üretilir. Bu atıksu esas olarak yan ürünler, artık boya, tuzlar, asit/alkali, yardımcı kimyasallar ve temizleme solventleri içerir. Literatürde fiziksel veya fizikokimyasal, kimyasal, biyolojik ve elektrokimyasal olarak sınıflandırılabilen renk giderme teknikleri ile ilgili çeşitli çalışmalar rapor edilmiştir. Renk giderme mekanizmaları, fiziksel

boya ayrımı, boyaların parçalanması ve adsorpsiyon/biyodegradasyon yoluyla renk gidermedir. Fiziksel veya fizikokimyasal teknikler arasında koagülasyon/flokülasyon, adsorpsiyon ve membran filtrasyon yöntemleri yer alır. Koagülasyon, kükürtlü ve dispersif boyaların gideriminde etkilidir. Bununla birlikte, koagülasyon yönteminde büyük miktarlarda çamur oluşumu gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon, atıksudaki çözülmüş organiklerin konsantrasyonunu düşürmek için etkili bir yöntemdir. Ancak adsorbent rejenerasyonu pahalıdır ve adsorbent kaybını içerir. Membran filtrasyon yönteminde ise, uygun membran her türlü boyayı giderebilir. Alan gereksinimleri daha azdır ve çamur oluşumu yoktur. Ancak, membranların ve ekipmanın yüksek maliyeti, membranın kirlenmesi nedeniyle zamanla azalan verimlilik ve konsantrasyonun atılması yöntemin dezavantajlarındandır [3]. Biyolojik arıtma metotları arasında anaerobik prosesler, oksidasyon havuzları, damlatmalı filtreler, aktif çamur prosesi sayılabilir. Mikrobiyal biyokütle, endüstriyel atıkların arıtılması için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Algler, mantarlar, bakteriler ve mayalar gibi mikroorganizmalar, belirli tipteki boyaları bozabilir. Ancak biyolojik arıtmanın geniş bir arazi alanı gerektirmesi, bazı kimyasalların toksisitesine karşı hassasiyeti ve arıtma süresinin çok uzun olması nedeniyle uygulamaları sınırlıdır. Ayrıca, bazı boyalar genellikle toksiktir ve biyolojik işleme kolayca biyolojik olarak bozunmazlar [4]. Koagülasyon, sulara bulunan ve kendi ağırlıklarıyla çökelemeyen koloidal partiküllerin çeşitli kimyasallar yardımıyla çökebilir hale getirilmesi işlemidir [5]. Atıksu arıtımında kullanılan kimyasal koagülantlar arasında alüminyum klorür [6, 7], alüminyum sülfat [8-10], demir klorür [11, 12], demir sülfat [13], polialüminyum klorür [14, 15] sayılabilir. Koagülasyon/flokülasyon ve EC arasındaki teori temelde aynıdır. Her iki yöntem de partiküllerin suda asılı kalmasını sağlayan itici kuvvetlerin kararsızlaştırılması/nötralle edilmesi yoluyla partiküllerin atıksudan uzaklaştırılmasını hedefler. İki proses arasındaki temel fark EC de koagülantın uygun bir anot malzemesinin elektrolitik oksidasyonu ile yerinde üretilmesidir [16]. Proseste genellikle kullanılan elektrotlar demir, alüminyum, yumuşak çelik ve paslanmaz çeliktir. Atıksuyun EC ile arıtılması, kimyasal koagülasyon ile karşılaştırıldığında %10 ila 15 oranında daha yüksektir ve ayrıca işlemde kaynaklanan çamur, kimyasal koagülasyona göre daha azdır. Bu işlemin bir diğer avantajı, bu yöntemin endüstriyel ölçekte olduğu kadar pilot ölçekli olarak da uygulanabilmesidir. EC prosesinin ek avantaj ve dezavantajları Tablo 2’de verilmiştir. Bu işlem sayesinde, geleneksel yöntemlere kıyasla koagülant miktarı önemli ölçüde azaltılabilir [1].

Tablo 2. Elektrokoagülasyon işleminin avantaj ve dezavantajları [1]

Avantaj	Dezavantaj
Basit donanımlı, işletimi kolay olması ve daha az bakım gerektirmesi,	Bakım ihtiyacı ve elektrotların düzenli olarak değiştirilmesi.
Sisteme herhangi bir harici kimyasal ilavesi olmadığından ikincil kirlilik yoktur.	Yüksek atıksu iletkenliği.
Renk, koku, KOİ vb kirleticiler içeren her türlü atıksuyu arıtmak için kullanılabilir.	Elektrot yüzeyinde oksit tabakası oluşumu elektrotun aşınmasına yol açar.
Elektroliz sırasında oluşan gaz kabarcıkları, kirleticiyi çözeltilerin yüzeyine taşıyarak giderebilir.	Bazı yerlerde elektrik kullanımının pahalı olması.

EC prosesinin genel dizayn görüntüsü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. EC prosesinin genel görüntüsü

EC, su ve atıksu sistemlerindeki organik [17-19], inorganik [20-22], ve patojenik [23-25] kirleticileri arıtabilir. Geniş uygulama alanından dolayı EC evsel atıksu [26-28], kentsel atıksu [29], yeraltı suyu [30-32], deniz suyu [33, 34] ve endüstriyel atıksuların [35-37] arıtımında kullanılmaktadır.

EC Prosesinin Mekanizması

EC, kirleticilerin giderilmesi için hem fiziksel hem de kimyasal mekanizmanın dahil olduğu bir ayırma tekniğidir. Bu işlem esas olarak, elektrotlar arasında elektrik akımı uygulayarak sulu ortamdaki askıda, çözülmüş veya emülsifiye edilmiş kirleticilerin kararsız hale getirilmesidir [1]. Elektrokoagülasyon prosesi temel olarak anotta metal katyonların çözünmesini ve katotta aynı anda hidroksil iyonları ve hidrojen gazı oluşumunu içerir:



Metal elektrottan geçen elektrik akımı, metali (M) kendi katyonuna (M^+) oksitler (Denklem 1). Aynı anda su, hidrojen gazına ve hidroksil iyonuna (OH^-) indirgenir (Denklem 2). EC sırasında, anotta oluşan yüksek yüklü katyonlar (Al^{3+} , Fe^{2+}), monomerik ve polimerik hidrokso kompleks türlerinin oluşumuyla koloidal partiküllerin dengesini bozar. Bu metal hidrokso kompleksleri, kirleticilerle güçlü agregalar oluşturan yüksek adsorpsiyon özelliklerine sahiptir. Metal hidrolizinin derecesi, toplam metal katyon konsantrasyonuna, pH'a ve çözeltide bulunan diğer türlerin tipine ve konsantrasyonuna bağlıdır.

Demir elektrot varlığında elektroliz sonucunda oluşan Fe^{2+} lar anodik oksidasyon neticesinde $Fe(OH)_n$ üretir ve burada n 2 veya 3 olabilir. $Fe(OH)_{n(s)}$ sulu fazda amorf bir süspansiyon olarak kalır, bu da kirleticileri atıksudan kompleksleştirme veya elektrostatik çekim ve ardından pıhtılaşma yoluyla giderir [35].

EC Prosesini Etkileyen Parametreler

pH

Çözeltinin pH'ı, elektrokoagülasyonda önemli bir operasyonel parametredir. Maksimum kirletici giderme verimliliği, belirli bir kirletici için optimum çözelti pH'ında elde edilir. Bir kirleticinin çökmesi belirli bir pH'da başlar. Kirletici giderim verimliliği, çözeltinin pH ını optimum pH dan artırarak veya azaltarak azalır [3]. Verma ve ark. [38] elektrokoagülasyon kullanarak sentetik çözeltiden altı değerlikli kromun giderimini incelemiş ve çözeltinin pH'ının Cr (VI) giderim verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Farklı pH da yapılan deneyler sonucunda pH 4'te maksimum krom giderme verimi elde etmişlerdir. Elektrokoagülasyon işlemi sırasında çözeltinin pH'ı değişir ve nihai pH genel arıtma performansını etkiler [39, 40]. Başlangıç pH değeri 4 ten düşük olduğunda (asidik) çıkış pH ının arttığı, başlangıç pH değeri 8'den yüksek olduğunda (bazik) azalma eğiliminde olduğu ve başlangıç pH değeri nötr aralıktayken (6-8 civarında) çıkış suyunun pH'ının çok az değiştiği bildirilmiştir. Bu durum, elektrokoagülasyon sırasında geleneksel kimyasal koagülasyondan farklı bir pH tamponlama etkisine işaret etmektedir. Bu pH tamponlama kapasitesi, elektrokoagülasyon sırasında hidroksil iyonlarının üretimi ve tüketimi ile çözünür alüminyum bileşiklerinin alüminyum hidroksitlere nihai dönüşümünden önce yük nötralizasyonu ihtiyacı arasındaki dengeye bağlanabilir. Öte yandan, EC sırasında nihai pH değerlerinin hızla arttığı ve EC sonunda ulaşılan nihai pH değerlerinin 8-9 dan büyük olduğu da bildirilmiştir. Bu durum, katotta sürekli hidroksil iyon üretimi meydana gelmesiyle ilişkilendirilebilir (Denklem 2). Alkali koşullar altında $Al(OH)_4^-$ komplekslerinin oluşumu pH'daki düşüşün ana nedenidir [35]. Bener ve ark. [41], üç farklı pH değerinde (5, 8 ve 10) Al elektrotlar kullanarak gerçek tekstil atıksuyundan TOK giderme verimliliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Maksimum TOK giderimini (%65), pH 5 de elde etmişlerdir. Demirbaş ve Kobyay [42], metal işleme sıvısı atıksuyunda hem Fe-Fe hem de Al-Al elektrotların çeşitli pH koşullarında kullanımını araştırmıştır. Fe elektrotun pH 7.5 de en iyi sonucu verdiği, Al elektrotun ise pH 6.5 de daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Akım Yoğunluğu

Akım yoğunluğu, EC prosesinin verimliliğini etkileyebilecek koagülant dozaj oranını, kabarcık üretim hızını, yumakların boyutunu ve büyümesini belirlediği için çok önemli bir parametredir. Akım yoğunluğunun artmasıyla anot çözünme hızı artar. Bu durum, metal hidroksit yumaklarının sayısında bir artışa yol açarak kirletici giderme veriminde artışa neden olur. Akım yoğunluğunda optimum akım

yoğunluğunun üzerinde bir artış, kirleticinin çökeltilmesi için yeterli sayıda metal hidroksit yumakları mevcut olduğundan, kirletici giderme verimliliğinde bir artışa neden olmaz [3]. EC prosesinde akım yoğunluğu, elektrotlardan metal iyonunun ayrışması sonucunda ortaya çıkan elektron salınım hızını düzenler [43]. EC prosesinde uygulanan akım yoğunluğu genel olarak 0.01 ile 880 A/m² arasında değişmektedir [44, 45]. Uygulanan akım yoğunluğunun, çözeltilerdeki metal iyonlarının salınmasına ve ayrışmasına karşılık gelmesine rağmen, fazla akım, koloidal yükün oluşumu ile yerinde ikincil reaksiyonlara izin vererek EC işleminin performansını önemli ölçüde azaltabilir. Bu durum proses verimliliğini düşürerek elektrot ömrünü kısaltmaktadır. Bu nedenle, akım yoğunluğu, istenen artırım performansını elde etmek için optimize edilmesi gereken çok önemli bir parametredir [46]. Çeşitli çalışmalarda, farklı kirletici içeren atıksularda uygulanan akım yoğunluğunun etkisi araştırılmıştır [47, 48, 42]. Rahman ve ark. [49], turba atıksuyundan yapmış oldukları artırım çalışmasında 25 A/m² akım yoğunluğu değerinde %98.5 KOİ, %98 bulanıklık, %92 TOK ve %100 renk giderim verimliliği elde etmişlerdir.

Elektrotlar Arası Mesafe

Elektrostatik alan anot ve katot arasındaki mesafeye bağlı olduğundan, elektrotlar arası mesafe EC de önemli bir rol oynar. Elektrotlar arasında optimum mesafe korunarak maksimum kirletici giderim verimliliği elde edilir. Elektrotlar arası mesafenin minimum olması durumunda kirletici giderim verimliliği düşüktür. Bunun nedeni, flok görevi gören ve kirleticiyi çökeltme yoluyla uzaklaştıran metal hidroksitlerin, yüksek elektrostatik çekim nedeniyle birbirleriyle çarpışarak bozulmasıdır [50]. Elektrotlar arası mesafenin minimumdan optimum mesafeye kadar artmasıyla kirletici giderim verimliliği artar. Bunun nedeni, elektrotlar arasındaki mesafeyi daha da artırarak, üretilen iyonların daha yavaş hareket etmesine neden olan elektrostatik etkilerde bir azalma olmasıdır. Elektrot mesafesi optimum elektrot mesafesinden daha fazla arttırıldığında, kirletici giderim verimliliğinde bir azalma olur. Bunun nedeni, elektrotlar arasındaki mesafenin artmasıyla iyonların hareket süresinin artmasıdır. Bu durum elektrostatik çekim kuvvetini azaltarak kirleticilerin çökeltmesi için daha az flok oluşumuyla açıklanabilir [3]. Pek çok çalışmada, farklı atıksular için optimum elektrotlar arası mesafe aralığının 0.5–1 cm olduğu bildirilmiştir [51-53]. Lakshmi ve Sivashanmugam [54], yağ tabaklama atıksuyundan KOİ giderimi üzerine (KOİ giriş: 25.000 mg/L) elektrotlar arası mesafenin etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, 15 dakika sonunda >%90'lık en yüksek KOİ giderim verimliliğine ulaşmak için 15 mm'lik elektrotlar arası aralığın optimal olduğu sonucuna varılmıştır. Prajapati ve ark. [55], içki fabrikası atıksuyundan renk ve KOİ giderimi üzerine (KOİ giriş: 11500 mg/L) elektrotlar arası mesafenin etkisini incelemiştir. 10 mm elektrotlar arası mesafede ve 178.5 A/m² akım yoğunluğunda sırasıyla %90 KOİ ve %86 renk giderimi elde etmişlerdir.

Literatür Çalışmalarından Örnekler

Literatürde, EC prosesi ile tekstil atıksuyundan kirletici giderimi üzerine yapılmış bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir: Kobyay ve ark. [56], tekstil atıksuyundan kirletici giderimi üzerine yapmış oldukları çalışmada (KOİ giriş: 1940-2060 mg/L, TOK giriş: 450 mg/L) optimum deneysel koşullar altında (akım yoğunluğu: 65 A/m², deneysel süre: 80 dakika) alüminyum elektrotlar için %77 KOİ ve %72 TOK giderimi elde ederken, demir elektrotlar için %85 KOİ ve %76 TOK giderimi elde etmişlerdir. Kobyay ve ark. [57], tekstil atıksuyundan KOİ ve TOK giderimi üzerine yapmış oldukları çalışmada (KOİ giriş: 2020 mg/L, TOK giriş: 480 mg/L), optimum deneysel koşullar için (Anot: Alüminyum, Katot: Alüminyum, pH: 5.6, Akım yoğunluğu: 52.5 A/m², deneysel süre: 33.9 dakika) %68 KOİ ve %69 TOK giderimi elde ederken (Anot: Demir, Katot: Demir, pH: 5.5, akım yoğunluğu: 63.2 A/m², deneysel süre: 30.4 dakika) %77 KOİ ve %82 TOK giderimi elde etmişlerdir. Tezcan ve Aytac [58], tekstil atıksuyundan yapmış oldukları KOİ giderim çalışmasında (KOİ giriş: 1953 mg/L, Anot: Demir, Katot: Demir, pH: 9.01, akım yoğunluğu: 20 mA/cm²) %96.88 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Bayramoglu ve ark. [59], yapmış oldukları çalışmada (KOİ giriş: 3422 mg/L, bulanıklık: 5700 NTU) deneysel koşullar (Anot: Alüminyum, Katot: Alüminyum, pH:3, akım yoğunluğu: 200 A/m²) %61 KOİ giderimi elde edilirken, %100 bulanıklık giderimi elde ederken, demir elektrot çiftleri kullanarak yaptıkları deneyde ise (Anot: Demir, Katot: Demir, pH: 3, akım yoğunluğu: 200 A/m²) %47 KOİ giderimi elde ederken %75 bulanıklık giderimi elde etmişlerdir. Shin ve ark. [60], tekstil atıksuyundan KOİ giderimi için yapmış oldukları çalışmada, (KOİ giriş: 766 mg/L, Anot: Demir, Katot: Demir, akım yoğunluğu: 426 A/m²) %81 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Cerqueira ve ark. [61], tekstil atıksuyundan EC metodu ile yaptıkları KOİ giderim çalışmasında, optimum koşullar altında (KOİ giriş: 1179-2553 mg/L, Anot: Alüminyum, Katot: Alüminyum, pH giriş: 5, akım yoğunluğu: 1.5 mA/cm², deneysel süre: 30 dakika) %87 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Zaroual ve ark. [62], gerçek tekstil atıksularından EC prosesiyle KOİ ve renk giderimi üzerine yaptıkları çalışmada (KOİ: 485 mg/L, BOİ₅: 80mg/L, klorür: 27,069 mg/L, A₆₂₀: 0.663 cm⁻¹, A₅₂₅: 0.415 cm⁻¹, A₄₃₆: 0,286 cm⁻¹, pH: 10.6, Voltaj: 600 mV, deneysel süre: 3 dakika) %84 KOİ ve %100 renk giderimi elde etmişlerdir. Daneshvar ve ark. [63], asit orange 7 azo boyasından KOİ ve renk giderim çalışmasında, optimum deneysel koşullar altında (pH: 8, akım yoğunluğu: 3.5 mA/cm²) %84 KOİ ve %98 renk giderimi elde etmişlerdir. Can ve ark. [64], tekstil atıksuyu ile yaptıkları KOİ giderim çalışmasında (KOİ giriş: 3422 mg/L; TOK: 900 mg/L; iletkenlik: 3.99mS/cm; bulanıklık: 5700 NTU; pH: 6.95) alüminyum elektrotlar için pH: 5.5 ta %60-65 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Zongo ve ark. [65], iki adet tekstil endüstrisi atıksuyundan EC prosesiyle yapmış oldukları KOİ giderim çalışmasında (1. Atıksu için: KOİ: 1790 mg/L; bulanıklık: 115 NTU; iletkenlik: 2.8mS/cm; pH: 7; ikinci atıksu için KOİ: 1240 mg/L; bulanıklık: 110 NTU, iletkenlik: 2,4mS/cm; pH: 9, akım yoğunluğu 5-20mA/cm²) 1. atıksu için %74, 2. atıksu için %88 KOİ giderimi sağlanmıştır. Bener ve ark. [41], tekstil atıksuyundan optimum deneysel koşullar altında (kullanılan elektrotlar: Al-Al, elektrotlar arası mesafe: 20 mm, akım yoğunluğu: 25mA/cm², pH giriş: 5, deneysel süre: 120 dak) %18.6 KOİ, %83.5 bulanıklık

giderimi elde edilmiştir. Khemila ve ark. [66], tekstil atıksuyundan yaptıkları arıtım sonucunda (kullanılan elektrotlar: Al-Al, elektrotlar arası mesafe: 10 mm, akım yoğunluğu: 10-40 mA/cm², pH giriş: 7) %99 bulanıklık ve %95 renk giderimi elde etmişlerdir. Verma [67], tekstil atıksuyundan KOİ ve renk giderimi üzerine yaptığı çalışmada (kullanılan elektrotlar: Fe-Al, elektrotlar arası mesafe: 30 mm, akım yoğunluğu: 2 mA/cm², pH giriş: 8, deneysel süre: 80 dak) %90 KOİ ve %90 renk giderimi elde etmiştir. Mohamad ve ark. [68], tekstil atıksuyundan yaptıkları kirletici giderim çalışmasında, (kullanılan elektrotlar: Fe, akım yoğunluğu: 75 A/m², deneysel süre: 45 dakika) %55 askıda katı madde, %82 bulanıklık ve %52 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Naje ve ark. [69], tekstil atıksuyundan EC-EO prosesleriyle yaptıkları KOİ giderim çalışmasında, (akım: 0.6 A, pH: 6, elektrotlar arası mesafe: 1.0 cm, karıştırma hızı: 500 rpm) %93.5 KOİ, %97 toplam askıda katı madde ve %97.5 renk giderimi elde etmişlerdir. Naje [70], tekstil atıksuyuna EC-EO proseslerini uygulamış ve (akım: 0.6 A, pH: 6, deneysel süre: 90 dakika) %90 KOİ giderimi elde etmişlerdir. De Maman ve ark. [71], EC prosesiyle tekstil atıksuyu arıtım çalışmasında (akım: 0.3 A, deneysel süre:) %80 renk, %91 bulanıklık ve %30 KOİ giderimi elde etmişlerdir.

Sonuçlar

EC, atıksu arıtma sistemlerinde ön arıtma ve arıtma işlemi olarak görev yapabilir. EC süreci, çok çeşitli kirleticileri gidermek için etkilidir ve operasyonel olarak uygundur. Maliyet etkinliği, daha az çamur oluşumu, çevresel uyumluluk ve güvenli süreç, EC sürecinin ek faydalarıdır. EC, diğer arıtma teknikleri ile birleştiğinde, arıtım verimliliğini artırabilir ve tek başına EC ile karşılaştırıldığında operasyon süresinin azaltılmasına yardımcı olur. EC prosesi ile ilgili en büyük problem çamur oluşumudur. Oluşan çamurun inşaat amaçlı özellikle yapı taşı, beton vb. yapımında kullanılmasıyla bu sorun aşılabılır. Kimyasal liç, termal ve diğer işlemler yoluyla EC çamurundan metal geri kazanımı, çamuru yönetebilen diğer bir seçenektir. EC süreçleri sadece pratik olarak uygulanabilir ve çevre dostu teknikler değil, aynı zamanda uygun maliyetli teknolojilerdir. Literatürde bildirilen çalışmaların çoğu, sentetik çözeltiler kullanılarak laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Gerçek endüstriyel atıkların arıtılması için EC kullanma olasılığını araştırmak için gerçek endüstriyel atık kullanarak pilot tesis ölçeğinde elektrokoagülasyon deneyleri yapmak için çaba gösterilmelidir.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri -

Etik Kurul Onayı ve İzinler Çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir.

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar-

Yazarların Katkısı- Yazar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

- [1] Babu, D. S., Anantha Singh, T. S., Nidheesh, P. V., & Kumar, M. S. (2019). Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process. *Separation Science and Technology*, 55(17), 3195-3227. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1671866>
- [2] Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1-21. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>
- [3] Khandegar, V., & Saroha, A.K. (2013). Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent — A review. *Journal of Environmental Management*, 128, 949-963. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.043>
- [4] Hao, O. J., Kim, H., & Chiang, P. C. (2000). Decolorization of wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(4), 449-505. <https://doi.org/10.1080/10643380091184237>
- [5] Samsunlu, A. (2011). *Atık Suların Arıtılması*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [6] Wang, J. P., Chen, Y. Z., Ge, X. W., & Yu, H. Q. (2007). Optimization of coagulation-flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 302(1-3), 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.02.023>
- [7] Lin, J., Couperthwaite, S. J., & Millar, G. J. (2017). Effectiveness of aluminium based coagulants for pre-treatment of coal seam water. *Separation and Purification Technology*, 177, 207-222. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.01.010>
- [8] Jiang, J. Q., Graham, N., André, C., Kelsall, G. H., & Brandon, N. (2002). Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment. *Water Research*, 36(16), 4064-4078. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00118-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00118-5)
- [9] Dotto, J., Fagundes-Klen, M. R., Veit, M. T., Palácio, S. M., & Bergamasco, R. (2019). Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 208, 656-665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>
- [10] Chawaloeshonsiya, N., Guiraud, P., & Painmanakul, P. (2018). Analysis of cutting-oil emulsion destabilization by aluminum sulphate. *Environmental Technology*, 39(11), 1450-1460. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1332101>
- [11] Amuda, O. S., & Amoo, I. A. (2007). Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 778-783. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.07.044>
- [12] Mahdavi, M., Amin, M. M., Hajizadeh, Y., Farrokhzadeh, H., & Ebrahimi, A. (2017). Removal of different NOM fractions from spent filter backwash water by polyaluminum ferric chloride and ferric chloride. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42, 1497-1504. <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2364-3>
- [13] Georgiou, D., Aivazidis, A., Hatiras, J., & Gimouhopoulos, K. (2003). Treatment of cotton textile wastewater using lime and ferrous sulfate. *Water Research*, 37(9), 2248-2250. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00481-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00481-5)

- [14] Atari, L., Esmaeili, S., Zahedi, A., Mohammadi, M. J., Zahedi, A., & Babaei, A. A. (2019). Removal of heavy metals by conventional water treatment plants using poly aluminum chloride. *Toxin Reviews*, 38(2), 127-134. <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1431676>
- [15] Liang, Y. L., Kraus, T. E. C., Silva, L. C. R., Bachand, P. A. M., Bachand, S. M., Doane, T. A., & Horwath, W. R. (2019). Effects of ferric sulfate and polyaluminum chloride coagulation enhanced treatment wetlands on Typha growth, soil and water chemistry. *Science of The Total Environment*, 648, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.341>
- [16] Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186, 24-41. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>
- [17] Barrera-Díaz, C., Frontana-Uribe, B., & Bilyeu, B. (2014). Removal of organic pollutants in industrial wastewater with an integrated system of copper electrocoagulation and electrogenerated H₂O₂. *Chemosphere*, 105, 160-164. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.026>
- [18] Kong, F., Lin, X., Sun, G., Chen, J., Guo, C., & Xie, Y. F. (2019). Enhanced organic removal for shale gas fracturing flowback water by electrocoagulation and simultaneous electro-peroxone process. *Chemosphere*, 218, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.055>
- [19] Gong, C., Shen, G., Huang, H., He, P., Zhang, Z., & Ma, B. (2017). Removal and transformation of polycyclic aromatic hydrocarbons during electrocoagulation treatment of an industrial wastewater. *Chemosphere*, 168, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.044>
- [20] Nidheesh, P. V., & Singh, T. S. (2017). Arsenic removal by electrocoagulation process: Recent trends and removal mechanism. *Chemosphere*, 181, 418-432. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.082>
- [21] Aoudj, S., Khelifa, A., & Drouiche, N. (2017). Removal of fluoride, SDS, ammonia and turbidity from semiconductor wastewater by combined electrocoagulation—electroflotation. *Chemosphere*, 180, 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.045>
- [22] Ghernaout, D., Naceur, M. W., & Ghernaout, B. (2011). A review of electrocoagulation as a promising coagulation process for improved organic and inorganic matters removal by electrophoresis and electroflotation. *Desalination and Water Treatment*, 28(1-3), 287-320. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.1493>
- [23] Vepsäläinen, M., Kivisaari, H., Pulliainen, M., Oikari, A., & Sillanpää, M. (2011). Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 81(2), 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.07.017>
- [24] Ghernaout, D., Touahmia, M., & Aichouni, M. (2019). Disinfecting water: Electrocoagulation as an efficient process. *Applied Engineering*, 3(1), 1-12. doi: 10.11648/j.ae.20190301.11
- [25] Heffron, J., Ryan, D. R., & Mayer, B. K. (2019). Sequential electrocoagulation-electrooxidation for virus mitigation in drinking water. *Water Research*, 160, 435-444. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.078>
- [26] Omwene, P. I., & Kobya, M. (2018). Treatment of domestic wastewater phosphate by electrocoagulation using Fe and Al electrodes: A comparative study. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 34-51. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.01.005>

- [27] Sharma, A. K., & Chopra, A. K. (2017). Removal of nitrate and sulphate from biologically treated municipal wastewater by electrocoagulation. *Applied Water Science*, 7, 1239-1246. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0320-0>
- [28] Omwene, P. I., Kobya, M., & Can, O. T. (2018). Phosphorus removal from domestic wastewater in electrocoagulation reactor using aluminum and iron plate hybrid anodes. *Ecological Engineering*, 123, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.025>
- [29] Elazzouzi, M., Haboubi, Kh., & Elyoubi, M. S. (2017). Electrocoagulation flocculation as a low cost process for pollutants removal from urban wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 117, 614-626. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.11.011>
- [30] Hamdan, S. S., & El-Naas, M. H. (2014). An electrocoagulation column (ECC) for groundwater purification. *Journal of Water Process Engineering*, 4, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.08.004>
- [31] Demirbas, E., Kobya, M., Oncel, M. S., Şık, E., & Goren, A. Y. (2019). Arsenite removal from groundwater in a batch electrocoagulation process: Optimization through response surface methodology. *Separation Science and Technology*, 54(5), 775-785. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1521834>
- [32] Sandoval, M. A., Fuentes, R., Nava, J. L., Coreño, O., Li, Y., & Hernández, J. H. (2019). Simultaneous removal of fluoride and arsenic from groundwater by electrocoagulation using a filter-press flow reactor with a three-cell stack. *Separation and Purification Technology*, 208, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.02.018>
- [33] Timmes, T. C., Kim, H. C., & Dempsey, B. A. (2010). Electrocoagulation pretreatment of seawater prior to ultrafiltration: Pilot-scale applications for military water purification systems. *Desalination*, 250(1), 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.03.021>
- [34] Zhang, X., Lu, M., Idrus, M. A. M., Crombie, C., & Jegatheesan, V. (2019). Performance of precipitation and electrocoagulation as pretreatment of silica removal in brackish water and seawater. *Process Safety and Environmental Protection*, 126, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.024>
- [35] Kabdaşlı, I., Arslan-Alaton, I., Ölmez-Hancı, T., & Tünay, O. (2012). Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 2-45. <https://doi.org/10.1080/21622515.2012.715390>
- [36] Yavuz, Y., & Ögütveren, Ü. B. (2018). Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes. *Journal of Environmental Management*, 207, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.034>
- [37] Krystynik, P., Masin, P., Krusinova, Z., & Kluson, P. (2019). Application of electrocoagulation for removal of toxic metals from industrial effluents. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 4167-4172. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2074-3>
- [38] Verma, S. K., Khandegar, V., & Saroha, A. K. (2013). Removal of chromium from electroplating industry effluent using electrocoagulation. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 17, 146-152. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000170](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000170)
- [39] Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., & Djafarzadeh, N. (2006). Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1-3), 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.033>

- [40] Yıldız, Y. Ş., Koparal, A. S., & Keskinler, B. (2008). Effect of initial pH and supporting electrolyte on the treatment of water containing high concentration oh humic substances by electrocoagulation. *Chemical Engineering Journal*, 138(1-3), 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.05.029>
- [41] Bener, S., Bulca, Ö., Palas, B., Tekin, G., Atalay, S., & Ersöz, G. (2019). Electrocoagulation process for the treatment of real textile wastewater: Effect of operative conditions on the organic carbon removal and kinetic study. *Process Safety and Environmental Protection*, 129, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.06.010>
- [42] Demirbas, E., & Kobya, M. (2017). Operating cost and treatment of metalworking fluid wastewater by chemical coagulation and electrocoagulation processes. *Process Safety and Environmental Protection*, 105, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.10.013>
- [43] Das, P. P., Sharma, M., & Purkait, M. K. (2022). Recent progress on electrocoagulation process for wastewater treatment: A review. *Separation and Purification Technology*, 292, 121058. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121058>
- [44] Ghosh, D., Solanki, H., & Purkait, M. K. (2008). Removal of Fe(II) from tap water by electrocoagulation technique. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1-2), 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.042>
- [45] Larue, O., Vorobiev, E., Vu, C., & Durand, B. (2003). Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Separation and Purification Technology*, 31(2), 177-192. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(02\)00182-X](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(02)00182-X)
- [46] Tahreen, A., Jami, M. S., & Ali, F. (2020). Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101440. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101440>
- [47] Chen, X., Ren, P., Li, T., Trembly, J. P., & Liu, X. (2018). Zinc removal from model wastewater by electrocoagulation: Processing, kinetics and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 349, 358-367. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.099>
- [48] Changmai, M., Pasawan, M., & Purkait, M. K. (2019). Treatment of oily wastewater from drilling site using electrocoagulation followed by microfiltration. *Separation and Purification Technology*, 210, 463-472. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.08.007>
- [49] Rahman, N. A., Tomiran, N. A., & Hashim, A. H. (2020). Batch electrocoagulation treatment of peat water in Sarawak with galvanized iron electrodes. *Materials Science Forum*, 997, 127-138. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.997.127>
- [50] Daneshvar, N., Sorkhabi, H. A., & Kasiri, M. B. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.021>
- [51] Tirado, L., Gökkuş, Ö., Brillas, E., & Sirés, I. (2018). Treatment of cheese whey wastewater by combined electrochemical processes. *Journal of Applied Electrochemistry*, 48, 1307-1319. <https://doi.org/10.1007/s10800-018-1218-y>
- [52] Sahu, O., Mazumdar, B., & Chaudhari, P. K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 2397-2413. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2208-6>

- [53] Nawarkar, C. J., & Salkar, V. D. (2019). Solar powered electrocoagulation system for municipal wastewater treatment. *Fuel*, 237, 222-226. <https://doi.org/j.fuel.2018.09.140>
- [54] Lakshimi, P. M., & Sivashanmugam, P. (2013). Treatment of oil tanning effluent by electrocoagulation: Influence of ultrasound and hybride electrode on COD removal. *Separation and Purification Technology*, 116, 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.05.026>
- [55] Prajapati, A. K., Chaudhari, P. K., Pal, D., Chandrakar, A., & Choudhary, R. (2016). Electrocoagulation treatment of rice grain based distillery effluent using copper electrode. *Journal of Water Process Engineering*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.03.008>
- [56] Kobya, M., Gengec, E., & Demirbas, E. (2016). Operating parameters and costs assessments of a real dyehouse wastewater effluent treated by a continuous electrocoagulation process. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 101, 87-100. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.11.012>
- [57] Kobya, M., Gengec, E., Sensoy, M. T., & Demirbas, E. (2014). Treatment of textile dyeing wastewater by electrocoagulation using Fe and Al electrodes: optimisation of operating parameters using central composite design. *Colorization Technology*, 130, 226-235. <https://doi.org/10.1111/cote.12090>
- [58] Tezcan, U. U., & Aytac, E. (2013). Electrocoagulation in a packed bed reactor-complete treatment of color and cod from real textile wastewater. *Journal of Environmental Management*, 123, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.016>
- [59] Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O. T., & Sozbir, M. (2004). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*, 37(2), 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.09.002>
- [60] Shin, S. H., Kim, Y. H., Jung, S. K., Suh, K. H., Kang, S. G., Jeong, S. K., & Kim, H. G. (2004). Combined performance of electrocoagulation and magnetic separation processes for treatment of dye wastewater. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 21, 806-810. <https://doi.org/10.1007/BF02705524>
- [61] Cerqueira, A., Russo, C., & Marques, M. R. C. (2009). Electroflocculation for textile wastewater treatment. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26(4), 659-668. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322009000400004>
- [62] 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.021>
- [63] Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., & Tizpar, A. (2003). Decolorization of orange II by electrocoagulation method. *Separation and Purification Technology*, 31(2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(02\)00178-8](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(02)00178-8)
- [64] Can, O. T., Kobya, M., Demirbas, E., & Bayramoglu, M. (2006). Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. *Chemosphere*, 62(2), 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.022>
- [65] Zongo, I., Maiga, A. H., Wéthé, J., Valentin, G., Leclerc, J. P., Paternotte, G., & Lapique, F. (2009). Electrocoagulation fort he treatment of textile wastewaters with Al or Fe electrodes: Compared variations of COD levels, turbidity and absorbance. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3), 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.072>

- [66] Khemila, B., Merzouk, B., Chouder, A., Zidelkhir, R., Leclerc, J. P., & Lopicque, F. (2018). Removal of a textile dye using photovoltaic electrocoagulation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 7, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2017.11.004>
- [67] Verma, A. K. (2017). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation employing Fe-Al composite electrode. *Journal of Water Process Engineering*, 20, 168-172. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.11.001>
- [68] Mohamad, H. A. E. D., Hemdan, M., Eldin Bastawissi, A. A., Bastawissi, A. E. M., Panchal, H., & Sadasivuni, K. K. (2021). Industrial wastewater treatment by electrocoagulation powered by a solar photovoltaic system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1950870>
- [69] Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., & Abbas, S. A. (2015). Enhancement of an electrocoagulation process for the treatment of textile wastewater under combined electrical connections using titanium plates. *International Journal of Electrochemical Science*, 10, 4495-4512.
- [70] Naje, A. S. (2013). Combination of electrocoagulation and electro-oxidation processes of textile wastewaters treatment. *Civil and Environmental Research*, 3(13), 61-74.
- [71] De Maman, R., da Luz, V. C., Behling, L., Dervanoski, A., Rosa, C. D., & Pasquali, G. D. L. (2022). Electrocoagulation applied for textile wastewater oxidation using iron slag as electrodes. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 31713-31722. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18456-5>