



Sızıntı suyundan foto-elektro-Fenton yöntemi ile KOİ ve renk giderimi üzerine akım yoğunluğu ve pH etkisi

The effect of current density and pH on COD and color removal from leachate by the photo-electro-Fenton method

Kasım Atmaca¹, Nevzat Beyazıt^{1*}

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 55210, Samsun, Türkiye

Özet

Sızıntı suları yüksek düzeylerde organik ve inorganik kirlenimler içermekte, sızma ve/veya yüzeysel akış ile yeraltı sularına ve yüzeysel sulara karışarak çevre ve insan sağlığı açısından tehlike oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, sızıntı sularının arıtımı ve deşarjında önemli parametrelerden olan KOİ ve rengin foto-elektro-Fenton yöntemi ile giderimi çeşitli işletme koşulları altında araştırılmıştır. Arıtma ve maliyet sürecinde önemli olan işletme parametreleri belirlenerek optimize edilmiştir. Sızıntı suyundan foto-elektro-Fenton yöntemi ile KOİ ve renk giderimi üzerine akım yoğunluğu (10-50 A/m²) ve pH (2.5-5.0) etkileri incelenmiştir. Optimum deneysel koşullar için (pH: 3, akım yoğunluğu: 10 A/m²) maksimum %79.75 KOİ (90 dakika) ve %80.57 renk (45 dakika) giderim verimleri 11.02 ve 5.50 kWh/m³ elektrik enerjisi tüketimleri ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar, sızıntı suyundan KOİ ve renk giderimi üzerine foto-elektro-Fenton yönteminin başarı ile uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Sızıntı suyu, Foto-elektro-Fenton, KOİ, Renk, Giderim

1 Giriş

Sızıntı suyu, katı atıklardan yağmur suyunun sızması, doğal nem ve atıklarda meydana gelen biyokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan yüksek oranda organik ve inorganik kirlenimler içeren sıvı bir karışımdır. Sızıntı suları güvenli bir şekilde toplanıp, deşarj edilmezse, toprağı, yüzey suyunu ve yeraltı sularını önemli düzeylerde kirlenebilecek potansiyel bir kirlilik kaynağı haline gelebilir [1, 2]. Sızıntı suyu arıtma teknolojileri olarak; biyolojik ve fizikokimyasal yöntemler veya bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı birleşik sistemler çoğunlukla tercih edilir [3].

Biyolojik arıtma sistemleri, yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı giderme etkinliği sağlamakla birlikte genellikle yüksek moleküler ağırlıklı fraksiyonları parçalamak ve renk gidermek için yetersizdirler.

Fizikokimyasal arıtma prosesleri (koagülasyon-flokülasyon, kimyasal oksidasyon, hava sıyırma, membran prosesleri ve aktif karbon üzerinde adsorpsiyon) ayrı ayrı veya biyolojik arıtma prosesleri ile birlikte olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, bu tekniklerin yüksek işletme maliyetleri ve düşük kirlenici verimliliği gibi dezavantajları vardır [4].

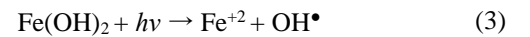
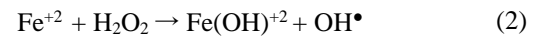
Elektrokimyasal arıtma gibi ileri oksidasyon prosesleri, bozunmaya dirençli organik kirlenici ve renk giderilmesi için en etkili arıtma teknolojileri arasındadır [5]. En yaygın

Abstract

Leachate contain high levels of organic and inorganic pollutants, and may cause danger to the environment and human health by mixing with groundwater and surface waters by infiltration and/or runoff. In this study, the removals of COD and color, which are important parameters for the treatment and discharge of leachate, by photo-electro-Fenton method, was investigated under various operating conditions. Operational parameters that are important for the treatment and cost processes were determined and optimized. The effects of current density (10-50 A/m²) and pH (2.5-5.0) on COD and color removal from the leachate by photo-electro-Fenton method were investigated. For optimum experimental conditions (pH: 3, current density: 10 A/m²) maximum 79.75% COD (90 minutes) and 80.57% color (45 minutes) removal efficiencies were obtained with 11.02 and 5.50 kWh/m³ electrical energy consumption. These results showed that the photo-electro-Fenton method can be successfully applied on COD and color removal from leachate.

Keywords: Leachate, Photo-electro-Fenton, COD, Color, Removal

kullanılan ileri oksidasyon prosesleri arasında; hidrojen peroksit (H₂O₂), H₂O₂/UV radyasyonu, ozonlama (O₃), O₃/UV radyasyonu, fenton (H₂O₂/Fe⁺²), foto-Fenton (UV/H₂O₂/Fe⁺²) prosesleri sayılabilir [6]. Elektrokimyasal ve fotokimyasal proseslerin Fenton prosesleri ile kombinasyonu; foto-elektro-Fenton prosesi olarak bilinir.



Denklem (1) Fenton reaksiyonunu göstermektedir. Denklem (1) ve (2)'ye göre Fe⁺² iyonları H₂O₂ ile reaksiyona girerek hidroksil radikalleri ve demir hidroksit kompleksleri oluşur. Denklem (3)'e göre oluşan demir hidroksit kompleksleri UV varlığında Fe⁺² ve hidroksil radikallerine dönüşmektedir [7]. Bu süreçlerde, Fe⁺² iyonlarının fotokimyasal rejenerasyonu ve komplekslerin foto-aktivasyonu, foto-elektro-Fenton sistemlerini daha verimli hale getirmektedir. Ayrıca Denklem (4) uyarınca UV'nin

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: nbeyazit@omu.edu.tr (N. Beyazıt)

Geliş / Recieved: 09.11.2020 Kabul / Accepted: 24.11.2020 Yayınlanma / Published: 15.01.2021

doi: 10.28948/ngumuh.823630

H₂O₂ ile reaksiyonu ile doğrudan 2 mol OH• oluşturulabilir [8]. Bu nedenle, UV varlığında ortamda daha fazla OH• oluşturmak mümkündür. Bu durum, kirletici giderim verimliliğini arttırmaktadır.

Kang vd. [9], tekstil atıksuyundan renk giderimi üzerine Fe²⁺/H₂O₂/UV (pH: 4), H₂O₂/UV (pH: 4), Fe²⁺/H₂O₂/UV (pH: 7) ve Fe²⁺/H₂O₂ (pH: 4) proseslerini uygulamış, sırasıyla %93, 82, 73 ve 64'lük renk giderimleri elde etmişlerdir. Galehdar vd. [10], MDF atıksuyundan foto-Fenton yöntemi ile KOİ giderimi üzerine yaptıkları çalışmada, optimum koşullar altında (pH: 6.50, KOİ: 4000 mg/L, Fe²⁺/H₂O₂: 0.11, UV temas süresi: 70 dakika) %96 KOİ giderimi elde etmişlerdir. Asaithambi vd. [11], sızıntı suyundan foto-elektro-Fenton yöntemi ile KOİ ve renk giderimi üzerine yaptıkları çalışmada, optimum koşullar altında (pH: 3, akım yoğunluğu: 35 A/m², H₂O₂: 300 mg/L, UV lamba: 32 W, elektrotlar arası mesafe: 0.75 cm) %97 KOİ ve %100 renk giderimi elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, sızıntı suyundan KOİ ve renk giderimi üzerine bazı önemli işletme parametrelerinin (akım yoğunluğu, pH) etkisi incelenmiştir. Ayrıca maksimum giderim verimlerinin elde edildiği koşullar için elektrik enerjisi tüketimleri hesaplanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Atıksu karakterizasyonu

Deneylerde kullanılan sızıntı suyu, Samsun şehir merkezine yaklaşık 10 km mesafede bulunan Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi sahasından temin edilmiştir. Depolama alanı 3 lottan oluşmakta olup birinci etap 5.6 hektar toplam parsel alanı, ikinci etap 4 hektar toplam parsel alanı ve üçüncü etap ise toplam 6.9 hektar parsel alanıdır. 2008 yılının Mayıs ayından bu yana düzenli depolama sahasında atık depolama işlemi gerçekleştirilmektedir. Depolama sahası bu özelliği ile orta yaşlı çöp sahası sınıfına girmektedir. Depolama sahasında günlük 900-1000 ton atık depolanmaktadır. Sahada günlük ortalama 300 m³ sızıntı suyu oluşmaktadır. Oluşan sızıntı suyu sahada artılmadan, her gün 30 m³ kapasiteli tankerler ile Samsun Doğu İleri Arıtma Tesisi'ne gönderilmektedir. Sızıntı suyunun özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Elektrokimyasal süreci etkileyebilecek askıda katı maddeleri uzaklaştırmak için atık su, 0.063 mm çapında bir elek kullanılarak bir ön filtreleme işlemine tabi tutulmuştur [12].

Tablo 1. Sızıntı suyu karakterizasyonu

Parametre	Seviye
pH	7.99-8.20
KOİ (mg/L)	7983-8150
İletkenlik (mS/cm)	20-40
Renk (Pt-Co)	1887-1980

Her deney için öncesinde foto-reaktör 2.2 L atık su ile doldurulmuş ve kesikli modda 250 rpm'de mekanik olarak karıştırılmıştır. Fe²⁺ iyonları elektriksel olarak anotta üretilirken, H₂O₂ dışarıdan ilave edilmiştir. Her deneyden sonra elektrotlar, deneyler sırasında elektrot yüzeylerinde oluşan mikrofilm tabakasını gidermek için birkaç dakika

konsantre HCl de bekletilmiş olup ardından damıtılmış su ile yeterince durulanmıştır.

2.2 Foto-reaktör

Bütün deneyler, iç çapı 7.70 cm, dış çapı 8.25 cm ve yüksekliği 48.5 cm olan pleksiglas malzemeden yapılmış silindirik bir foto-reaktör de gerçekleştirilmiştir. Foto-reaktörün içerisine bir adet 16 W gücünde düşük basınçlı cıva buharlı lamba (UV-C, 254 nm) ve 1 Anot (Demir) ve 1 Katottan (Paslanmaz çelik) oluşan elektrotlar yerleştirilmiştir. Elektrot boyutları 4.6 cm x 29.6 cm x 0.2 cm (genişlik x yükseklik x kalınlık) olup toplam aktif yüzey alanı 267.498 cm² olarak hesaplanmıştır. Foto-reaktör içindeki elektrotlar monopolar paralel modda yerleştirilmiş olup deneylerin başlangıcında doğrudan güç kaynağına (GW GPC-3060D Doğru Akım - 30V, 6A) bağlanmıştır. Deneylerde kullanılan foto-reaktörün üstten görünümü Şekil 1'de, elektrokimyasal sistem ise Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Foto-reaktörün üst görünümü



Şekil 2. Foto-elektro-Fenton sistemi

Deneylerde pH ayarlaması için H₂SO₄ (Merck) ve 1M NaOH (Sigma) kullanılmıştır. pH ölçümleri Thermo Scientific Orion 4 Star marka ve model pH metre ile yapılmıştır. Atıksuyun pH değeri istenilen değere getirildikten sonra her deney öncesi ham atık suda KOİ ve renk ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra atık su foto-reaktöre konulmuş, 1-2 dakika karıştırılmış ve istenilen miktarlarda H₂O₂ ilave edildikten hemen sonra gerilim ölçer ve UV lambası aynı anda çalıştırılmıştır. Örnekler periyodik aralıklarla (1, 3, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 dakika) alınmış olup 9000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra fotometre (Merck

Spectroquant Nova 60A marka ve modeli) kullanılarak KOİ ve renk ölçümleri yapılmıştır.

2.3 Analitik Sistem

Tüm deneyler, su ve atık su arıtımı için hazırlanmış Standart Yöntemlere göre (5520-D) yapılmıştır [13]. KOİ ölçümleri kapalı reflüx kolorimetrik yöntemle göre yapılmıştır. KOİ giderim verimleri, Denklem (5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Giderim verimi (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (5)$$

C_0 = Başlangıç KOİ konsantrasyonu (mg/L)

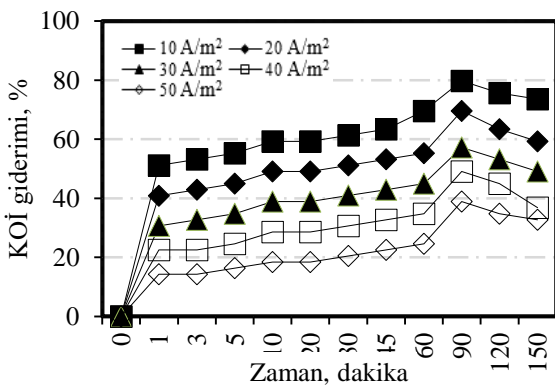
C_t = t anındaki KOİ konsantrasyonu (mg/L)

Renk ölçüm sonuçları, görsel karşılaştırma yöntemi kullanılarak (2120-B) Pt-Co birimleri ile elde edilmiştir. Bu kapsamda, renk için alınan numunelerin absorbansı 340 nm dalga boyunda ölçülmüş olup gerekli çarpım faktörü ile çarpılarak renk ölçüm sonuçları belirlenmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 KOİ ve renk giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi

Akım yoğunluğu; reaksiyon hızını, ileri oksidasyon proseslerinde üretilen OH^\bullet miktarını, elektrik enerjisi tüketimini ve dolayısıyla arıtma işleminin maliyetini doğrudan etkiler [11]. Deneysel koşullar sabit tutulup (pH: 3, H_2O_2 : 500 mg/L, UV kaynağı: 16 W, elektrotlar arası mesafe: 1.0 cm, karıştırma hızı: 250 rpm), 10, 20, 30, 40 ve 50 A/m^2 akım yoğunlukları denenmiştir. Şekil 3 ve 4, sırasıyla KOİ ve renk giderimi üzerine akım yoğunluklarının etkilerini göstermektedir. Maksimum %79.75 KOİ ve %80.57 renk giderim verimlerine 10 A/m^2 akım yoğunluğunda sırasıyla 90. ve 45. dakikalarda, 3.79 ve 3.48 lik çıkış pH değerlerinde ulaşılmıştır.



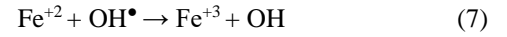
Şekil 3. KOİ giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Anot: Demir, Katot: Çelik, pH: 3, H_2O_2 : 500 mg/L, UV lamba: 16 W, elektrotlar arası mesafe: 1.0 cm, karıştırma hızı: 250 rpm)

20, 30, 40, 50 A/m^2 akım yoğunluğu değerleri için elde edilen maksimum KOİ giderim verimleri sırasıyla %69.53, 57.26, 49.08, 38.8 olarak bulunurken, maksimum renk

giderim verimleri sırasıyla %70.87, 65.03, 55.33, 45.62 olarak bulunmuştur. Akım yoğunluğunun 10 A/m^2 'den 50 A/m^2 'ye çıkarılmasıyla KOİ giderimi, %79.75'ten %38.86'ya düşmüştür. Akım yoğunluğu arttırıldığında, Denklem (6) uyarınca anottan birim zamanda çözünen Fe^{+2} iyonlarının miktarı artmaktadır.



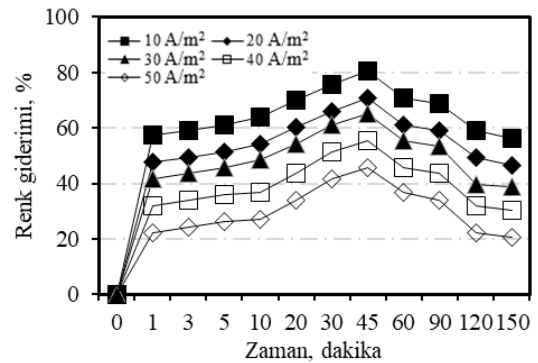
KOİ giderimindeki bu azalma, giderimde etkili OH^\bullet radikalının OH^- iyonlarına dönüşmesi gibi yan reaksiyonlara neden olan artan akımla açıklanabilir (Denklem 7).



Zhang vd. [14] tarafından yapılan çalışmada, benzer bir sonuç görülmüştür. Sızıntı suyundan KOİ giderimi üzerine yapılan çalışmada, akımın 250 mA'den 300 mA'e yükseltilmesi KOİ gideriminin % 89.2'den 79.3'e düştüğü bildirilmiştir. Şekil 3'ten görüldüğü üzere 90 dakika boyunca, bütün akım yoğunluğu değerleri için KOİ giderimleri artmıştır. Bu durum ortamda artan OH^\bullet radikalleri ile açıklanabilir. 90 dakikalık arıtım sonucunda tüketilen elektrik enerjisi miktarları ise; 10, 20, 30, 40, 50 A/m^2 için sırasıyla 11.02, 11.31, 11.73, 12.37, 13.20 kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4'te ise renk giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi görülmektedir.

Akım yoğunluğunun 10 A/m^2 'den 50 A/m^2 'ye çıkarılmasıyla, 45 dakikalık arıtım sonunda renk giderimi; %80.57'den %45.62'ye düşmüştür. Bu durum artan akım yoğunluğuyla birlikte, anottan birim zamanda çözünen demir miktarının artması ve artan demirin suya renk vermesiyle ilişkilendirilebilir [15]. Bu nedenle akım şiddeti ve proses süresi oldukça önemli işletme parametresi olarak değerlendirilmelidir.

45 dakikalık arıtım sonucunda tüketilen elektrik enerjisi miktarları ise; 10, 20, 30, 40, 50 A/m^2 akım yoğunlukları için sırasıyla 5.51, 5.69, 5.92, 6.19, 6.60 kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır. 45. dakikadan sonra ise; bütün akım yoğunlukları için renk giderim verimlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum ise ortamda bulunan OH^\bullet radikallerinin azalması ile açıklanabilir.

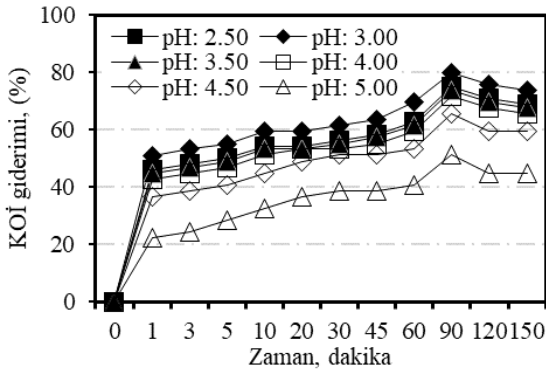


Şekil 4. Renk giderimi üzerine akım yoğunluğunun etkisi (Anot: Demir, Katot: Çelik, pH: 3, H_2O_2 : 500 mg/L, UV lamba: 16 W, elektrotlar arası mesafe: 1 cm, karıştırma hızı: 250 rpm)

Sonuç olarak en yüksek KOİ ve renk giderimi ve en düşük elektrik enerjisi tüketimi, 10 A/m² akım yoğunluğunda sağlandığından, optimum akım yoğunluğu değeri 10 A/m² olarak bulunmuştur.

3.2 KOİ ve renk giderimi üzerine pH'nın etkisi

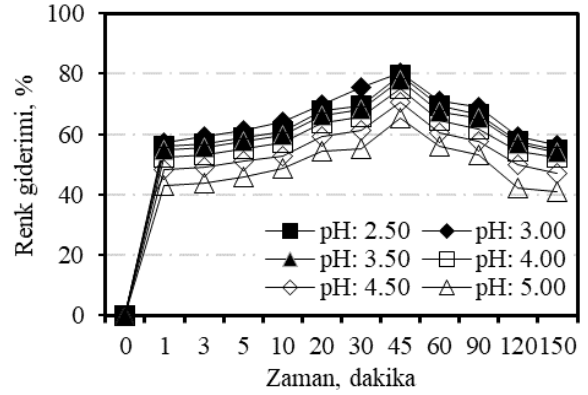
Atıksu pH değeri, foto-elektro-Fenton sistemlerinin verimliliğini doğrudan etkileyen çok önemli bir parametredir [11]. Foto-elektro-Fenton deneyleri asidik pH değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni, asidik pH'larda baskın olan OH• radikallerinin, alkali pH'da baskın olan hidroperoksil (HO₂•) radikallerinden daha yüksek oksidasyon gücüne sahip olmasıdır. [16]. pH'nın, KOİ ve renk giderimi üzerine etkisini incelemek amacıyla diğer deneysel koşullar sabit tutularak (Akım yoğunluğu: 10 A/m², H₂O₂: 500 mg/L, UV kaynağı: 16 W, elektrotlar arası mesafe: 1 cm, karıştırma hızı: 250 rpm), pH etkisi (2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0) incelenmiştir. Şekil 5 ve 6'da görüldüğü üzere, maksimum %79.75 KOİ ve %80.57 renk giderim verimliliğine pH 3'te sırasıyla 90. ve 45. dakikalarda ulaşılmıştır. Maksimum KOİ ve renk gideriminin elde edildiği 90. ve 45. dakikaların sonunda atıksu çıkış pH ları sırasıyla 3.79 ve 3.48 olarak ölçülmüştür. pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 için elde edilen maksimum KOİ giderim verimleri sırasıyla %75.16, 79.75, 73.62, 71.57, 65.44, 51.13 iken (Şekil 5), maksimum renk giderim verimleri ise sırasıyla, %79.38, 80.57, 77.86, 75.23, 70.73, 65.40 (Şekil 6) olarak bulunmuştur. pH'nın 3'ten 5'e çıkarılmasıyla, KOİ giderimi 90 dakikalık arıtım sonunda %79.75'ten %51.13'e düşmüştür. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: çözülmüş demir iyonları, Fe³⁺, Fe(OH)₃ olarak pH 3'ün üzerinde çökmeye başlar ve oluşan Fe(OH)₃ yalnızca çözülmüş Fe³⁺ konsantrasyonunu düşürmekle kalmaz, aynı zamanda elektrot yüzeylerinde birikerek, UV etkisi ile oluşabilecek Fe²⁺ rejenerasyonunu engelleyebilir.



Şekil 5. KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi (Anot: Demir, Katot: Çelik, akım yoğunluğu: 10 A/m², H₂O₂: 500 mg/L, UV kaynağı: 16 W, elektrotlar arası mesafe: 1 cm, karıştırma hızı: 250 rpm)

Benzer bir korelasyonu Asaithambi vd. [11] sızıntı suyundan foto-elektro-Fenton yöntemi ile KOİ giderimi üzerine yaptıkları çalışmada bulmuşlardır. pH'nın 3'ten 5'e yükseltilmesiyle KOİ giderim verimi %97'den %77'ye düşmüştür. Maksimum KOİ giderim verimlerinin elde edildiği 90 dakikalık arıtım sonunda elde edilen elektrik

enerjisi tüketimleri ise pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 için sırasıyla 11.04, 11.02, 11.04, 11.06, 11.05, 11.08 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Renk giderimi üzerine pH'nın etkisi (Anot: Demir, Katot: Çelik, akım yoğunluğu: 10 A/m², H₂O₂: 500 mg/L, UV kaynağı: 16 W, elektrotlar arası mesafe: 1 cm, karıştırma hızı: 250 rpm)

Şekil 6'dan görüldüğü üzere ilk 45 dakika boyunca bütün pH değerleri için renk giderim verimleri artmıştır. Bu durum zamanla ortamda artan OH• radikali ile açıklanabilir. 45 dakikalık arıtım sonunda elde edilen elektrik enerjisi tüketimleri pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 için sırasıyla 5.51, 5.50, 5.50, 5.52, 5.52, 5.53 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, sızıntı suyundan KOİ ve renk giderimi üzerine akım yoğunluğu ve pH etkileri incelenmiş, maksimum KOİ ve renk giderimi için optimum koşullar belirlenmiştir. Giriş pH değeri 3'ten sonra KOİ ve renk giderimlerinde belirlenen azalmalar, pH 4'ten sonra artmıştır. Örneğin pH'nın 4'ten 5'e çıkarılmasıyla 90 dakika sonunda KOİ giderimi %71.57'den %51.13'e düşmüştür, renk giderimi için ise 45. dakikanın sonunda %75.23'ten %65.40'a düşmüştür. Akım yoğunluğu 10 A/m² den sonra artırılmaya devam edildiğinde hem KOİ hem de renk giderimlerinde azalmalar olmuştur. Ancak renk giderimi için bu azalma 30 A/m²'den sonra daha gözle görülür biçimdedir. Akımın 30 A/m²'den 50 A/m²'ye çıkarılmasıyla renk giderim verimi 45. dakikanın sonunda %65.03'ten %45.62'ye düşmüştür. KOİ giderimi ise 90 dakikanın sonunda %57.26'dan %38.86'ya düşmüştür. Optimum deneysel koşullar altında (akım yoğunluğu: 10 A/m² ve pH: 3) maksimum %79.75 KOİ ve %80.57 renk giderimi elde edilmiştir. Maksimum KOİ ve renk giderimlerinin elde edildiği süreler sonunda tüketilen elektrik enerjisi miktarları ise sırasıyla 11.02 ve 5.50 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır. Kullanılan atıksuyun karakterizasyonu dikkate alındığında, elde edilen maksimum giderim verimleri ile; Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği'nde sızıntı sularının deşarj izinleri kapsamında KOİ ve renk parametreleri için öngörülen sırası ile 700 mg/L ve 280 Pt-Co değerlerinin sağlanamayacağı anlaşılmış olup foto-elektro-Fenton yönteminin bir başka arıtma sistemi ile birlikte, arıtma öncesi veya sonrası olarak kullanılması daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.19.015 Proje numarası ile desteklenmiştir. Yazarlar maddi destekleri için teşekkür ediyor.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı: %9

Kaynaklar

- [1] E. Atmaca, Treatment of landfill leachate by using electro- Fenton method, *J. Hazard. Mater.*, 163, 109-114, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.067>.
- [2] T.A. Kurniawan, W.-h. Lo, G.Y.S. Chan, Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate, *J. Hazard. Mater.*, 129, 80-100, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.010>.
- [3] S.M. Raghav, A.M. Abd El Meguid, H.A. Hegazi, Treatment of leachate from municipal solid waste landfill, *HBRC J.*, 9, 187-92, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.05.007>.
- [4] S. Renou, J.G. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan, P. Moulin, Landfill leachate treatment: review and opportunity, *J. Hazard. Mater.*, 150, 468-93, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>.
- [5] Y. Deng, J.D. Englehardt, Treatment of landfill leachate by the Fenton process, *Water Res.*, 40, 3683-94, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.009>.
- [6] S.K.A. Solmaz, A. Birgul, G.E. Ustun, T. Yonar, Colour and COD removal from textile effluent by coagulation and advanced oxidation processes, *Coloration Technology*, 122, 102-09, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2006.00016.X>.
- [7] P.H. Sreeja, K.J. Sosamony, A comparative study of homogeneous and heterogeneous photo-Fenton process for textile wastewater treatment, *Procedia Technology*, 24, 217-223, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procy.2016.05.065>.
- [8] A. Babuponnusami, K. Muthukumar, A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 557-572, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.10.011>.
- [9] S.F. Kang, C.H. Liao, S.T. Po, Decolorization of textile wastewater by photo-Fenton oxidation technology, *Chemosphere*, 41, 1287-94, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00524-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00524-X).
- [10] M. Galehdar, H. Younesi, M. Hadavifar, A.A. Zinatizadeh, Optimization of a photo-assisted Fenton oxidation process: A statistical model for MDF effluent treatment, *Journal of Clean.*, 37, 629-37, 2009. <https://doi.org/10.1002/clen.200900052>.
- [11] P. Asaithambi, R. Govindarajan, M.B. Yesuf, E. Alemayehu, Removal of color, COD and determination of power consumption from landfill leachate wastewater using an electrochemical advanced oxidation processes, *Separation and Purification Technology*, 233, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115935>.
- [12] M. Panizza, C.A. Martinez-Huitle, Role of electrode materials for the anodic oxidation of a real landfill leachate-comparison between Ti-Ru-Sn ternary oxide, PbO₂ and boron doped diamond anode, *Chemosphere*, 90, 1455-1460, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.006>.
- [13] E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, and L.L. Bridgewater, *Standard Methods in Examination of Water and Wastewater*, twenty-three ed. Water Environment Federation, American Public Health Association, Washington DC, 2012.
- [14] H. Zhang, D. Zhang, J. Zhou, Removal of COD from landfill leachate by electro-Fenton method, *Journal of Hazardous Materials*, 135, 106-11, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.025>.
- [15] A. Altin, An alternative type of photo-electro-Fenton process for the treatment of landfill leachate, *Separation and Purification Technology*, 61, 391-97, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.12.004>.
- [16] U. Bali, E. Catalkaya, F. Sengul, Photodegradation of Reactive Black 5, Direct Red 28 and Direct Yellow 12 using UV, UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/Fe²⁺ : a comparative study, *Journal of Hazardous Materials*, 114, 159-66, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.013>.

