

## Sızıntı Suyundan Fenton-Benzeri Prosesi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Renk Giderimine ZVI ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Konsantrasyonlarının Etkisi

Neşe ERTUGAY<sup>1</sup>

Nihal KOCAKAPLAN<sup>2</sup>

Emine MALKOÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ERZİNCAN

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ERZURUM

✉: nertugay@erzincan.edu.tr

Geliş (Received): 08.12.2016

Kabul (Accepted): 08.03.2016

**ÖZET:** Sızıntı suları, kompleks yapıları ve yüksek kirletici konsantrasyonlarından dolayı arıtımı zor atık sulardır. Bu çalışmada; sızıntı sularından Fenton-benzeri oksidasyon ile renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi çalışılmıştır. Renk ve KOİ giderimine sıfır değerlikli demir (ZVI) ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Renk giderimi 436, 525 ve 620 nm olmak üzere farklı üç dalga boyunda değerlendirilmiştir. En yüksek KOİ (%74.4) ve renk giderimi (436 nm'de %71, 525 nm'de %80.3 ve 620 nm'de %87.9) 0.05 g/L ZVI konsantrasyonunda belirlenmiştir. 200 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonuna kadar artan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ile renk ve KOİ gideriminin de arttığı gözlenmiştir. Optimum değerler; 20 dakikalık bir reaksiyon süresinde ve pH=2.0'de ZVI=0.05 g/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=150 mg/L olarak bulunmuştur. Ulaşılan optimum şartlarda toplam organik karbon (TOK) giderimi %50 civarında belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fenton-benzeri proses, sızıntı suyu, oksidasyon, ZVI

### The Effect of ZVI and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Concentrations on Chemical Oxygen Demand and Color Removal With Fenton-Like Process From Leachate

**ABSTRACT:** Leachate are difficult to treat due to their complex structures and having high pollutants concentrations. In this study; color and chemical oxygen demand (COD) removal were studied from the leachate by Fenton-like oxidation. The effect of zero-valent iron (ZVI) and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentrations on color and COD removal was investigated. The color removal was conducted at three different wavelengths of 436, 525 and 620 nm, respectively. The highest COD (74.4%) and color removal (71% at 436 nm, 80.3% at 525 nm and 87.9% at 620 nm) were determined at concentration of 0.05 g/L ZVI. Increasing of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration up to 200 mg/L also increased color and COD removal. Optimum values were 0.05 g/L and 150 mg/L for ZVI and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at a reaction time of 20 minutes and pH=2.0 and total organic carbon (TOC) removal was also determined at about 50%.

**Key words:** Fenton-like process, leachate, oxidation, ZVI

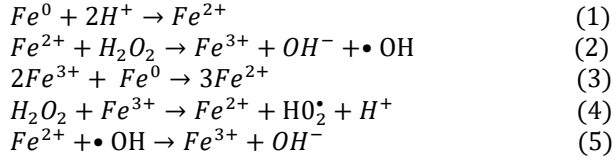
### GİRİŞ

Nüfusun artması, teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte tüketimin de artış göstermesi katı atık sorununu ortaya çıkarmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde katı atıkların giderimi büyük sorun teşkil etmektedir. Katı atıkların düzenli depolanması, uygun arazi bulunduğu en ekonomik yöntem olmasına karşın oluşan sızıntı suyunun arıtılması önemli bir konudur. Çünkü, sızıntı suyu çok kompleks ve yüksek kirlilik potansiyeline sahiptir. Sızıntı suyu özelliği; katı atık bileşenleri, depo yaşı, depo alanının hidrojeolojik durumu, depo içindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler, katı atıktaki su miktarı, ısı, pH, redox potansiyeli, stabilizasyon derecesi, katı atık depolama yüksekliği, depolama sahasının işletilmesi ve iklim şartlarına göre değişmektedir (Duran ve Cici, 2015). Sızıntı sularının arıtımı için geliştirilen metotlar; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma metotlarıdır. Bu metotlardan herhangi birinin tek başına kullanılması ile yüksek oranda arıtma verimi ve çıkış suyu kalitesi elde etmek zordur (Bayhan ve Özbek, 2015). Son yıllarda iki veya daha fazla fizikokimyasal arıtma veya biyolojik arıtma tekniklerinin kombinasyonları, çöp sızıntı suyu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztürk ve ark. 2015).

Sızıntı suyunun arıtılmasında ileri oksidasyon prosesleri (İOP)'de yaygın şekilde araştırılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar; ozon (O<sub>3</sub>), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), UV, demir tuzları gibi metal iyonları ve TiO<sub>2</sub> gibi yarı iletkenlerin çeşitli kombinasyonlarının uygulanmasıyla sızıntı sularından organik kirleticilerin etkin bir şekilde uzaklaştırılabildiğini göstermiştir (Abu Amr and Aziz, 2012; Ahmadian ve ark. 2013; Amor ve ark. 2015; Chou ve ark. 2013; Galeano ve ark. 2011).

İOP, geleneksel oksidantlar olan oksijen, ozon ve Cl<sub>2</sub> gibi oksitleyiciler tarafından oksitlenemeyen, çok yüksek bir oksidasyon potansiyeline sahip ve hemen hemen tüm organik kirleticilerin oksitlenmesi mümkün olan hidroksil radikalının ( $\bullet$ OH) üretilmesini içermektedir (Öztürk ve ark 2015). Hidroksil radikalleri seçici olmayıp tüm organik maddeler ile reaksiyona girerler ve son ürün olarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O oluştururlar (Gürtekin ve Şekerdağ, 2008). Bu nedenle, hidroksil radikalleri sızıntı sularında ve diğer poseslerde bozunmaya dayanıklı organik bileşikler için kuvvetli oksidandır (Öztürk ve ark 2015). İOP; UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> (Fenton prosesi), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>0</sup>(ZVI) (Fenton-benzeri proses), UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> (Foto-Fenton prosesi) gibi değişik modifikasyonlarda uygulanabilmektedir.

Sıfır değerlikli demir (ZVI) kullanılan Fenton benzeri proseslerde; asidik şartlarda aşağıdaki reaksiyonlar sayesinde •OH radikali üretilerek arıtım gerçekleştirilir (Ertugay ve Acar, 2014).



Yapılan çalışmada Erzurum Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahası çöp sızıntı suyundan Fenton-benzeri oksidasyonu ile renk, KOİ ve TOK giderimine ZVI ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Sızıntı Suyunun Karakterizasyonu

Çalışmalarda kullanılan sızıntı suyu Erzurum Büyükşehir Belediyesi katı atık düzenli depolama sahası'ndan elde edilmiştir. Düzenli depolama 2008 yılından itibaren yapılmakta olup, deponi sahasının toplam alanı 55 hektar ve döküm alanı ise 19 hektardır. Deponi sahasına günde 330 ton civarında atık depolanmaktadır.

DeneySEL çalışmalarda kullanılan sızıntı suyunun karakterizasyonu Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sızıntı suyunun karakterizasyonu

	436 nm	525 nm	620 nm
Renk (Absorbans)	2.03	0.71	0.33
KOİ mg/L	3984.50		
TOK mg/L	1151.84		
pH	8.37±0.1		
İletkenlik µS/cm	32.0		

## Fenton-Benzeri Oksidasyon

250 mL hacme sahip erlenlerde 150 mL çalışma hacminde pH değeri 2.0'ye (%10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile) ayarlanarak Heidolph MR 3004 marka manyetik karıştırıcıda deneyler yürütülmüştür. Sızıntı suyu, ZVI ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesinden sonra 150 rpm karıştırma hızında 3 dakika ve 30 rpm'de 17 dakika karıştırılmıştır. Sızıntı suyundan alınan örnekler 0.45 µM membran filtreden geçirilerek renk, KOİ ve TOC analizleri yapılmıştır.

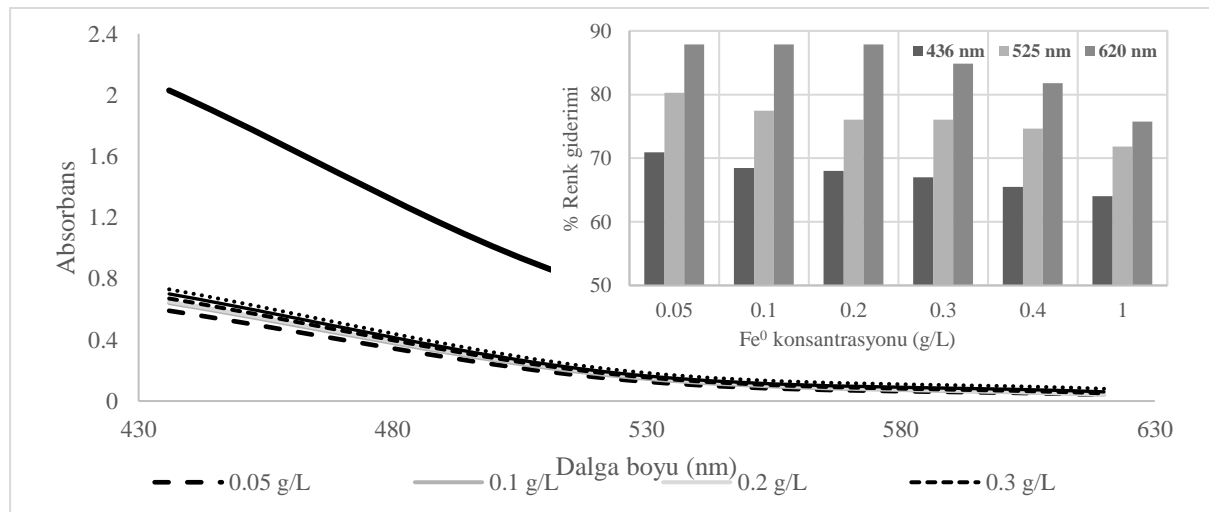
Sızıntı suyunda renk ölçümleri; 436, 525 ve 620 nm olmak üzere farklı üç dalga boyunda absorbans azalması ile değerlendirilmiştir. Renk ve KOİ ölçümleri UV-160A Shimadzu marka spektrofotometrede yapılmıştır. KOİ analizi ve TOK analizleri (Apollo 9000 TOC-TN cihazında) Standart Metodlara göre yapılmıştır (APHA, 1985).

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

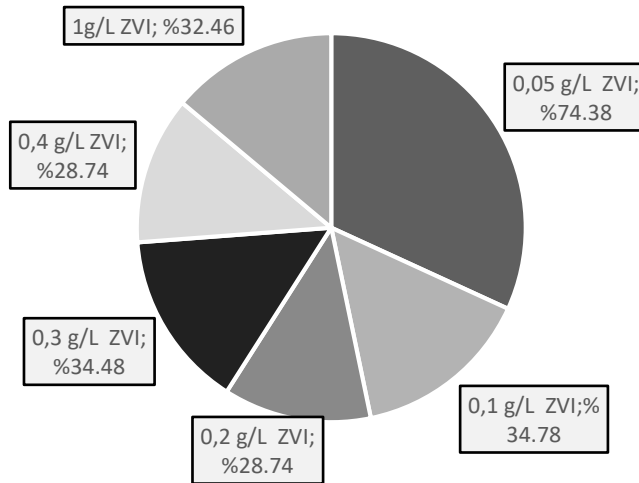
### Fenton Benzeri Oksidasyon İle Sızıntı Suyunun Arıtımına ZVI Konsantrasyonunun Etkisi

Demir, •OH üretmek için H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'yi katalitik olarak parçalayan Fenton-benzeri reaksiyonlardaki ana parametrelerden biridir (Ertugay ve Acar, 2014). Metalik demir olan Fe<sup>0</sup> (ZVI) düşük maliyetli olarak çalışılmaktadır. Sulu çözeltilerdeki bazı zararlı maddelerin uzaklaştırılmasında, farklı çevresel iyileştirme proseslerinde zararsız indirgeyicidir. Fenton-benzeri sistemlerde ZVI'nın rolü büyüktür. Demir metalinin potansiyel olarak 3 elektronla reaksiyona katılmasından dolayı Fenton prosesinde Fe<sup>2+</sup> yerine Fe<sup>0</sup> da kullanılmaktadır (Costa ve ark. 2008). 250 mL çalışma hacminde; optimum ZVI miktarını belirleyebilmek için; 150 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda ve pH=2.0'de, ZVI konsantrasyonu 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 1.0 g/L olarak değiştirilmiştir.

Sızıntı suyunun renk giderim verimindeki değişim ve absorbans azalması değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil.1 Fenton-benzeri proses ile sızıntı suyundan farklı ZVI konsantrasyonlarında absorbans azalması ve renk giderim verimlerinin değişimi (pH=2.0, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=150 mg/L, reaksiyon zamanı=20 dakika)



Şekil.2 Fenton benzeri proses ile farklı ZVI konsantrasyonlarında sızıntı suyundan KOİ giderimi (pH=2.0, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=150 mg/L, reaksiyon zamanı=20 dakika)

Şekil 1'den de görüldüğü gibi, en yüksek renk giderimi en düşük ZVI konsantrasyonunda gerçekleşmiştir. Daha yüksek ZVI konsantrasyonlarında verim hemen hemen aynıdır. 0.05 g/L ZVI konsantrasyonunda ve 436, 525 ve 620 nm'de renk giderim verimi sırası ile %71, %80.28 ve %87.87 iken, bu değer 0.2 g/L ZVI miktarında (436 nm) %68'e ve 0.4 g/L'de %66'ya düşmüştür. Bu sonuçlar; belli miktarlardaki ZVI, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> üretimini artırmasına rağmen, ZVI miktarının artması H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin ayrışmasını ve Fenton-benzeri reaksiyonlardan üretilen oksidantların tüketilmesini hızlandırmadan kaynaklanmaktadır (Ertugay ve Acar, 2014; Fu ve ark. 2010).

Farklı ZVI konsantrasyonlarında, sızıntı suyundan KOİ gideriminde renk gideriminin yüksek olduğu 0.05 g/L ZVI konsantrasyonunda KOİ gideriminin de yüksek olduğu Şekil 2'de görülmektedir. Denenen diğer konsantrasyonlarda KOİ giderim verimleri birbirine yakındır. 0.05 g/L ZVI konsantrasyonunda sızıntı suyundan KOİ giderimi %74.4 iken, 0.3 g/L ZVI konsantrasyonunda KOİ giderimi %34.48'e ve 1.0 g/L ZVI konsantrasyonunda ise %32.46 değerine düşmüştür.

#### Fenton Benzeri Oksidasyon İle Sızıntı Suyunun Artırılmasına H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Konsantrasyonunun Etkisi

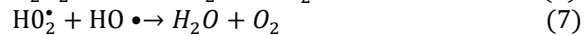
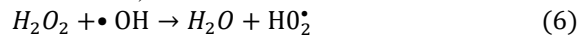
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; Fenton benzeri proseslerde prosesi etkileyen en önemli parametrelerdendir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, birçok arıtma sisteminde uygulanan çok amaçlı bir oksidandır. Kullanımı kolay, yüksek oksidasyon gücüne sahip, ucuz oksitleyicilerden biridir. Hidrojen peroksit ürünleri toksin veya renk üretmemektedir ve doğrudan ya da bir katalizör ile uygulanabilmektedir (Öztürk ve ark 2015).

Fenton-benzeri oksidasyon prosesi ile sızıntı suyundan renk ve KOİ giderimine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi incelenirken, ZVI konsantrasyonu 0.05 g/L ve pH=2.0 değerlerinde sabit tutularak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L ve 200 mg/L olarak değiştirilmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun renk giderim

verimi ve absorbans değişimi üzerindeki etkisi Şekil 3'de verilmiştir.

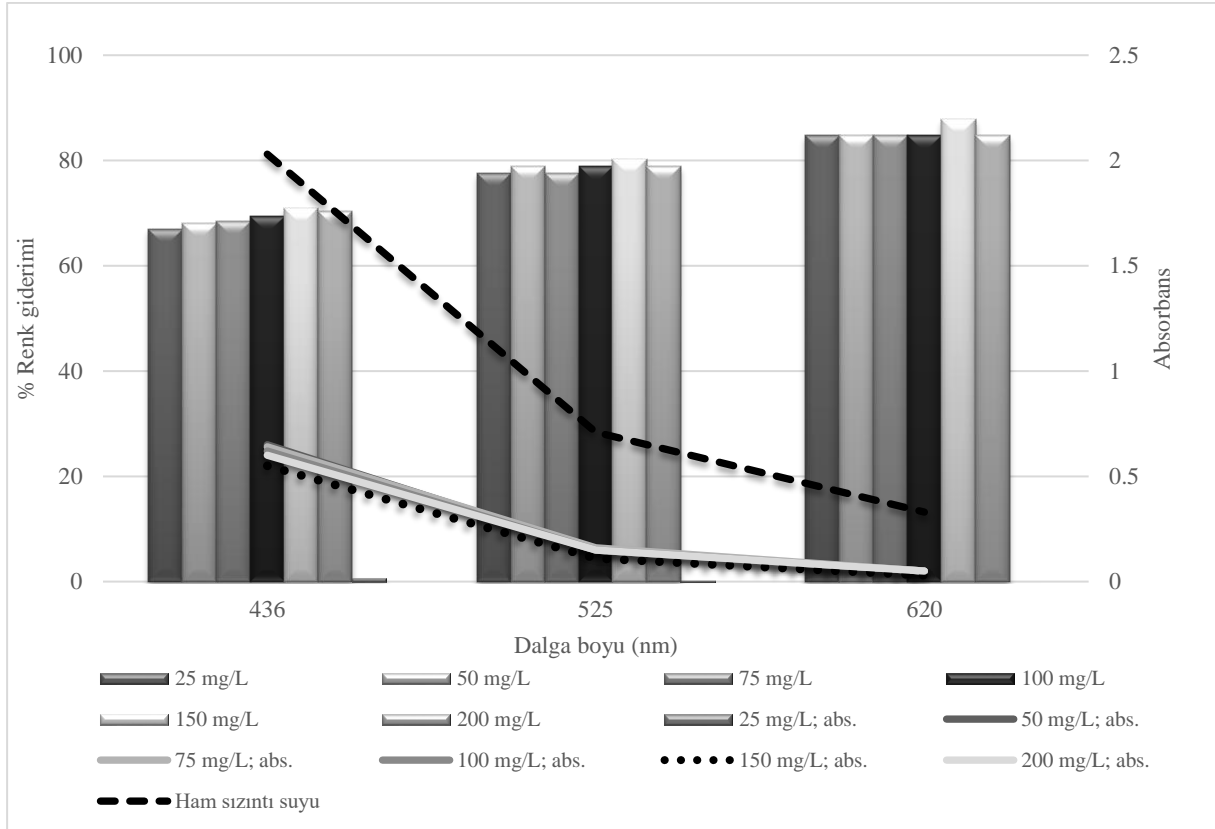
Şekil 3' den de görüldüğü üzere sızıntı suyundan en yüksek renk giderme verimi ve absorbans azalması 150 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda gerçekleşmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu arttıkça renk giderim verimi artış göstermiştir. Ancak 200 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda verimin azaldığı da şekilden görülmektedir. Bunun nedeni; yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonlarında, hidrojen peroksit, hidroksil radikallerinin oluşumunu engelleyerek, azalmasına neden olmaktadır (Çokay ve Şengül, 2006).

Farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında sızıntı suyundan KOİ gideriminin değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu arttıkça KOİ gideriminde de artış gözlenmiş ve maksimum % 74.4 KOİ giderimi 150 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda elde edilmiştir. 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L ve 200 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında sırasıyla % 50, % 52, % 56.8, % 61 ve % 65.2 KOİ giderimleri gözlenmiştir. 200 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda KOİ gideriminin düşmesinin başlıca sebebi, seçici olmayan •OH radikallerinin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile de reaksiyona girmesi olarak düşünülmektedir (Rodríguez ve ark 2002).

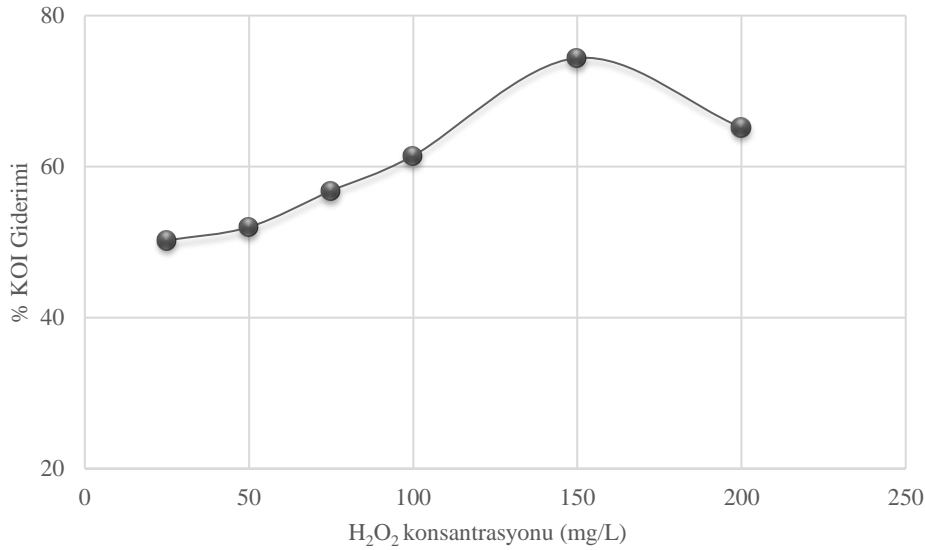


Eşitlik 6 ve 7'de de görüldüğü gibi, yüksek konsantrasyondaki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, hidroksil radikallerin organik moleküllerine olan saldırısını azaltmakta ve bozunma verimini düşürmektedir. Bu nedenle giderim verimini artırmak için H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun uygun bir değerde olması önemlidir (Tepe ve ark 2012).

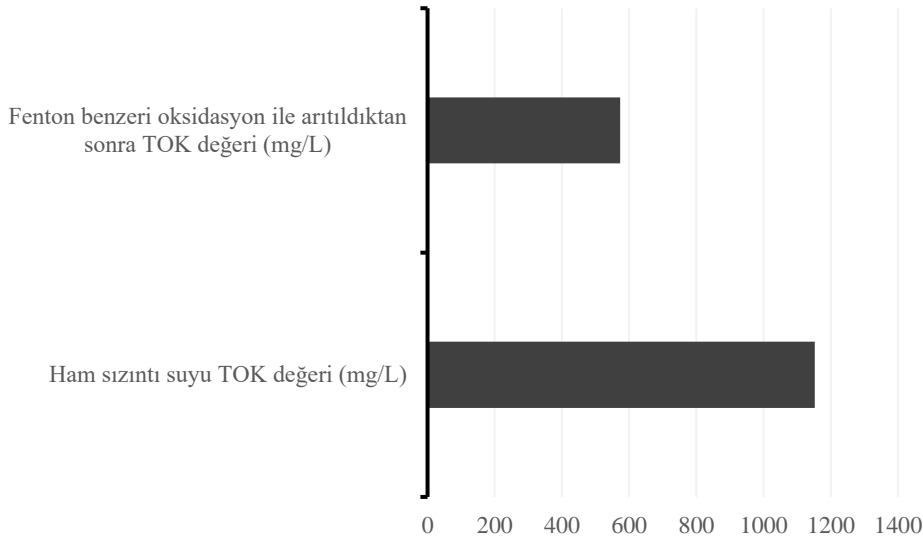
Fenton-benzeri oksidasyonu ile sızıntı suyunun artırılması çalışmalarında elde edilen optimum şartlarda, pH=2.0, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu=150 mg/L, reaksiyon süresi=20 dakika, ZVI konsantrasyonu= 0.05 g/L, sızıntı suyundan TOK giderimi yaklaşık %50 olarak bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil.3 Fenton-benzeri proses ile sızıntı suyundan farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında absorbands azalması ve renk giderim verimlerinin değişimi (pH=2.0, ZVI= 0.05 g/L, reaksiyon zamanı=20 dakika)



Şekil.4 Fenton-benzeri proses ile farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında sızıntı suyundan KOİ giderimi (pH=2.0, Fe<sup>o</sup>= 0.05 g/L, reaksiyon zamanı=20 dakika)



Şekil.5 Fenton-benzeri proses ile optimum şartlarda sızıntı suyundan TOK giderimi (pH=2.0, Fe<sup>0</sup>= 0.05 g/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=150 mg/L, reaksiyon zamanı=20 dakika)

#### SONUÇ

Fenton-benzeri oksidasyonu, yüksek miktarda kalıcı organik ve yüksek renk içeriğine sahip atıksu tipi için çok uygun bir arıtma teknolojisidir. Başlangıç pH değeri 2.0 ve 150 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda ZVI konsantrasyonu 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 1.0 g/L olarak değiştirilmiştir. Sonuçlar, 0.05 g/L ZVI konsantrasyonunda ve 436 nm’de renk giderim verimi yaklaşık %71, KOİ giderimi ise %74.4 olarak bulunmuştur. Renk ve KOİ gideriminde ZVI konsantrasyonunun yanında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu da etkilidir. Fenton-benzeri oksidasyon prosesi ile sızıntı suyundan renk ve KOİ giderimine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi incelenirken, ZVI konsantrasyonu 0.05 g/L ve pH=2.0 değerlerinde sabit tutularak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu 25 mg/L, 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L ve 200 mg/L olarak değiştirilmiş ve en yüksek renk giderim verimi ve absorbans azalması 150 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunda gerçekleşmiştir. Fenton benzeri oksidasyonu ile sızıntı suyunun artırılması çalışmalarında elde edilen optimum şartlarda, pH=2.0, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu=150 mg/L, reaksiyon süresi=20 dakika, ZVI konsantrasyonu= 0.05 g/L, sızıntı suyundan %50 TOK giderimi, % 74.4 KOİ giderimi ve 620 nm dalga boyunda % 87.9 renk giderimi elde edilmiştir. Sızıntı suyundan renk ve KOİ gideriminde Fenton benzeri oksidasyonun başarı ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

Abu Amr SS, Aziz HA 2012. New treatment of stabilized leachate by ozone/Fenton in the advanced oxidation process. *Waste Management*, 32(9):1693-1698.  
Ahmadian M, Reshadat S, Yousefi N, Mirhossieni SH, Zare MR, Ghasemi SR, Rajabi Gilan N, Khamutian R, Fatehizadeh A 2013. Municipal leachate treatment by Fenton process: effect of some variable and

kinetics. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013:169682.

- Amor C, De Torres-Socias E, Peres JA, Maldonado MI, Oller I, Malato S, Lucas MS 2015. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. *J Hazard Mater*, 286:261-268.  
APHA A, WPCF. 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.  
Bayhan YK, Özbek S 2015. Formation of Leachates in the Landfills, Their Characteristics and Investigation of Effects on the Groundwaters. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 1(2):53-59.  
Chou Y-C, Lo S-L, Kuo J, Yeh C-J 2013. A study on microwave oxidation of landfill leachate—Contributions of microwave-specific effects. *J Hazardous Materials*, 246–247(0):79-86.  
Costa RCC, Moura FCC, Ardisson JD, Fabris JD, Lago RM 2008. Highly active heterogeneous Fenton-like systems based on Fe<sup>0</sup>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composites prepared by controlled reduction of iron oxides. *Applied Catalysis B: Environmental*, 83, 131–139.  
Çokay E, Şengül F 2006. Toksik kirleticilerin ileri oksidasyon prosesleri ile arıtımı. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2):1-9.  
Duran EB, Cici Y 2016. Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Fizikokimyasal Arıtım Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması. *KSU Journal of Engineering Sciences*, 19(2).  
Ertugay N, Acar FN 2014. Sıfır Değerlikli Demir Kullanılarak Fenton Benzeri Oksidasyon Yöntemi İle Azo Boyar Madde Giderimi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1):1-9.  
Fu F, Wang Q, Tang B 2010. Effective degradation of C.I. Acid Red 73 by advanced Fenton process. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 17–22.

- Galeano LA, Vicente MÁ, Gil A 2011. Treatment of municipal leachate of landfill by Fenton-like heterogeneous catalytic wet peroxide oxidation using an Al/Fe-pillared montmorillonite as active catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 178(0):146-153.
- Gürtekin E, Şekerdağ, N 2008. Bir İleri Oksidasyon Prosesi: Fenton Prosesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(3):229-236.
- Öztürk M, Polat A, Topçu US, Aslan Ş 2015. Katı atık sızıntı suyunun ileri oksidasyon yöntemleriyle arıtımı. ISITES2015. Valencia -Spain. p 2095-2104.
- Rodríguez M, Abderrazik NB, Contreras S, Chamarro E, Gimenez J, Esplugas S 2002. Iron(III) photooxidation of organic compounds in aqueous solutions. *Applied Catalysis B: Environmental*. 37(2):131-137.
- Tepe Ö, Dursun AY, Dursun G 2012. Sulu Çözeltilerdeki Fenolün Fenton Yöntemiyle Gideriminde Proses Parametrelerinin Optimizasyonu. Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi. Koç Üniversitesi, İstanbul.