



SIZINTI SUYUNDAKİ BAZI AĞIR METALLERİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ VE OLASI ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Güliden GÖK¹, Oya ÖZEL GÜRBÜZ^{2*}

¹ Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Aksaray, Türkiye

² Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Ulukışla MYO Çevre Temizlik Hizmetleri Pr., Niğde, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Sızıntı Suyu,
Çevre Sağlığı,
Ağır Metal,
Trend Analizi.

Öz

Düzenli depolama sahası sızıntı suları toprak sağlığı için önemli tehdit altındadır. Sızıntı suyunda bulunan ağır metaller hem insanlar üzerinde hem de kara ekosistemi üzerinde negatif etkiler yaratmaktadır. Sızıntı sularının kirlilik konsantrasyonu çevresel ve depolanan atık içeriği gibi faktörler ile değişebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, Niğde ili katı atık düzenli depolama alanı sızıntı sularından bir yıl boyunca (Kasım 2022-Ekim 2023) haftalık olarak numune alınarak, içerisindeki Fe, Pb, Zn ağır metallerin oluşumunu ve mevsimsel değişimini trend analiziyle inceleyerek, çevre sağlığı açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Trend analizini yapmak amacıyla parametrik olmayan Mann-Kendall testi (MKT) ve Spearman'ın Rho testi (SRT) kullanılmıştır. Kirleticilerin trend analizini yapmak için kullanılacak bilgisayar yazılımı "Trend Analysis for Windows", Delphi 7.0 programlama dilinden yararlanılmıştır. Kirleticiler parametrelere MK ve SR Testi ve Sen'in Trend Eğim metodu %95 güven seviyesinde uygulanmıştır. Kirleticilerin polinomsal lineer regresyon analizi yapılarak R² sırasıyla 0.93, 0.89 ve 0.33 hesaplanmıştır. Sızıntı suyundaki bu ağır metaller mevsimsel olarak farklılık göstermişlerdir. Analizler sonucu genç-orta yaş aralığında bulunan bir deponi alanı için ağır metal konsantrasyonları normal değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Depo alanında sızıntı su havuzundan suların atıksu kanalizasyon aracılığıyla ildeki ileri biyolojik atıksu arıtma tesisine gönderilmekte olduğu için olası bir çevre sağlığı riski taşımamaktadır.

INVESTIGATION OF SEASONAL VARIATION OF SOME HEAVY METALS IN LEACHATE AND POSSIBLE ENVIRONMENTAL IMPACTS

Keywords

Leachate,
Environmental Health,
Heavy Metal,
Trend Analysis.

Abstract

Sanitary landfill leachate poses a significant threat to soil health. Heavy metals found in leachate have negative effects on both humans and the land ecosystem. The pollution concentration of leachate may vary depending on factors such as environmental and stored waste content. Within the scope of this study, samples were taken weekly from the Niğde province solid waste landfill leachate for a year (November 2022-October 2023), and the formation and seasonal change of Fe, Pb, Zn heavy metals were examined with trend analysis and evaluated in terms of environmental health. Non-parametric Mann-Kendall test (MKT) and Spearman's Rho test (SRT) were used to perform trend analysis. The computer software "Trend Analysis for Windows" was selected for conducting trend analysis of pollutants was used in Delphi 7.0 programming language. MK and SR Test and Sen's Trend Slope method were applied to pollutant parameters at 95% confidence level. By performing polynomial linear regression analysis of the pollutants, R² was calculated as 0.93, 0.89 and 0.33, respectively. These heavy metals in the leachate varied seasonally. As a result of the analysis, it was determined that heavy metal concentrations were at normal values for a landfill area in the young-middle age range. Since the water from the leachate pool in the landfill area is sent to the advanced biological wastewater treatment facility in the province through wastewater sewer, it does not pose a possible environmental health risk.

Alıntı / Cite

Gök, G., Özel Gürbüz, O., (2024). Sızıntı Suyundaki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi ve Olası Çevresel Etkilerinin Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(4), 707-716.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Güliden Gök, 0000-0002-1692-8722
Oya Özel Gürbüz, 0000-0002-7590-2696

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.10.2024
Revizyon Tarihi / Revision Date	10.12.2024
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.10.2024
Yayın Tarihi / Published Date	25.12.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: ooya@ohu.edu.tr, +90-382- 288-3594

INVESTIGATION OF SEASONAL VARIATION OF SOME HEAVY METALS IN LEACHATE AND POSSIBLE ENVIRONMENTAL IMPACT

Gülden GÖK¹, Oya ÖZEL GÜRBÜZ^{2†}

¹ Aksaray University, Environmental Engineering Department, Aksaray, Türkiye

² Niğde Ömer Halisdemir Universit, Ulukışla Vocational School, Environmental Cleaning Services Program., Niğde, Türkiye

Highlights

- Leachate is dangerous.
- Leachate has heavy metals.
- At the leachate pollution control is important. Heavy metals in the leachate are within the normal range.

Graphical Abstract



Figure: Investigation and Evaluation of Pb, Fe and Zn Heavy Metals in Niğde Sanitary Landfill Facility Leachate

Purpose and Scope

To examine the seasonal change of heavy metals Pb, Zn and Fe in the leachate content of Niğde landfill.

Design/methodology/approach

Leachate samples taken weekly for one year were analyzed in the laboratory according to standard methods. Trend analyses for Zn, Pb and Fe in leachate were carried out seasonally. Polynomial regression analyses were performed before trend analyses.

Findings

By performing polynomial linear regression analysis of the pollutants, R^2 was calculated as 0.93, 0.89 and 0.33, respectively.

Originality

There is no previous study on heavy metals in the leachate of Niğde landfill and this study is an example and a basis for future studies.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: ooya@ohu.edu.tr, +90-382- 288-3594

1. Giriş (Introduction)

Artan kentleşme ile katı atık üretimi de artmıştır. Dünyada yılda dört yüz milyon ton atık üretilerek bunun %70'i düzenli depolama tesisine gitmektedir. Sızıntı sularının kontrolü ele alınarak ekosisteme girişi engellenmesi gerekmektedir. Eğer bertaraf edilmezse toprağa ve suya karışabilmektedir. Sızıntı suyunda oluşan riskin azaltılması için suyun yapısı ve içeriği mutlaka araştırılmalıdır (Faheem vd., 2021; Kargı ve Pamukoğlu, 2004a). Katı atık düzenli depolama sahalarının çevreye doğrudan ve potansiyel etkilerini önlemek sürdürülebilir gelecek için hayati önem taşımaktadır. 2018 yılında dünyadaki atık miktarı 1,3 milyar ton iken, 2025 yılında 2,2 milyar tona ulaşması öngörülmektedir. Orman ekosistemine ağır metaller oldukça çok zarar vermektedir. Sızıntı suyunda ağır metaller piller, seramikler, ampul gibi ikinci el elektronik atıklarından kaynaklanmaktadır. Sızıntı suyu oluşumu sırasında organik asitler ağır metal konsantrasyonunu arttırmaktadır (Yalılı ve ark., 2006). Sızıntı suyu yeraltı suları için yüksek risk taşımaktadır. Bu nedenle sızıntı suyunun doğaya bırakılmadan önce arıtılması gerekmektedir (Kargı ve Pamukoğlu, 2004b; Tekoğul, 2023).

Niğde'de yapılan bir çalışmada yeraltı sularının kirliliği araştırılmıştır. Çalışmada pH, demir, arsenik, sodyum, elektriksel iletkenlik, nitrat konsantrasyonları analiz edilmiştir. Demir ve arsenik kirleticileri standart değerleri üzerinde tespit edilmiştir (İşcan, 2021). İran kuzeyinde Hyrcanian orman bölgesinde yapılan bir çalışmada sızıntı suyunun etkileri araştırılmıştır. 2012 ve 2022 yılı topraktaki sızıntı suyu kaynaklı Cd ve Pb konsantrasyonlarını tespit etmişlerdir. Buna göre bölgedeki kirlenmiş sahalarda faunalarda azalma gözlemlenmiştir (Kooch vd., 2023).

2. Kaynak Araştırması (Literature Review)

Ağır metal kirliliği çöp ve sızıntı sularında bulunarak mikroorganizmaların biyokimyasal süreçleri inhibe edebilmektedir. Organik maddeler mikroorganizmaların gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Depolama sahasında çevresel stres etkenlerinin kontrol altına alınması gerekmektedir (Zhang vd., 2022). Çöp sahalarda oluşan sızıntı suyunun içeriği coğrafi özelliklere göre değişebilmektedir (Touzani vd., 2024).

Malezya'da yapılan bir çalışmada düzenli depolama sızıntı sularının içerdiği ağır metallerin çevre sağlığı açısından zararlarını araştırmışlardır. Çevre sağlığı açısından sızıntı sularının toprağa ve suya ekotoksikolojik etkileri günümüzde giderek artmakta olduğunu belirtmişlerdir (Chan vd., 2022). Sızıntı suları kontrol altına alınmazsa ciddi çevre problemlerine yol açmaktadır. Portekiz'de yapılan araştırmada farklı deponi alanlardan sızıntı suyu numunesi alınarak depo yaşı, depolama sahası iklimi gibi faktörlerden etkilenip etkilenmediği gözlemlenmiştir. Sıcaklık faktörü arttığında sızıntı suyundaki mikrobiyal etkileşim artmaktadır. Depo yaşı arttıkça ağır metal konsantrasyonu miktarı aynı kalabilmektedir. Ayrıca depo yaşı arttıkça kadmiyum ve kurşun konsantrasyonlarında düşüşler gözlemlenmiştir. Ağır metallerin çözünürlüğü pH değerinin artmasıyla azalmaktadır (Dos Santos vd., 2023). Çöp sahalarda sızan sızıntı sularının ekosisteme kirlilik kaynağı olarak gösterilmektedir (Detho vd., 2023).

Kargı ve Pamukoğlu (2003c) de yaptıkları bir çalışmada, sızıntı suyunun biyolojik arıtılabilirliğini iyileştirmek için kireç ilavesiyle koagülasyon-flokülasyon ve amonyağın havayla sıyırılması ön arıtım olarak kullanılmışlar ve giderim sağlamışlardır. Diğer bir araştırmalarında ise; tekrarlanan beslemeli parti işlemiyle önceden arıtılmış çöp sahası sızıntı suyunun powdered activated carbon (PAC) eklenmiş biyolojik arıtımını araştırmışlardır (Kargı ve Pamukoğlu, 2003a; Kargı ve Pamukoğlu, 2003b).

Sızıntı sularında bulunan arsenik, civa, demir, klor kirleticileri kanserojenik etki yapmaktadır. Kurşun merkezi sinir hastalıklarına, kadmiyum kemikte birikme gibi halk sağlığını bozucu etkiler yaratabilmektedir. Ksenobiyotik organik karbonlar sızıntı suyunda toksisite oluşturmaktadır (Wijekoon vd., 2022).

Malezya'da yapılan bir başka çalışmada bir düzenli depolama sahası çevresindeki toprağın sızıntı suyu içeriğindeki ağır metal kaynaklı kirliliğini araştırmışlardır. Kirlenmiş topraktaki bakterilerin popülasyonunu ve çeşitliliğini incelemişlerdir. Ağır metal içerikli sızıntı suyu ile kirlenmiş toprağın alkali özellikte olup, ağır metal konsantrasyonlarının ise As 43 mg/kg, Pb 3,62 mg/kg, Mn 89,83 mg/kg ve Ni 112,96 mg/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Düzenli depolama tesisleri basit işletimli ve uygun fiyatlı teknolojiye sahip olduğu için dünyadaki ülkelerin en çok kullandığı atık bertaraf yöntemidir. Katı atıkların içinden sızan sıvıları sızıntı suyu olarak tanımını yapılabilmektedir. Sızıntı suları ekosistemi tehdit etmektedir. Metanojenik bakteriler tarafından uçucu yağ asitlerini anaerobik parçalanması sonucu sızıntı suyunda pH yükseltilmektedir. Düzenli depolama sahası sızıntı suyunda sahaya gelen atıkların bileşiminden dolayı farklı ağır metal konsantrasyonları görülebilmektedir. Depolama sahasına gelen doğrudan ya da dolaylı bir şekilde atılan pillerden kaynaklı sızıntı suyunda nikel ve kadmiyum kirliliği görülebilmektedir. Depolama sahasına gelen atıklardan evsel, inşaat atıkları gibi atık türleri sızıntı suyunda ağır metal kirliliği oluşturabilmektedir. Sızıntı suyunda görülen arsenik yem katkı ürünleri, tarım

ürünlerinden meydana gelmektedir. Sızıntı suyunda bulunan Mn ve Pb metallerin çoğunluğu elektronik atıklar sebep olmaktadır (Zakaria vd., 2024).

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Düzenli Depolama Sahası Tanımı (Sanitary Landfill Definition)

Bu çalışmada araştırılan sızıntı suyu Niğde ili, Merkez ilçesinde bulunan düzenli depolama tesisinden alınmıştır. Bu çalışmanın yapıldığı zaman diliminde Düzenli depolama tesisine gelen katı atık miktarı yıl içerisinde 135,22 ile 3377,36 ton/hafta aralığında çöp sahasına getirilmiştir. Ayrıca katı atıklardan enerjiye dönüşümü sağlanmakta olup, elektrik santrali bulunmaktadır. Depolama sahasında sızıntı suları düzenli bir şekilde sızıntı havuzuna aktarılarak kanalizasyon bağlantısıyla ildeki ileri biyolojik arıtma tesisine gönderilmektedir. Şekil 1.'de Niğde düzenli depolama sahası uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Niğde düzenli depolama sahası uydu görüntüsü (Satellite image of Niğde landfill site)

3.2. Sızıntı Suyundan Numune Alınması ve Numunelerin Laboratuvar Analizi (Sampling from Leachate and Laboratory Analysis of Samples)

Sızıntı sularını düzenli depolama tesisindeki sızıntı suyu havuzundan HDPE şişelere alınmadan önce şişeler sızıntı suyu ile durulanmıştır. Sızıntı suyundan haftalık olarak toplanmıştır. Numuneler laboratuvar şartlarına göre saklanarak, numunenin karakteristiğini kaybetmemesi için karanlık ortamda +4°C sıcaklıkta buzdolabında saklanmıştır. Sızıntı suyundaki ağır metal konsantrasyonu tayini ICP-OES cihazında filtrasyon ve mikrodalga ön işlemi EPA3015A metoduyla yapılmıştır.

3.3. Trend Analizi ve Polinomsal Lineer Regresyon (Trend Analysis and Polynomial Linear Regression)

Trend analizinin amacı bir parametrenin zaman boyunca ölçülen değerlerde azalma ve artma olmasını incelemektir. Sızıntı suyunun kirletici konsantrasyonlarını aylık akımlarının trend analizini yapmak amacıyla parametrik olmayan MKT ve SRT kullanılmıştır. Kirleticilerin trend analizi için "Trend Analysis for Windows", Delphi 7.0 programlama dilinden yararlanılmıştır (Gümüş, 2006). Kirletici parametrelere MK ve SR Testi ve Sen'in Trend Eğim metodu %95 güven seviyesinde uygulanmıştır. MK testi su kirletici parametrelerinde meydana gelen değişimi araştırmaya yönelik araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu test ile bir zaman serisinde trend olup olmadığı sıfır hipotezi ile; "H₀: trend yok" ile kontrol edilmektedir (Bağdatlı ve Arslan, 2021). H₀ hipotezinin trendin olmadığı anlamına gelirken H₁ hipotezi trendin artan veya azalan yönünü belirlemektedir (Ballı ve Bağdatlı, 2021). 'n' dereceli polinomsal lineer regresyon modelinin formülü Eşitlik 1.'deki gibidir (Er vd., 2021). Bu denklemin lineer kısmını $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ katsayıları ve polinom kısmı ise x^2, x^3, \dots, x^n x'in üssel ifadelerinden oluşmaktadır.

$$f(x) = y = a_0x^0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

Verilen eşitlikte y, gerçek güç verisini x ise zaman verisini y ise kirletici konsantrasyonunu ifade eder ve a katsayıları bulunur. Veri kümesinde kirletici konsantrasyonu (y) hariç sadece zaman (x) verisinden dolayı denklemin kaçınıcı dereceye sahip olacağını istenilene göre yapılmaktadır. Lineer polinomun derecesini arttırmakla verileri daha iyi olarak geliştirilebilir (Er vd., 2021).

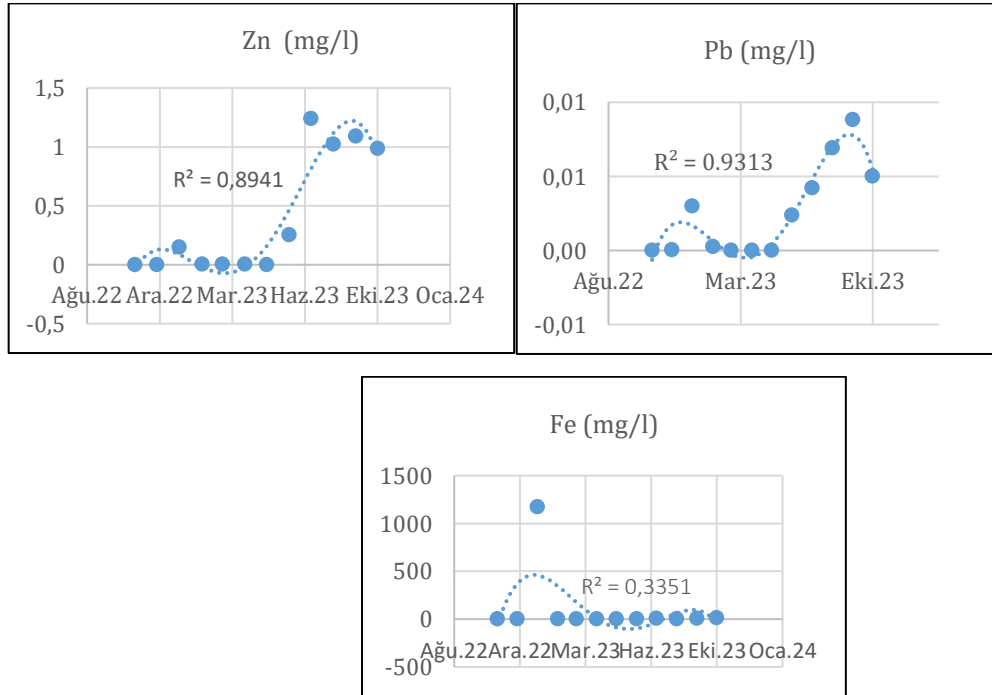
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Sızıntı suyundan bir yıl boyunca haftalık numunelerin analiz sonuçları yıllık, mevsimsel, minimum, maksimum konsantrasyonları Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre Zn 0-1.241 mg/l konsantrasyon aralığında bulunmuş olup, en yüksek yaz mevsiminde olduğu görülmektedir. Pb 0-0.009 mg/l aralığında bulunmuş olup, en yüksek sonbahar mevsiminde olduğu görülmektedir. Fe 0-1169 mg/l konsantrasyon aralığında bulunmuş olup, en yüksek kış mevsiminde olduğu görülmektedir. Zn, metalin yıllık konsantrasyonu 0.391 mg/l, Pb metalin yıllık konsantrasyonu 0.03 mg/l ve Fe metalin yıllık konsantrasyonu 91.671 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Sızıntı Suyunun Yıllık, Mevsimsel Zn, Pb ve Fe Konsantrasyonları ve Min/Maks. Değerleri
(Annual, Seasonal Zn, Pb and Fe Concentrations of Leachate and Min/Max. Values)

Mevsim	Zn(mg/l)	Pb(mg/l)	Fe(mg/l)
Kış	0.051	0.001	359.8
İlkbahar	0.001	0	0.449
Yaz	0.839	0.004	2.165
Sonbahar	0.690	0.005	4.272
Yıllık	0.391	0.003	91.671
Min.	0	0	0
Maksimum	1.241	0.009	1169

Sızıntı suyundaki Pb, Zn ve Fe ağır metallerin aylık konsantrasyonlarının polinomsal lineer regresyon analizi yapılarak R^2 sırasıyla 0.93, 0.89 ve 0.33 olup, Şekil 2'de R^2 grafiği verilmiştir.



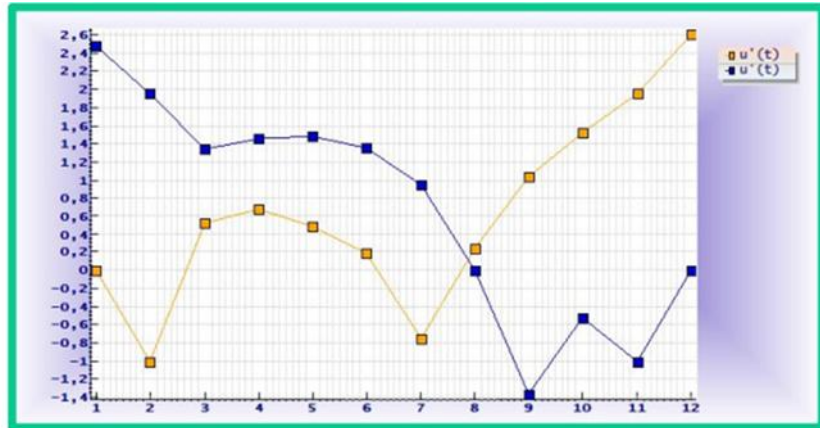
Şekil 2. Sızıntı Suyundaki Pb, Zn ve Fe Ağır Metallerin Aylık Konsantrasyonlarının R^2 Grafikleri
(R^2 Plots of Monthly Concentrations of Pb, Zn and Fe Heavy Metals in Leachate)

Çalışma sonucunda trend analizi sonuçlarında ise yıllık Zn konsantrasyonlarının MK Testine ve SR testine göre artan yönde anlamlı bir trend olduğu görülmüştür. Yıllık Pb konsantrasyonlarının MK testine göre artan yönde anlamlı bir trend olduğu, Superman Rho testinde göre anlamlı bir trend olmadığı görülmüştür. Sızıntı suyundaki yıllık Zn ve Pb konsantrasyonunun MK ve SR testi sonuçları Tablo 2.'de ve u (t) u' (t) grafikleri Şekil 3. ve 4.'de verilmiştir.

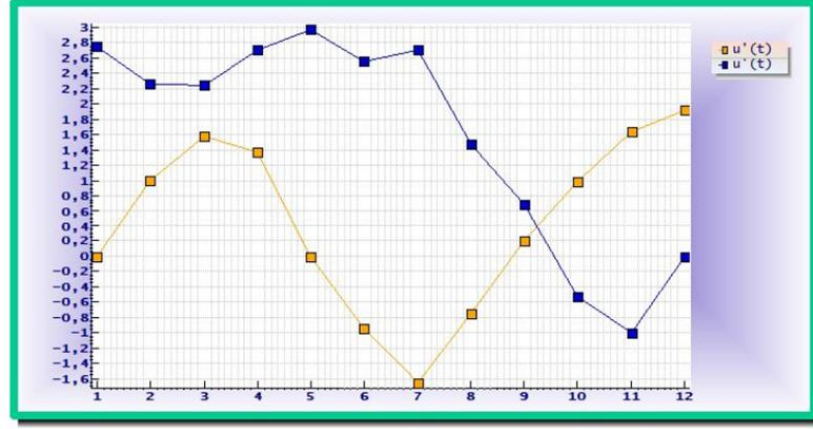
Tablo 2. Sızıntı Suyundaki Yıllık Zn ve Pb Konsantrasyonunun MK ve SR Testi Sonuçları
(MK and SR Test Results of Annual Zn and Pb Concentration in Leachate)

Zn mg/l Yıllık Trend Analizi	Mann-Kendall Testi Sonuçları		Spearman Rho Testi Sonuçları	
	Za/2	1.96	Za/2	1.96
	S	36	Rho Test İstatistiği(rs)	0.72
	Sigma S	14.58	Z	2.4
	Kendal Korelasyon Katsayısı	0.55		
	Z	2.4		
Sonuç	İncelenen Zaman Serisinde H0 hipotezi Red Edilir ve Artan Yönde Anlamlı Bir Trend Olduğu Sonucuna Varılır		Sonuç	İncelenen Zaman Serisinde H0 hipotezi Red Edilir ve Artan Yönde Anlamlı Bir Trend Olduğu Sonucuna Varılır
Sen'in Trend Eğim Metoduna göre Q Medyan (Birim Zamandaki Değişim)				0.0924

Pb mg/l Yıllık Trend Analizi	MK Testi Sonuçları		SR Testi Sonuçları	
	Za/2	1.96	Za/2	1.96
	S	40	Rho Test İstatistiği(rs)	0.57
	Sigma S	14.58	Z	1.9
	Kendal Korelasyon Katsayısı	0.61		
	Z	2.67		
Sonuç	İncelenen Zaman Serisinde H0 hipotezi Red Edilir ve Artan Yönde Anlamlı Bir Trend Olduğu Sonucuna Varılır		Sonuç	İncelenen Zaman Serisinde H0 hipotezi Kabul Edilir ve Anlamlı Bir Trend Olmadığı Sonucuna Varılır.
Sen'in Trend Eğim Metoduna göre Q Medyan (Birim Zamandaki Değişim)				0.0006



Şekil 3. Sızıntı Suyundaki Yıllık Zn Konsantrasyonunun (t) u' (t) Grafiği (Plot of Annual Zn Concentration (t) u' (t) in Leachate)



Şekil 4. Sızıntı Suyundaki Yıllık Pb Konsantrasyonun (t) u' (t) Grafiği
(Plot of Annual Pb Concentration (t) u' (t) in Leachate)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Kirleticilerin yeraltı suyuna sızarak, içme sularını kirletmeleri oldukça tehlikelidir. Bu kirleticiler, topraktan bitkilere, bitkilerden de diğer yeryüzünde yaşayan canlıların bünyelerine geçmektedir. Ayrıca toprağın yapısını bozarak fakirleştirmektedir. Bitki yapraklarında bulunan ağır metallere Pb normal konsantrasyon aralığı 5-10 ppm, toksik konsantrasyon aralığı 30-300 ppm, Zn normal konsantrasyon aralığı 27-150 ppm, toksik konsantrasyon aralığı 100-400 ppm'dir (Özbek, 2010). Buna göre çalışma alanından toplanan sızıntı suyunda bulunan Zn ve Pb konsantrasyonu daha düşük olduğu görülmüştür.

Sızıntı su içeriğindeki ağır metal konsantrasyonunu azaltmak için geri dönüşümün uygulanması ya da atıkların ayrıştırılması gerekmektedir. Kastamonu'da yapılan bir çalışmada belediye katı atıklarının çevresinde bulunan orman topraklarında ağır metal (Zn, Ni, Pb, Cr, Cu ve Cd) konsantrasyonlarının sahaya olan uzaklığına göre toprakta kirlilik tespit edilmiştir. Kent çöplüğüne 100, 200, 300, 750 ve 2000 m uzaklıktaki topraklardan alınan numunelerde, kent çöplüğünden uzaklaşarak kadmiyum elementi hariç diğer elementlerde uzaklık ile ağır metal kirliliğinin azaldığı gözlemlenmiştir (Sarıyıldız ve Savacı, 2023).

Depolama sahalarındaki sızıntı sularının toksik etkisi çevreyi kirletmektedir. Sızıntı suyundaki ağır metaller, depolanan atık karakteristiğine, depolama yaşı gibi özelliklerine göre her depolama tesisinde aynı konsantrasyonda bulunmamaktadır. Sızıntı suyundaki ağır metallerin en düşük konsantrasyonları bile çevre ve halk sağlığı üzerinde önemli etkiler bırakabilmektedir. Depolama tesisine gelen günlük evsel atıklarında birçok ağır metal bulundurmaktadır. Ağır metaller insan üzerinde kanserojenik etki bırakabilmektedir. Sızıntı sularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım yöntemleri ile çözümler aranmaktadır. Arıtım teknolojilerinin yüksek maliyetli olması ekonomik arıtım yöntemlerini araştırmaya yönelmişlerdir. Bu yöntemlerden alternatif olarak fitoremediasyon yöntemini tercih etmektedirler. Sızıntı sularındaki ağır metallerin sulak alanların arıtılması sürecinde öncelikle ağır metaller katyon değişimiyle tortulara bağlanır sonra bu metaller çözünmeyen tuzlar halinde çöker daha sonra da ağır metaller bitki ve bakteriler tarafından giderimi sağlanmaktadır. Sızıntı sularındaki yapay sulak alan kullanımı bölgedeki iklim özelliklerine göre giderim oranı değişebilmektedir. Topraktaki Pb ağır metal konsantrasyonu için uluslararası eşik değerleri Avrupa Birliği, Birleşik Krallık, ABD ve WHO için sırasıyla 300 ppm, 70 ppm, 300 ppm ve 0,3-10 ppm olup, bu çalışmadaki sızıntı suyunda Pb konsantrasyonu verilen bu değerlere göre oldukça düşüktür. Topraktaki Zn ağır metal konsantrasyonu için uluslararası eşik değerleri Avrupa Birliği, Birleşik Krallık, ABD ve WHO için sırasıyla 300 ppm, 200 ppm, 200-300 ppm ve 12-60 ppm olup, çalışmadaki sızıntı suyunda Zn konsantrasyonu da bu değerlere göre oldukça düşüktür (Sarıyıldız ve Savacı, 2023).

Batı İran'da düzenli depolama sahası sızıntı suyunda bulunan Fe, Mn, Cd, Cr, Ni ve Pb ağır metallerin arıtılması için sürdürülebilir bir çözüm olarak sulak alanların kullanılabilirliği araştırmışlardır. Sulak alanlardaki (Phragmites Australis bitkisi) kamış bitkisinin sızıntı suyundaki ağır metallere Fe, Mn, Cd elementlerin giderildiğini tespit etmişlerdir. Çevre koruma bilinci ile kirliliği azaltma ve önleme faaliyetleri belediyelerde son yıllarda artış görülmektedir (Samadi vd., 2024).

Sızıntı suyundaki ağır metaller ekosistem için potansiyel bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır. Depolama tesisinde toprak altına gömülen katı atıkların ayrışımı ile yağışın etkisiyle birlikte sızıntı suları meydana gelmektedir. Bu sularla ihtiva eden ağır metallerin giderimi için filtreleme, çökeltme ve pıhtılaştırma gibi arıtım yöntemleri

uygulanmaktadır. Biyoteknoloji arıtım yöntemi olarak algler, bitki çeşitleri tercih edilmektedir. Kuzey Kaliforniya’da yapılan çalışmada depolama tesisindeki sızıntı suyunun kahve posası ile biyosorpsiyon yöntemi kullanılarak %70-90 oranında bakır ve kurşun giderimi görülmüştür (Carvajal-Flórez ve Oakley, 2023).

Nijerya’da bulunan çöp sızıntı suyunun yeraltı sularına etkilerini araştırmış olup, sızıntı suyundaki ağır metallerin (Co, As, Cd, ve Pb) giderimi için dört adet geçirgen bariyer (odun talaşı, şeker kamışı, pirinç kabuğu ve hurma çekirdeği) sistemini kullanmışlardır. Buna göre odun talaşı diğerlerine göre daha yüksek giderim sağlamıştır (Ugwu vd., 2023). Çinko halk sağlığı açısından beyin ve sinir sistemine, kadmiyum böbrek fonksiyonlarına, nikel ise kanserojenik olarak zarar vermektedir (Zheng vd., 2023).

Sızıntı suların toksik özelliklerinden dolayı toprağı ve yeraltı sularını kirletmektedir. Bu yüzden sızıntı sularının sağlık risk düzeyini tespit etmek için, suyun ekotoksikolojik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Nijerya’da yapılan araştırmada çöp depolama tesislerinde oluşan sızıntı sularının çevresel etkileri üzerinde çalışmış olup, saha çevresinde bulunan yüzeysel sularda, tortularda yüksek miktarda ağır metal kirliliği olduğu gözlemlenmiştir. Sızıntı suyunda bu ağır metallerden Pb, Zn ve Fe ağır metal konsantrasyonları sırasıyla $3.00 \pm 1.04 \text{ mg/l}$, $23.88 \pm 14.40 \text{ mg/l}$ ve $1473.16 \pm 413.59 \text{ mg/l}$ olarak bulunmuştur (Essien vd., 2022). Çalışılan sızıntı suyunda bulunan Zn, Pb ve Fe konsantrasyonu Essien vd. (2022)’nin yaptığı çalışmaya göre daha düşük konsantrasyonda olduğu görülmüştür.

Sızıntı suyunun çevresinde bulunan bitkiler ve topraklar ağır metal kirliliğinden etkilenebilmektedir. Nüfus artışı ile birlikte teknolojinin gelişmesiyle tüketim çeşitliliği artarak, katı atıkların miktarında ve türünde değişikliklere sebep olmaktadır. Düzenli depolama yöntemi katı atıkların bertarafında en çok kullanılan bir yöntemdir. Katı atıklar düzenli bir şekilde toprak altına alınarak içerisinde birçok biyokimyasal süreci başlatmaktadır. Tahran’da bulunan iki çöp depolama alanında, yapılan çalışmada sızıntı sularının sebep olduğu çevresel kirliliği (bitki ve toprak üzerinde) ve depo yaşının kirlilik üzerine etkisini araştırmışlardır. Depo yaşı genç olan sızıntı suyunun Fe oranı diğer metallerle göre daha fazla konsantrasyonda bulunduğunu, depo yaşı büyük olan eski depolama sahasından alınan sızıntı suyunda Mn konsantrasyonu diğer metallerle göre daha yüksek miktarda bulunduğunu tespit etmişlerdir. Eski depolama sahası çevresindeki toprakta ağır metal konsantrasyonu genç depolama sahası çevresindeki toprağa göre daha düşük bulunduğunu belirtmişlerdir. Yağışlı mevsimde toprakta ağır metal konsantrasyonu düşmektedir. Atık ayrımı ile endüstriyel atık yönetimi yapan depolama tesisi sızıntı suyunda ağır metal konsantrasyonu azalmaktadır. Sızıntı sularındaki ağır metal içeriği çevredeki bitkilerde birikim yapabilmekte böylelikle besin zincirine girmektedir. Depolama alanlarındaki bitkinin ağır metali bünyesine almasıyla yani fitoremediasyon ile kirlilik yönetimi yapılabilir (Beinabaj vd., 2023).

Sızıntı suyundaki ağır metal konsantrasyonları düzenli depolama yaşına, depolanan atık türlerine ve meteorolojik şartlara göre değişmektedir. Sızıntı suyunda demir 0,08 ile 2100 mg/l, kurşun 0,0005-1,5 mg/l, çinko 0,00005-120 mg/l konsantrasyon aralığında değişmektedir (Alberto vd., 2022).

Düzenli depolama sızıntı suları zamansal ve mekânsal olarak değişkenlik göstermekte oldukça toksik özelliktedir. Mevsimsel hava değişkenlikleri sızıntı suyundaki mikroorganizma faaliyetlerini değiştirerek pH’ı da etkilemektedir (Francisca ve Glatstein, 2020).

Sızıntı suyunda ağır metallerden Cd, Cr, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonu sigara izmariti nedeniyle artış sağlamaktadır. Bu yüzden sigara izmaritlerinin çöp depolama sahasına gelmeden önlenmesi sağlanmalıdır (Torkashvand vd., 2021).

Yüksek konsantrasyonda ağır metaller mikroorganizmaların anaerobik reaksiyonunu inhibe etmektedir. Bitki atıkları ile hayvan gübresinin ağır metallerden Zn, Fe’in anaerobik reaksiyonda mikrobiyal olarak etkileri incelenmiştir (Guo vd., 2019). Fe elementinin 50-4000 mg/l konsantrasyon aralığında bulunduğu optimum biyogaz verimi, 20000 mg/l konsantrasyonunda ise inhibe edici biyogaz verimi elde edilmektedir. Zn 5 mg/l konsantrasyon aralığında bulunduğu optimum biyogaz verimi, 50-100 mg/l konsantrasyonunda ise inhibe edici biyogaz verimi elde edilmektedir. Buna göre çalışma alanından toplanan sızıntı suyunda bulunan Zn ve Fe konsantrasyonunun daha düşük olduğu ve metan bakterileri üzerinde herhangi bir olumsuz etki olmayacağı görülmüştür.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada sızıntı suyundaki Pb, Zn ve Fe ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Analizler sonucu genç-orta yaş aralığında bulunan bu deponi alanı için literatür çalışmasına göre konsantrasyon değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir. Deponi alanı havuzunda sızıntı sularının kanalizasyon aracılığıyla ildeki ileri biyolojik atıksu arıtma tesisine gönderilmekte olduğu için olası bir çevre sağlığı riski taşımamaktadır. Olası bir çevre sağlığını bozacak bir etki yapılacağı düşünülürse sızıntı sularının arıtma tesisine verilmeden yerinde bir arıtma teknolojisi düşünülebilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Alberto, Á. A., Sugey, L. M., Ana, R. R. L., Eduardo, S L. H., Carlos, M M. B., Emanuel, H. N., 2022. Analysis of *Chrysopogon zizanioides* used as floating treatment wetlands in the removal of heavy metals present in leachate. *Remediation Journal*, 33, 1, 77-86.
- Bağdatlı, M. C., Arslan, O., 2021. Classification and Mapping of Land Use and Some Soil Properties in Kırşehir Province, Turkey. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research (IJETMR)*, 8, 8, 81-93.
- Ballı, Y., Bağdatlı, C., 2021. İç Anadolu bölgesinde şebekeden deşarj edilen atıksu miktarlarının yıllar bazındaki değişim seyri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla mekansal analizi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi.
- Beinabaj, S. M. H., Heydariyan, H., Aleii, H. M., Hosseinzadeh, A., 2023. Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill: Investigation of the effect of landfill age on the intensity of pollution. *Heliyon*, 9, 1.
- Carvajal-Flórez, E., Oakley, S., 2023. Coffee pulp characterization and treatment as adsorbent material for heavy metal removal from landfill leachates. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 8, 8241-8260.
- Chan, M.-Y., Tee, C.-S., Chai, T.-T., Sim, Y.-L., Beh, W.-L., 2022. Evaluation of electro-assisted phytoremediation (EAPR) system for heavy metal removal from synthetic leachate using *Pistia stratiotes*. *International Journal of Phytoremediation*, 24, 13, 1376-1384.
- Detho, A., Kadir, A. A., Memon, A. A., Laghari, A. N., 2023. Experimental Approach for Ammonia and COD Removal from Leachate via Adsorption by Carbon Mineral Adsorbent. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 11, 3529-3538.
- Dos Santos, J. M., Amaral, L. M., Martinho, G., 2023. Effects of landfill age, climate, and size on leachate from urban waste landfills in Portugal: A statistics and machine learning analysis. *Waste Management*, 172, 192-207.
- Er, R. N., Uęurlu, B., Bayram, U., 2021. Akıllı Evlerdeki Cihazların Enerji Tüketimine Göre Kaynağının Belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3, 1, 47-58.
- Essien, J. P., Ikpe, D. I., Inam, E. D., Okon, A. O., Ebong, G. A., Benson N. U., 2022. Occurrence and spatial distribution of heavy metals in landfill leachates and impacted freshwater ecosystem: An environmental and human health threat. *Plos one*, 17, 2, e0263279.
- Faheem, K., Khan, S., Washeem, M., Khan, S., 2021. Energy efficient removal of COD from landfill leachate wastewater using electrocoagulation: parametric optimization using RSM. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-12.
- Francisca, F. M., Glatstein, D. A., 2020. Environmental application of basic oxygen furnace slag for the removal of heavy metals from leachates. *Journal of hazardous materials*, 384, 121294.
- Guo, Q., Majeed, S., Xu, R., Zhang, K., Kakade, A., Khan, A., . . . Li, X., 2019. Heavy metals interact with the microbial community and affect biogas production in anaerobic digestion: A review. *Journal of environmental management*, 240, 266-272.
- Gümüş, V., 2006. Fırat havzası akımlarının trend analizi ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi
- İşcan, N., 2021. Niğde ili yeraltı su kirliliği, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kargı, F., Pamukoglu, M.Y., 2003a. Aerobic biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. *Enzyme and Microbial Technology* 33, 588-595.
- Kargı, F., Pamukoglu, M.Y., 2003b. Powdered activated carbon added biological treatment of pre-treated landfill leachate in a fed-batch reactor. *Biotechnology Letters* 25: 695-699.
- Kargı, F., Pamukoglu, M.Y., 2003c. Simultaneous adsorption and biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. *Process Biochemistry* 38, 1413-1420.
- Kargı, F., Pamukoglu, M.Y., 2004a. Adsorbent supplemented biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. *Bioresource Technology* 94, 285-291.
- Kargı, F., Pamukoglu, M.Y., 2004b. Repeated fed-batch biological treatment of pre-treated landfill leachate by powdered activated carbon addition. *Enzyme and Microbial Technology* 34, 422-428.
- Kooch, Y., Nouraei, A., Haghverdi, K., Kolb S., Francaviglia, R., 2023. Landfill leachate has multiple negative impacts on soil health indicators in Hyrcanian forest, northern Iran. *Science of The Total Environment*, 896, 166341.
- Özbek, Z., 2010. Topraktaki ağır metaller için sınır değerlerin uygulanabilirliğinin araştırılması, İTÜ.
- Samadi, M. T., Leili, M., Asgari, G., Chavoshi, S., 2024. The potential of *Phragmites australis* to bioaccumulation and translocate heavy metals from landfill leachate. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105657.
- Sarıyıldız, T., Savacı, G., 2023. Belediye katı atık döküm sahası çevresi orman topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6, 1, 32-45.
- Tekoğul, H., 2023. Wastewater Treatment of Solid Waste Leachate and Production of Proteinaceous Biomass Using Duckweed Vegetation (*Lemna minor*). *Journal of Coastal Research*, 39, 2, 296-302.
- Torkashvand, J., Godini, K., Norouzi, S., Gholami, M., Yeganeh, M., Farzadkia, M., 2021. Effect of cigarette butt on concentration of heavy metals in landfill leachate: health and ecological risk assessment. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19, 483-490.
- Touzani, A., El Hammoudani, Y., Dimane, F., Tahiri, M., Haboubi, K., 2024. Characterization of Leachate and Assessment of the Leachate Pollution Index--A Study of the Controlled Landfill in Fez. *Ecological Engineering & Environmental Technology (EEET)*, 25, 4.

- Ugwu, I. E., Okechukwu, M. E., Ogwo, V., Anyadike, C., Crowner, C., 2023. Bioremediation of dumpsite leachates and heavy metals contaminated groundwater using locally sourced organic wastes as reactive media. *Present Environment & Sustainable Development*, 17, 2.
- Wijekoon, P., Koliyabandara, P. A., Cooray, A. T., Lam, S. S., Athapattu, B. C., Vithanage, M., 2022. Progress and prospects in mitigation of landfill leachate pollution: Risk, pollution potential, treatment and challenges. *Journal of hazardous materials*, 421, 126627.
- Yalılı, M., Kestioglu, K., Mert, B. K., 2006. Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte arıtılabilirliğinin respirometrik yöntemle izlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11, 1.
- Zakaria, Z., Fadzil, F. N. M., Mohamad, M. A. N., Hamid, A. A. A., Chowdhury, A. J. K., Harumain, Z. A. S., 2024. Metagenomic Analysis Of Bacterial Communities In Heavy Metal Leachate-Contaminated Soils At Jalan Lipis Sanitary Landfill, Pahang, Malaysia. *Desalination and Water Treatment*, 100512.
- Zhang, R., Yang, S., An Y., Wang, Y., Lei, Y., Song, L., 2022. Antibiotics and antibiotic resistance genes in landfills: a review. *Science of the Total Environment*, 806, 150647.
- Zheng, L., Lin, H., Dong, Y., Li, B., Lu, Y., 2023. A promising approach for simultaneous removal of ammonia and multiple heavy metals from landfill leachate by carbonate precipitating bacterium. *Journal of Hazardous Materials*, 456, 131662.