

KATI ATIK SIZINTI SUYUNUN İLERİ OKSİDASYON YÖNTEMLERİYLE ARITIMI

Mustafa ÖZTÜRK*¹ Ayben POLAT² Uğur Savaş TOPÇU² Şükrü ASLAN²
¹Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Organik Tarım Programı, 58140, Sivas, Türkiye
²Cumhuriyet Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Özet

Katı atık sızıntı suları içeriğindeki yüksek organik madde, NH₄-N, ağır metal, klorlu organikler ve inorganik tuzlar nedeniyle çevresel açıdan ciddi tehlike göstermektedir. Sızıntı suyu arıtımında uygulanabilecek çok farklı yöntem olmasına rağmen, bu yöntemlerin tek başına uygulanması ile alıcı ortam deşarj standartları sağlanamamaktadır ve uygun yöntemlerin birlikte gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda sızıntı suyu arıtımında ileri oksidasyon yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. AOPs çok yüksek bir oksidasyon potansiyeline sahip ve hemen hemen tüm organik kirleticilerin oksitlemesi mümkün olan hidroksil radikalının ($\bullet\text{OH}$) üretilmesini içerir. Fotokimyasal süreçler, toksik ve biyolojik parçalanamayan atıkların parçalanmasında oldukça etkindir ve ikincil biyolojik arıtmaya daha uygun giriş suyu özelliği temin etmektedir. Fenton oksidasyonu ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$) sızıntı suyu arıtımında uygulanmaktadır. Fenton oksidasyonu özellikle eski sızıntı suyunun arıtımında verimli bir yöntem olarak belirtilmektedir. Biyolojik süreçler öncesi ozon, UV/H₂O₂ fotooksidasyonu toksik madde giderim verimini artırırken organik maddelerin biyolojik parçalanabilirliğinin geliştirildiğini göstermektedir. Bu çalışma kapsamında sızıntı suyunda organik madde giderimi ile ilgili ileri oksidasyon yöntemleri incelenerek etkin işletim parametreleri ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: ileri oksidasyon yöntemleri, organik karbon, sızıntı suyu

LANDFILL LEACHATE TREATMENT BY ADVANCED OXIDATION PROCESSES

Abstract

The discharge of landfill leachate can lead to serious environmental problems since the leachates contain a large amount of organic matter, ammonia-nitrogen, chlorinated organics, and inorganic salts. There are several methods can be applied for landfill leachate treatment, but by applying of these methods can not be ensured the discharge standards of the receiving environment. Recently advanced oxidation processes (AOP) for the treatment of leachate has been widely used to achieve the discharge standards. The AOP involve the generation of the hydroxyl radical ($\bullet\text{OH}$), which has a very high oxidation potential, is able to oxidize almost all organic pollutants. Photochemical processes highly effective the degradation of toxic and biologically non-degradable compounds. Fenton oxidation ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$) can be applied for leachate treatment. Fenton oxidation processes especially referred as an efficient method for mature landfill leachate treatment. Experimental studies indicates that the biodegradability of the leachate has been substantially improved by applying ozone and UV/H₂O₂ photo oxidation processes. In this study, AOPs was evaluated for the landfill leachate treatment considering the operating parameters and results of this method was assessed.

Key words: treatment, oxidation, organic carbon, landfill leachate

1. Giriş

Deponi, kentsel katı atık yönetiminde kullanılan en önemli bertaraf yöntemlerinden biridir [1]. Ülkemizde Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2012 yılı verilerine göre 2894 adet katı atık depolama hizmeti veren belediye bulunmaktadır. Katı atık depolama alanlarında oluşan sızıntı suları genel olarak katı maddelerin stabilizasyonu esnasında meydana gelen sıvılar, depolama sahasına süzülen yağmur suları [1], yeraltı suyunun çöp deponi alanına sızması veya içerisinden geçmesi [2] ve katı atıkların bünyesinde bulunan nemin sızması sonucu oluşan atıksulardır.

Çöp sızıntı suları büyük miktarlarda organik madde (biyolojik olarak parçalanabilir fakat biyolojik bozunmaya dirençli), amonyak-azotu, ağır metaller, klorlu organik ve inorganik tuzlarla birlikte hümik türü bileşenlerin grubunu ihtiva etmektedir [3]. Sızıntı sularının kimyasal karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sızıntı sularının kimyasal karakterizasyonu [4]

Parametreler	Birim	Ortalama Değer
pH		8,4 ± 0,30
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	15133 ± 58
TKN	mgN/L	3868 ± 26
NH ₄ -N (TAN)	mgN/L	3449 ± 233
NO ₂ -N	mgN/L	0,21 ± 0,01
NO ₃ -N	mg N/L	2,23 ± 0,18
KOİ	mg/L	3621 ± 440
BOİ ₅	mg/L	425 ± 72
Çözünmüş Katılar	mg/L	59 ± 16

Genel olarak çöp sızıntı suları yüksek KOİ, düşük biyolojik parçalanabilirlik, yüksek bulanıklık ve zayıf UV geçirgenliği ile tanımlanmaktadır. Genellikle depolama yaşı, toplanan sızıntı suyu kalitesinde önemli bir rol oynar [5]. Depo yaşı arttıkça biyolojik ayrışma tamamlandığından kolay ayrışabilen organik maddelerin oranı düşmektedir. Bu sebeple, genç depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ > 0,5 iken yaşlı depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ < 0,2'dir. 2-3 yıllık depolama alanlarında özellikle organik maddeler, mikroorganizma türleri, ve organik kirlilik yükleri en yüksek seviyeye ulaşmaktadır [6]. Nispeten yüksek karboksil ve aromatik hidroksil grubu yoğunluğuna sahip fulvik bileşiklerin artan depolama yaşıyla birlikte organik bileşiklerde, en kararlı grup olduğu görülmektedir [7]. Sızıntı suyunun deponi yaşıyla değişimi Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sızıntı suyunun deponi yaşıyla değişimi [8]

Yaş	KOİ (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	Organik Fosfor(mg/L)	Toplam Fosfor(mg/L)	Alkalinite (mg/L)	ORP	İletkenlik (µs/cm)	Mineral Yağlar(mg/L)
2	7125,3	4368,2	4251	34,29	34,9	18162	-277	41500	8505
3	3471,3	4156	3821	21,77	41693	18379	-289	40500	5619
4	1542,8	1753,5	1564,2	17,56	17,97	8049	-307	17870	5638
6	2424	1489,8	1273,6	16041	14,83	5573	-127	15030	5309
7	1827	873,5	733,1	28642	21429	4365	-229	10630	4595
9	1015	1092	807,4	13547	41732	5227	-112	12270	5878
11	1522,5	980,1	715	27485	44378	4649	-127	12080	3007
12	695,2	428,2	238,2	0,19	0,62	1754	-104	6380	2547

Sızıntı suyu bileşimlerini deponi alanındaki atık türü, konumu ve yerel iklim koşulları [5] , depo yaşı sıcaklık, pH, redoks potansiyeli, stabilizasyon derecesi, depolama alanı işletme koşulları, depolama alanı hidrojeolojik yapısı gibi faktörler belirlemektedir [9]. Türkiye’de geçmiş yıllarda yapılmış olan sızıntı suyu çalışmalarında aynı parametrelerin illere göre farklılık gösterdiği Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Türkiye’nin bazı illerinde sızıntı suyu karakterizasyonu

Parametreler	İstanbul (Kemerburgaz)	Kütahya	Diyarbakır	Bursa (Hamitler)	Sivas	Samsun (Yılanlıdere)	Çorlu
BOI ₅	-	15000	5700-10800	3877	-	6400	95,84
KOI	10370	20400	8500-19200	8042	2350	11000	14447
Alkalinite*	22300	16500	-	-	-	-	7505
pH*	7,6	7,3	6,5-7,5	7,71	8,36	7,95	8,31-8,47
SO ₄	270	-	-	-	-	2279	1450
Cl	2700	-	-	2549	5484	1092	-
TKN	2200	2950	-	-	-	-	1262
NO ₃	7,2	-	5-47	13	-	21,10	-
NH ₄	2500	2700	1100-2150	1681	310	-	-
Kaynak	[10]	[9]	[9]	[9]	[9]	[9]	[11]

Sızıntı suyu yüksek kirlilik yüküne sahip olduğundan deşarj standartlarını sağlamak için arıtımı oldukça zor olan bir atıksudur [12]. Sızıntı suyu arıtımında fizikokimyasal metotlar (oksidasyon, adsorpsiyon, koagülasyon ve membran ayırma) ve biyolojik prosesleri içeren birtakım arıtma teknikleri geliştirilmiştir [13]. Genç deponilerde oluşan sızıntı suyu çoğunlukla doğada bakterilerle ayrışabilen organik madde (OM) içerir ve bu nedenle standart biyolojik atıksu arıtma süreçleri uygulanmaktadır [14].

Anaerobik arıtma yüksek dirençli organik atıksuların arıtılmasında en çok kullanılan biyolojik süreçlerdendir [15]. Bazı çalışmalarda sızıntı suyu arıtımında kısmi nitrifikasyon ve anammox proseslerinin uygulamaları azot giderimi için kullanılmıştır [4]. Biyolojik prosesler genç sızıntı sularında uygulandığı zaman oldukça etkilidir fakat yaşlı deponi sularının arıtımında fazla bir etkisi yoktur. Son yıllarda iki veya daha fazla fiziko-kimyasal arıtma veya biyolojik arıtma tekniklerinin kombinasyonları, çöp sızıntı suyu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır [16].

Genel olarak, organik bileşiklerin parçalanması ve azot giderimi, ileri oksidasyon yöntemleri (AOPs) ile de elde edilebilmektedir [2, 17]. AOPs, mikroorganizmalar için toksik etki yapan ve/veya biyolojik olarak bozunmayan çeşitli organik kirleticileri barındıran atıksuların biyolojik olarak arıtılabilmesini sağlamak için kullanılmaktadır [18-21].

AOPs, geleneksel oksidantlar olan oksijen, ozon ve Cl₂ gibi oksitleticiler tarafından oksitlenemeyen, çok yüksek bir oksidasyon potansiyeline sahip ve hemen hemen tüm organik kirleticilerin oksitlemesi mümkün olan hidroksil radikalının (•OH) üretilmesini içerir [22]. Su ortamında •OH üretebilmek için farklı teknolojiler uygulanmaktadır. Literatürde belirtilen

teknolojilerin içerisinde sadece O_3/UV , O_3/H_2O_2 , $O_3/UV/H_2O_2$ ve H_2O_2/UV ticari ölçekte uygulanmaktadır [22].

Bu işlemler, kirleticilerin parçalanmasında çok etkili olmasına rağmen, tek arıtma süreci olarak uygulanması halinde pahalı olmaktadır [23]. AOPs, yaşlı sızıntı suyunun içeriğinde mevcut olan biyolojik olarak ayrışabilir olmayan organik maddenin oksidasyonu için etkili bir alternatif olarak önerilmektedir. Çöp sızıntı suları organik maddeleri uzaklaştırmak için farklı AOPs kullanımını araştıran birçok çalışma vardır [1, 24,25].

2. İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Sızıntı Suyu Arıtımı

Son yıllarda, birçok fiziksel/kimyasal prosesler eski veya arıtmaya dirençli sızıntı suyu arıtımı için araştırılmaktadır. Mevcut arıtma teknolojilerinden bir grup olan ve yaygın olarak kullanılan bu prosesler AOPs olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, dünyada birçok ülkede, doğrudan ya da dolaylı olarak sızıntı suyu ile başa çıkmak için AOPs kullanmaya başlanmıştır [26-28].

Yapılan çalışmalar ozon (O_3), hidrojen peroksit (H_2O_2), UV ışığı, demir tuzları gibi metal iyonları ve TiO_2 gibi yarı iletkenlerin çeşitli kombinasyonlarının uygulanmasıyla sızıntı sularından organik kirleticilerin etkin bir şekilde uzaklaştırılabildiğini göstermiştir. Çeşitli oksidanlar bireysel olarak veya katalizörler eşliğinde yoğun bir şekilde araştırılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalardaki ortak nokta genellikle katalizörler eşliğinde yapılan oksidasyon işlemlerinin bireysel oksidanlardan daha iyi sonuç verdiği yönündedir [29]. Birleşik sistemlerin bu başarısı, reaksiyon karışımında oluştuğuna inanılan ve reaktivitesi oldukça yüksek olan hidroksil radikallerine bağlanmakta ve su arıtımında yeterli miktarda hidroksil radikali üreten sistemlerdir [30].

İleri oksidasyon yöntemlerinde, hidroksil radikallerinin organik madde oksidasyonundan sorumlu başlıca reaktif ara ürünler olduğu düşünülmektedir. Hidroksil radikalleri ($\bullet OH$), suda bulunan birçok organik ve inorganik kimyasal madde ile seçici olmaksızın hızlı bir şekilde reaksiyona girmektedir [29]. Bu nedenle, sızıntı sularında ve diğer poseslerde bozunmaya dayanıklı organik bileşikler için kuvvetli oksidandır (Tablo 4).

Tablo 4. Bazı oksidanların oksidasyon potansiyelleri [31]

Oksidan	Oksidasyon Potansiyeli, V
Flor (F_2)	3,06
Hidroksil Radikali ($\bullet OH$)	2,80
Oksijen (Atomik)	2,42
Ozon (O_3)	2,08
Hidrojen Peroksit (H_2O_2)	1,78
Hipoklorik Asit ($HOCl$)	1,49
Klor (Cl_2)	1,36
Klordioksit (ClO_2)	1,27
Oksijen (Moleküler)	1,23

Tablo 4’de görüldüğü gibi hidroksil radikalinin oksidasyon potansiyeli oldukça yüksek olup, organik maddelerle olan reaksiyonlarında ikinci dereceden reaksiyon hız sabitleri 10^8 - $10^9 M^{-1}s^{-1}$ arasında değişmektedir.

Sızıntı suyunun arıtılmasıyla ilgi yapılan çalışmalar göstermiştir ki; O₃, H₂O₂, UV ışığı, demir tuzları, TiO₂ gibi yarı iletkenlerin çeşitli kombinasyonları biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerin biyolojik olarak arıtılabilir hale getirilmesinde oldukça etkili olmuştur. Sızıntı suyunun ileri oksidasyon yöntemleriyle arıtılmasıyla ilgili örnek bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

2.1. Hidrojen peroksit (H₂O₂) oksidasyonu

Hidrojen peroksit, 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.

H₂O₂, ileri oksidasyon yönteminde tek başına uygulanadığında düşük KOİ giderme verimlerine ulaşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda düşük pH koşullarında (< 6), sızıntı suyunda yaklaşık olarak 1g/L H₂O₂ dozlamasında % 21 KOİ giderme verimine ulaşılırken pH'ın 6'ya yükseltilmesiyle verim %20'den düşük gerçekleşmiştir [32].

2.2. Ozon (O₃) oksidasyonu

Ozon, oksidasyon potansiyeli ve sızıntı suyu direncini ve biyo-bozunabilir olmayan organik madde miktarını azaltma yeteneğine sahip olduğundan sızıntı suyunun arıtımında son zamanlarda dikkat çeken kimyasal süreçlerden biridir [21, 33, 34]. Sızıntı suyunun arıtımında ozonla birçok uygulama yapılmıştır. Tizaoui vd. [35] sızıntı suyuna ozon vererek % 27 KOİ ve % 87 renk giderimi sağlamıştır. Rivas vd., [36] %30 KOİ giderimini başarırken, Hagman vd. [37] %23 KOİ giderimi elde etmişlerdir.

Sızıntı suyu arıtımında ozonun tek başına KOİ giderme verimi düşük olduğundan etkinliğini arttırmak için ileri oksidasyon materyalleri ve teknolojileri kullanılmaktadır. Ozonlama işlemi sırasında ileri oksidasyon yönteminde H₂O₂ kullanılarak sadece ozon kullanıldığında % 22 olan KOİ giderimi [37], %50'ye çıkarılmıştır [35]. Goi vd. [38] 4,5-11 pH aralığında % 24 - % 41 arasında değişen bir KOİ giderimi elde etmişlerdir.

Amr ve Aziz [39] Ozon/Fenton ileri oksidasyon yöntemi ile KOİ ve renk gideriminin sırasıyla, % 15 ve % 27'den, % 65 ve % 98'e yükseldiğini belirlemiştir. Bununla birlikte, ileri oksidasyon proseslerinde ozon ve ozon/persülfat kullanımı halen, stabilize edilmiş sızıntı suyunda yüksek seviyede var olan ve çevreye ve suda yaşayan organizmalara son derece zararlı amonyağı, düşük giderme etkisine sahiptir [40, 41].

Wu vd. [42] yaptıkları çalışmada, koagülasyon sonrasında; Ozon, Ozon/UV ve Ozon/Hidrojen peroksit olmak üzere üç çeşit oksidasyon işlemi ile sızıntı suyunu arıtmaya çalışmışlardır. 1,2 mg/L ozon dozajında BOİ₅/KOİ oranını 0,1 den 0,5'e çıkarmışlardır. Böylece sızıntı suyunun oksidasyon reaksiyonu sonrasında biyolojik parçalanabilirliğinin arttığını göstermişlerdir. Bu çalışma, Ozon/UV yönteminin diğer iki yöntemle kıyasla daha yüksek oksitleme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir.

2.3. Fenton oksidasyonu

Fenton reaksiyonu olarak bilinen reaksiyon Fe^{+2} nin $\bullet OH$ meydana getirmek üzere H_2O_2 ile oksidasyonudur. Hidrojen peroksit, çeşitli inorganik ve organik kirleticilerin gideriminde başarıyla kullanılan güçlü bir oksidandır. Fenton prosesi asidik koşullarda Fe^{+2} tarafından H_2O_2 'nin ayrıştırılarak hidroksil radikalleri oluşturulmasında yüksek verim sağladığından son yıllarda büyük ilgi görmektedir [29]. Fenton prosesinde H_2O_2/Fe^{+2} oranı önemli işletim parametresidir.

Düşük pH koşullarında (pH=3) 4 mmol Fe^{+2} dozajında H_2O_2/Fe^{+2} oranı 3 için en yüksek KOİ giderme verimi yaklaşık olarak % 61 olarak belirlenirken, Fenton sürecinde iyi bir renk giderimine ulaşılmıştır [43]. Amuda [44] fenton oksidasyonu ile renk ve KOİ giderimi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2 M H_2O_2 dozajlarında verim 0,1 ve 0,5 M' da daha yüksek çıkmıştır. pH'nin etkisi incelendiğinde ise pH 3-4 aralığında KOİ ve renk gideriminde sırasıyla %90 ve % 80 verim elde edilmiştir. Sun vd. [28] yapmış oldukları çalışmada fenton yöntemi ile ozon/ Co^{+2} yöntemini karşılaştırmışlardır. Fenton yönteminde düşük pH'da daha yüksek verim (pH=2,5'da, % 37 KOİ giderimi), O_3/Co^{+2} yönteminde ise pH=6,5' da en yüksek verim (% 42 KOİ giderimi) elde edilmiştir. Bu çalışmaya göre nötr pH'da, düşük sıcaklık, daha düşük oksidan ve kataliz konsantrasyonunda, O_3/Co^{+2} yöntemi KOİ, askıda madde ve renk gideriminde daha etkili olmuştur. Yüksek sıcaklıkta fenton yöntemi, %50 civarında KOİ giderimi sağlamıştır. Amr vd. [45] $O_3/H_2O_2/Fe^{+2}$ (ozon/fenton) yöntemi ile KOİ, renk ve NH_3-N gideriminin, sırasıyla % 10; % 19 ve % 0'dan, % 79,3; % 99 ve % 62'ye arttığını belirlemiştir.

2.4. UV/ H_2O_2 oksidasyonu

Pieczkolan vd. [32] 5 yaşından genç sızıntı suyunda; önce sadece UV kullanarak yedi farklı pH'da ışınma süresini 0,5-1,5 saat arasında değiştirerek KOİ giderim verimini incelemiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, en yüksek KOİ giderme verimi pH 10'da % 19,3 olarak saptanmıştır. Işınma süresinin reaksiyon verimini çok etkilemediği görülmüştür. Daha sonra UV/ H_2O_2 yöntemi uygulanarak pH 4'de, 3g/L H_2O_2 dozajında ve 1,5 saatlik reaksiyon süresinde % 74,6 KOİ giderimi ile maksimum verim sağlanmıştır.

2.5. Persülfat ile oksidasyon

Persülfat ($S_2O_8^{2-}$), Ozon ($E^0 = 2,07 V$) ile karşılaştırıldığında standart oksidasyon potansiyeli sahip ($E^0 = 2,01 V$), toprak temizleme ve yeraltı suyunun kimyasal oksidasyonunda kullanılan ve son zamanlarda organik madde ve amonyak giderilmesinde etkinliği nedeniyle sızıntı suyunun arıtımında dikkat çeken yeni bir oksidandır [41, 46].

Deng ve Ezyske [46] persülfat ($S_2O_8^{2-}$) kullanılan AOPs ile yaşlı sızıntı suyundan hem KOİ hem de amonyak gidererek bu işlemin etkili bir kimyasal oksitleme işlemi olduğunu, pH, sıcaklık ve persülfat dozajının oksidasyonu etkilediğini belirlemiştir. Deneysel çalışmada, pH 4, sıcaklık $50 ^\circ C$ ve $S_2O_8^{2-}$: 12KOİ oranı 2 iken KOİ ve amonyak giderim verimi %90'dan daha yüksek çıkmıştır.

Amr vd. [40] Ozon/Persülfat ileri oksidasyon yöntemi ile KOİ, renk ve NH_3-N giderimini sırasıyla, % 15, % 27 ve % 0'dan, % 77, % 96 ve % 76'ya çıkarmışlardır. Böylece

Ozon/Persülfat prosesinin performansının Ozon/Fenton prosesinden stabilize edilmiş sızıntı suyunun arıtımında daha etkili olduğunu göstermişlerdir.

2.6. Foto kimyasal oksidasyon

Çeşitli çalışmalarda farklı pH'larda, UV/oksidasyon yöntemleri denenmiştir. UV/H₂O₂+O₃ toplam organik karbonun (TOK), UV/O₃ toksik maddelerin giderilmesinde etkilidir. Sızıntı suyu arıtımında foto-fenton reaksiyonu % 70 KOİ ve %83 TOK giderimi sağlayabilmektedir. Foto-Fenton reaksiyon, ışık yoğunluğu, H₂O₂, Fe(III) dozu, organik yük ve pH gibi birçok faktör tarafından etkilenir [47]. 400 nm 'den daha düşük bir dalga boyundaki radyasyon H₂O₂ molekülünü photolize edebilmektedir. Morais ve Zamora [23], UV/H₂O₂ sisteminin pH=7-9 aralığında ve yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonunda çalışmıştır. Bu çalışmaya göre pH 8'de ve 3000 mg/L H₂O₂ konsantrasyonunda KOİ giderim verimi % 55±4,1 olarak bulunmuştur. Morais ve Zamora [23], foto fenton prosesinde ise 2,8-3,8 pH aralığında ve yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonunda KOİ giderimini % 49±3,2 olarak bulmuştur. Sızıntı suyunun arıtımında UV/TiO₂ kullanıldığında TOK %70 giderilebilmektedir [46]. Wang vd. [47] birçok fotokimyasal prosesi denemiştir (UV+Fe³⁺, Fe³⁺+C₂O₄²⁻+UV, Fe³⁺+H₂O₂+Na₂C₂O₄+UV ve Fe³⁺+H₂O₂+UV) ve % 65 KOİ giderimi ile en yüksek verimi foto fenton oksidasyonunda bulmuştur.

3. Sonuç

Katı atık sızıntı suları çevresel açıdan ciddi tehlike göstermektedir. Özellikle yaşlı deponi sızıntı sularında biyolojik olarak bozunmaya dirençli organik maddeler nedeniyle uygun yöntemlerin birlikte uygulanması gerekmektedir. İleri oksidasyon yöntemleri bu yöntemlerden biridir. Bu çalışmada bazı ileri oksidasyon yöntemleri değerlendirilerek çalışma koşulları belirlenmiş ve çeşitli kıyaslamalar yapılmıştır. Sonuç olarak ileri oksidasyon yöntemleri sızıntı suyu arıtımında çeşitli yöntemlerle birlikte kullanıldığında oldukça etkilidir. BOİ/KOİ oranını düşürmesi nedeniyle sızıntı suyunun biyolojik olarak arıtılmasına imkan sağlamaktadır. Bu yüzden son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır.

4. Kaynaklar

- [1] Anfruns, A., Gabarró, J., Gonzalez-Olmos, R., Puig, S., Balaguer, M.D., Colprim, J., "Coupling Anammox and Advanced Oxidation-Based Technologies for Mature Landfill Leachate Treatment", Journal of Hazardous Materials, 2013; 258– 259, 27– 34.
- [2] Wang, Z., Huang, L., Tao, T., Fu, S., Zuo, J., Lv, B., Treatment of Landfill Leachate by Combined Photooxidation and Biological Anaerobic-aerobic Method, IEEE, 2009; 978-1-4244-2902.
- [3] Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouyan F., Moulin P., "Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity", Journal of Hazardous Materials 2008; 150, 468–493.
- [4] Nhat T.P., Biec Ha N., Mai Nguyen T. T., Thanh Bui X., Dan Nguyen P., "Application of a Partial Nitrification and Anammox System for The Old Landfill Leachate Treatment", International Biodeterioration - Biodegradation, 2014; 1-7.

- [5] Ghazi, M. M., Lastra, A. A., Watts, M. J., “Hydroxyl Radical (\bullet OH) Scavenging in Young and Mature Landfill Leachates”, *Water research*, 2014; 56, 148 -155.
- [6] Öztürk F., *Katı Atık Sızıntı Suyu Miktarını Azaltıcı Yöntem Stratejileri*, Yüksek lisans tezi, 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] Shalini S., Joseph K., *Nitrogen Management in Landfill Leachate: Application of Sharon, Anammox and Combined Sharon–Anammox Process*”, *Waste Management*, 2012; 32, 2385–2400.
- [8] Ziyang, L., Youcai, Z., Tao, Y., Yu, S., Huili, C., Nanwen, Z., Renhua, H., “Natural Attenuation and Characterization of Contaminants Composition in Landfill Leachate Under Different Disposing Ages”, *Science of the Total Environment*, 2009; 407, 3385–3391.
- [9] Yazıcı S., *Elektrodiyaliz Bipolar Membran Proseslerin Tıkanma Mekanizması ve Önleme Çalışmalarının Analizi: Sızıntı Suyu Örneği*, Yüksek lisans tezi, 2012; Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [10] Öztoprak, S., Pisirici B., “Effects of Micro Structure Changes on the Macro Behaviour of Istanbul (Turkey) Clays Exposed to Landfill Leachate”, *Engineering Geology*, 2011; 121, 110–122.
- [11] Tınmaz E., Demir İ., “Research on Solid Waste Management System: To Improve Existing Situation in Çorlu Town of Turkey”, *Waste Management*, 2006; 26, 307–314.
- [12] Venu D., Gandhimathi R., Nidheesh P.V., Ramesh S.T., “Treatment of Stabilized Landfill Leachate Using Peroxicoagulation Process”, *Separation and Purification Technology*, 2014; 129, 64–70.
- [13] Xie Z., Wang Z., Wang Q., Zhu C., Wu Z., “An Anaerobic Dynamic Membrane Bioreactor (AnDMBR) for Landfill Leachate Treatment: Performance and Microbial Community Identification”, *Bioresource Technology*, 2014; 161, 29–39.
- [14] Singh S.K., Moody C.M., Townsend T.G., “Ozonation Pretreatment for Stabilized Landfill Leachate High-Pressure Membrane Treatment”, *Desalination*, 2014; 344, 163–170.
- [15] Ye J., Mu Y., Cheng X., Sun D., “Treatment of Fresh Leachate With High-Strength Organics and Calcium From Municipal Solid Waste Incineration Plant Using UASB Reactor”, *Bioresource Technology*, 2011; 102, 5498–5503.
- [16] Abood, A. R., Bao, J., Du, J., Zheng, D., Luo Y., “Non-biodegradable Landfill Leachate Treatment by Combined Process of Agitation, Coagulation, SBR and Filtration”, *Waste Management*, 2014; 34, 439–447.
- [17] Bauer, R., Waldner, G., Fallmann, H., Hager, S., Klare, M., Krutzler, T., Malato, S., Maltzky, P., *The photo-Fenton reaction and the TiO₂/UV process for waste water treatment—novel developments*, *Catal. Today*, 1999; 53, 131–144.
- [18] Karrer, N.J., Ryhiner, G., Hinzle, E., *Applicability test for combined biological-chemical treatment of wastewaters containing biorefractory compounds*, *Water Res.*, 1997; 31, 1013–1020.
- [19] Yu, G., Zhu, W., Yang, Z., *Pretreatment and biodegradability enhancement of DSD acid manufacturing wastewater*, *Chemosphere*, 1998; 37, 3, 487-494.
- [20] Silva, A.C., Dezotti, M., Santanna, Jr.G.L., *Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate*, *Chemosphere*, 2004; 55, 207–214.
- [21] Bila, D.M., Montalvao, F., Silva, A.C., Dezotti, M., *Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement*, *J. Hazard. Mater.*, 2005; 117, 2/3, 235–242.
- [22] Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., *Wastewater Engineering treatment and reuse (Fourth Edition)*, 2004; New York, McGraw Hill Publishing.

- [23] Morais, J.L.de, Zamora, P.P., Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates, *Journal of Hazardous Materials*, 2005; B123, 181–186.
- [24] Ntampou, X., Zouboulis, A.I., Samaras, P., Appropriate combination of physicochemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates, *Chemosphere*, 2006; 62, 722–730.
- [25] Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., Mota, M., Evaluation of Fenton and ozone-based advanced oxidation processes as mature landfill leachate pre-treatments, *J. Environ. Manage.*, 2011; 92, 749–755.
- [26] Yoon, J., Cho, S., Cho, Y., Kim, S., The characteristics of coagulation of Fenton reaction in the removal of landfill leachate organics, *Water Science and Technology*, 1998; 38, 209–214.
- [27] Kim, J.S., Kim, H.Y., Won, C.H., Kim, J.G., Treatment of leachate produced in stabilized landfills by coagulation and Fenton oxidation process, *Chemical Engineering*, 2001; 32, 425–429.
- [28] Sun, J., Li, X., Feng, J., Tian, X., Oxone/Co²⁺ oxidation as an advanced oxidation process: Comparison with traditional Fenton oxidation for treatment of landfill leachate, *Water research*, 2009; 43, 4363-4369.
- [29] Karaarslan, M., İleri Oksidasyon Prosesleri ile Sulardan Doğal Organik Madde Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, 2012; Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği,, Anabilim Dalı, 65.
- [30] Glaze, W.H., Kang, J.W., Chapin, D.H., “The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and UV-radiation”, *Ozone: Sci. Eng.*, 1987; 9, 335–352.
- [31] Metcalf, Eddy, Inc. *Wastewater Engineering treatment and reuse (Fourth Edition ed.)*, 2003; New York, MvGrawHill Publishing.
- [32] Pieczykolan, B., Barbusiński, K., Płonka, I., COD Removal from Landfill Leachate Using H₂O₂, UV Radiation and Combination These Processes, *Environment Protection Engineering*, 2012; Vol., 38,No., 3, DOI: 10.5277/EPE120301.
- [33] Rice, R.G., Applications of ozone for industrial wastewater treatment – a review., *Ozone: Science & Engineering*, 1997; 18, 477–515.
- [34] Huang, S.S., Diyamandoglu, V., Fillos, J., Ozonation of leachates from aged domestic landfills, *Ozone: Science and Engineering*, 1993; 15, 433–444.
- [35] Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L., Ghrabi, A., Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems, *Journal of Hazardous Materials*, 2007; 140, 316–324.
- [36] Rivas, F.J., Beltr!an, F., Gimeno, O., Acedo, B., Carvalho, F., Stabilized leachates: ozone-activated carbon treatment and kinetics. *Water Research*, 2003; 37, 4823–4834.
- [37] Hagman, M., Heander, E., Jansen, J.L.C., Advanced oxidation of refractory organics in leachate–potential methods and evaluation of biodegradability of the remaining substrate, *Environmental Technology*, 2008; 29, 941–946.
- [38] Goi, A., Veressinina, Y., Trapido, M., Combination of ozonation and the fenton processes for landfill leachate treatment: evaluation of treatment efficiency. *Ozone: Science & Engineering*, 2009; 31, 28–36.
- [39] Amr, S.S.A., Aziz, H.A., New treatment of stabilized leachate by ozone/ Fenton in the advanced oxidation process, *Waste Management*, 2012; 32, 1693–1698.
- [40] Bashir, M.J.K., Aziz, H.A., Yusoff, M.S., New sequential treatment for mature landfill leachate by cationic/anionic and anionic/cationic processes: optimization and comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 2011; 186, 92– 102.

- [41] Amr, S.S.A., Aziz, H.A., Adlan, M.N., Optimization of stabilized leachate treatment using ozone/persulfate in the advanced oxidation process, *Waste Management*, 2013; 33, 1434–1441.
- [42] Wu, J.J., Wu, C.-C., Ma, H.-W., Chang, C.-C., Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes, *Chemosphere*, 2004; 54, 997–1003.
- [43] Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., Mota, M., Fenton's Oxidation as Post-Treatment of a Mature Municipal Landfill Leachate, *International Journal of Civil and Environmental Engineering* 2010; 2:1.
- [44] Amuda, O. S., Removal of COD and Colour from Sanitary Landfill Leachate by using Coagulation –Fenton's Process, *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.*, 2006; Vol. 10, 2, 49 - 53.
- [45] Amr, S.S.A., Aziz, H.A., Adlan, M.N., Bashir, M.J.K., Optimization of semi-aerobic stabilized leachate treatment using ozone/Fenton's reagent in the advanced oxidation process, *Journal of Environmental Science and Health*, 2013; Part A, 48, 720–729.
- [46] Deng, Y., Ezyske, C.M., Sulfate radical-advanced oxidation process (SR-AOP) for simultaneous removal of refractory organic contaminants and ammonia in landfill leachate, *Water Research*, 2011; 45, 6189–6194.
- [47] Wang Z., Zhang Z., Lin Y., Deng N., Tao T., Zhuo K., Landfill Leachate Treatment by a Coagulation–Photooxidation Process, *Journal of Hazardous Materials*, 2002; B95, 153–159.