



Hastane atıksularının ekotoksikolojik etkisinin değerlendirilmesi Evaluation of ecotoxicological effect of hospital wastewater

Arzu Ulvi^{1,*} , Senar Aydın² , Mehmet Emin Aydın³ 

^{1,2} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada Konya’da bulunan yatak kapasiteleri 27-600 kişi arasında değişen 10 hastanenin atıksuyundan yaz ve kış dönemlerinde örnekler alınarak fizikokimyasal özellikleri belirlenmiş ve *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna*, *Lepidium sativum* toksisite testleri ile ekotoksikolojik etkisi belirlenmiştir. Hastane atıksularının pH, elektriksel iletkenlik, askıda katı madde ve toplam organik karbon parametreleri sırasıyla yaz dönemi için 7.16-8.61, 525-7970 $\mu\text{S/cm}$, 18-1124 mg/L, 53-502 mg/L aralığında, kış döneminde ise 7.10-8.63, 554-4130 $\mu\text{S/cm}$, 92-860 mg/L, 20-305 mg/L, 143-819 mg/L aralığında tespit edilmiştir. Hastane atıksularının EC_{50} değerleri yaz döneminde *Vibrio fischeri* için 0.39-77.72, *Daphnia magna* için 14.84-85.15, *Lepidium sativum* için 16.62-87.68 aralığında, kış döneminde *Vibrio fischeri* için 0.78-100, *Daphnia magna* için 9.8-49.95, *Lepidium sativum* için 36.68-42.61 aralığında tespit edilmiştir. EC_{50} değerlerinden hesaplanan toksik birim değerleri incelendiğinde, araştırılan hastanelerin üçünün atıksuyunda yüksek akut toksisite etkisi gözlenmiştir. Covid-19 pandemisi sebebiyle hastanelerin tam kapasite çalışması ve hastanelerde yoğun farmasötik kullanımına bağlı olarak deşarj edilen kirlilik yükünün artması hastane atıksularının yönetimi açısından bugün daha önemli bir sorun haline gelmiştir. Hastane atıksularının deşarj kriterlerinin belirlenmesinde toksisite testlerinden faydalanılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Fizikokimyasal özellikler, Hastane atıksuyu, Toksisite

1 Giriş

Hastaneler ortalama olarak günde 1000 L/gün yatak atıksu üretirler [1]. Hastanelerin yatak kapasitesi ve ayakta tedavi kapasitelerine göre atıksu debileri değişebilir. Hastanelerde bulunan tıbbi birimlerin çeşitlerine, uygulanan tedavi yöntemlerine, gerçekleştirilen çeşitli faaliyetlere, coğrafi konuma ve mevsime bağlı olarak oluşan atıksular farklı bileşimlere sahip olabilirler [2-3]. Hastane atıksuları kalıcı organik kimyasallar, kompleks karışık organik maddeler, deterjanlar, sürfaktanlar, antiseptikler, solventler, radyoaktif maddeler ve farmasötikler içeren atıksulardır [4]. Hastane atıksularında konvansiyonel kirletici parametreler (Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM) evsel atıksulardan 2-3 kat daha fazla olabilirler. Mikrokirleticiler ise hastane

Abstract

The wastewater of 10 hospitals in Konya with bed capacities ranging from 27-600 person in summer and winter periods. The pH, electrical conductivity, suspended solids and total organic carbon properties of hospital wastewaters are 7.16-8.61, 525-7970 $\mu\text{S/cm}$, 18-1124 mg/L, 53-502 mg/L in the summer period, and 7.10- 8.63, 554-4130 $\mu\text{S/cm}$, 92-860 mg/L, 20-305 mg/L, 143-819 mg/L in the winter period. The EC_{50} values of hospital wastewater are 0.39-77.72 for *Vibrio fischeri*, 14.84-85.15 for *Daphnia magna*, 16.62-87.68 for *Lepidium sativum* in summer, 0.78-100 for *Vibrio fischeri*, 9.8-49.95 for *Daphnia magna*, 36.68-42 for *Lepidium sativum* in winter. When the toxic unit values calculated from the EC_{50} values were examined, high acute toxicity was observed in the wastewater of three of the hospitals studied. The increase in the discharged pollution load due to the full capacity operation of the hospitals and the insentive use of pharmaceuticals in hospitals due to the Covid-19 pandemic has become a more important problem in terms of the management of hospital wastewater. Toxicity tests should be used to determine the discharge criteria of wastewater such as hospital wastewater.

Keywords: Physicochemical properties, Hospital wastewater, Toxicity

atıksularında evsel atıksulara göre 2-150 kat daha yüksek konsantrasyonlarda olabilirler [5]. Hastane atıksuları ile ilgili endişe verici önemli kirletici gruplarından bir tanesi farmasötiklerdir. Farmasötikler biyolojik yapılara etki eden, dirençli, kalıcı ve zararlı mikrokirleticilerdir. Konya’da bulunan hastane atıksularının farmasötik konsantrasyonları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, 16 adet hastanede antibiyotiklerin konsantrasyonu yaz döneminde $21.2 \pm 0.13-4886 \pm 3.80$ ng/L, kış döneminde ise $497 \pm 3.66- 322,735 \pm 4.58$ ng/L olarak tespit edilmiştir. Çevresel risk değerlendirmesi sonuçlarına göre ise kışın arıtma tesisi çıkış suyunda azithromycin ve clarithromycin bileşiklerinin alıcı ortamda akuatik organizmalar alg ve balık için yüksek risk (RQ > 10) sergilediği tespit edilmiştir [6]. Analjezik ve anti-inflamatuarların konsantrasyonları yaz döneminde 1043-

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: atekinay@erbakan.edu.tr (A. Ulvi)

Geliş / Received: 26.11.2021 Kabul / Accepted: 08.01.2022 Yayınlanma / Published: 15.04.2022

doi: 10.28948/ngumuh.1028824

203187 ng/L, kış döneminde 2347-300285 ng/L olarak tespit edilmiştir [7]. Bu çalışmalarda bazı farmasötik bileşiklerin atıksuda bulunmasının balık, *Daphnia magna* ve alg için yüksek risk oluşturduğu tespit edilmiştir. Hastane atıksuları genelde belediyelerin kanalizasyon sistemlerine herhangi bir ön arıtıma tabi tutulmadan deşarj edilirler. Deşarj edilen hastane atıksularının debisine de bağılı olarak atıksu arıtma tesisine ulaşan kirlilik yüklerinde artış görülebilir. Hastane atıksularının şehrin kanalizasyon sistemine veya çevresel ortamlara deşarj edilmesi durumunda içerdiği kirleticilerin çevresel etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Çok çeşitli bir yelpazede çevresel kirleticiler içeren hastane atıksularında her bir kirletici için ayrı ayrı değerlendirme yapmak zor ve neredeyse imkansızdır. Bu sebeple atıksu içerisindeki bütün kirleticilerin ortak etkisini belirleyebilmek için toksisite testleri önemlidir [2,4,8].

Bu çalışmada Konya’da bulunan 10 tane hastaneden yaz ve kış dönemlerinde atıksu örnekleri alınmıştır. Hastane atıksularının fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. 3 farklı trofik seviyeyi temsil eden *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna*, *Lepidium sativum* toksisite testleri ile EC₂₀ (organizmaların %20’sini etkileyen konsantrasyon) ve EC₅₀ (organizmaların %50’sini etkileyen konsantrasyon) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar toksik birim değerlerine dönüştürülerek ekotoksikolojik risk değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve metot

2.1 Atıksu örnekleri

Konya’da bulunan 10 hastaneden 2016 yılında yaz ve kış dönemlerinde atıksu örnekleri alınmıştır. İncelenen hastanelerden 9 tanesi özel hastanedir ve yatak kapasiteleri 27-201 kişi arasındadır, 1 tanesi devlet hastanesidir ve yatak kapasitesi 600 kişidir. Hastane atıksu örnekleri hastanenin kanalizasyon sistemine bağlantı noktasından 2 saatlik kompozit örnekler olarak alınmıştır.

2.2 Atıksu örneklerinin fizikokimyasal analizleri

Atıksu örneklerinin pH ve Eİ (Elektriksel iletkenlik) ölçümleri Hach marka portatif model pH ve Eİ ölçüm cihazı ile atıksu örnekleri alındıktan sonra gerçekleştirilmiştir. AKM ve toplam organik karbon (TOK) ölçümleri Standart Metotlara göre [9] gerçekleştirilmiştir.

2.3 Toksisite testleri

Hastane atıksularının ekotoksikolojik etkisi test organizması olarak *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* ve *Lepidium sativum*’un kullanıldığı toksisite testleri ile değerlendirilmiştir. *Vibrio fischeri* ve *Daphnia magna* toksisite testleri su ortamındaki canlı yaşamına olan etkiyi belirlemek için, *Lepidium sativum* toksisite testi ise fitotoksik etkinin belirlenmesi için seçilmiştir. Luminescent bakterinin kullanıldığı *Vibrio fischeri* toksisite testi besin zincirinde ayrıştırıcı trofik seviyesini, *Daphnia magna* birincil tüketici trofik seviyesini, *Lepidium sativum* ise üretici trofik seviyesini temsil etmektedir. *Vibrio fischeri* ve *Daphnia magna* toksisite testleri akut etkiyi değerlendirirken, *Lepidium sativum* toksisite testi ile kronik etki belirlenmektedir. Toksisite testleri gerçekleştirilmeden önce test organizmalarının duyarlılığını ve test

performansının doğruluğunu kontrol etmek için *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* ve *Lepidium sativum* ile referans toksisite testleri gerçekleştirilmiştir. Referans testlerde K₂Cr₂O₇ solüsyonları kullanılmıştır.

2.3.1 *Vibrio fischeri* (luminescence bacteria) toksisite testi

Vibrio fischeri toksisite testi EN ISO 11348-2 (Luminescent bacteria test kit)’e Hach-Lange LCK 482 ile Dr. Lange LUMISTox 300 luminometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *Vibrio fischeri* toksisite testinin test kriteri luminescence inhibisyonu olup, test prensibi ise luminometre ile luminescence azalmasının ölçülmesidir. Numunelerin toksisitesi Dr. Lange photobacterium phosphoreum standart kültürünün 30 dakika sonrasındaki ışık yoğunluğunun azalması yoluyla tespit edilmiştir. Atıksu örneklerinin seyrelme serisi EN ISO 11348-2’ye [10] göre doğrudan test vialleri içerisinde hazırlanmış ve G1 (G1≈%100) ölçüm metodu kullanılmıştır. I0 ve I30 ölçümleri esnasında LUMISoft4 yazılım programı ile renk düzeltilmesi yapılmıştır. Atıksuların %inhibisyon ve EC₅₀ değeri EN ISO 11348-2’ye göre hesaplanmıştır. Analizler 2 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.2 *Daphnia magna* toksisite testi

Daphnia magna biotesti mikrobiotest Daphtox FTM Standart Prosedürüne göre gerçekleştirilmiştir. *Daphnia magna* toksisite testinin test kriteri *Daphnia magna*’ların ölümü, test prensibi ise mikroskop altında ölü ve yaşayan crustacean sayımıdır. Tuz çözeltileri (NaHCO₃, CaCl₂, MgSO₄, KCl) kullanılarak standart çözelti hazırlanmış ve hazırlanan bu çözelti larvaların inkübasyonuna bırakılmasından ve numune seyrelme serilerinin hazırlanmasından önce en az 15 dakika süresince havalandırılmıştır. *Daphnia magna* larvalarının yumurtadan çıkartılması için 15 mL havalandırılmış standart çözelti ile tüp içerisinde yer alan larvalar petri tabağına transfer edilmiş ve 72 saat süresince, 20-22 °C’de sürekli olarak 11000 lux ışık altında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan 70 saat sonra (teste başlamadan 2 saat önce) yumurtadan çıkan daphnialar spirulina mikro-alg tüpüne 1 mL havalandırılmış standart çözelti konularak hazırlanan besin çözeltisi ile beslenmiştir. Farklı seyrelmeler ve kontrol için test dört tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Test tabağındaki her bir hücreye 10 mL atıksu örnekleri konulmuştur. Her atıksu örneğinin içerisine 5’er adet *Daphnia magna* larvası konularak, karanlıkta 20 °C’de inkübe edilmiştir. 24 ve 48 saat sonunda ölü *Daphnia magna*’lar sayılarak % inhibisyon oranı belirlenmiş ve grafiksel interpolasyonla EC₅₀ değeri hesaplanmıştır.

2.3.3 *Lepidium sativum* toksisite testi

Lepidium sativum toksisite testinin test kriteri ve test prensibi bitki kök uzunluğunun ölçülmesidir. Test 6 adet kontrol ve 3’er adet farklı seyrelmelerde hazırlanan atıksu örnekleri için gerçekleştirilmiştir. Kontrol ve seyrelme serilerinin hazırlanması için saf su kullanılmıştır. 9 cm’lik cam petri kapları içerisine 2’şer adet 90 mm çapında filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Kontrol petri kaplarına 5’er mL saf su, numune petrilere ise hazırlanan farklı seyrelmelerdeki numuneden alınarak filtre kağıdı altında hiç hava kabarcığı

kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Üzerlerine eşit büyüklükte, zarar görmemiş *Lepidium sativum* tohumlarından 25'er adet petri kabı içerisinde eşit aralıklarla dağıtılmış ve ağızları kapatılan petri kapları 72 saat süresince karanlık ortamda, 25°C sıcaklıkta inkübe edilmiştir. Test süresi sonunda her petri kabında bulunan *Lepidium sativum* tohumlarının en iyi gelişim gösteren 20 tanesinin kök uzunlukları ölçülmüştür. Test süresi sonunda her bir numune seyrelmesindeki *Lepidium sativum* tohumlarında gözlemlenen kök uzunluk ortalama değerleri kontrol petri kaplarında ölçülen ortalama kök uzunluk değerleri ile kıyaslanarak % inhibisyon oranı ve EC₅₀ değeri belirlenmiştir [11].

3 Sonuçlar

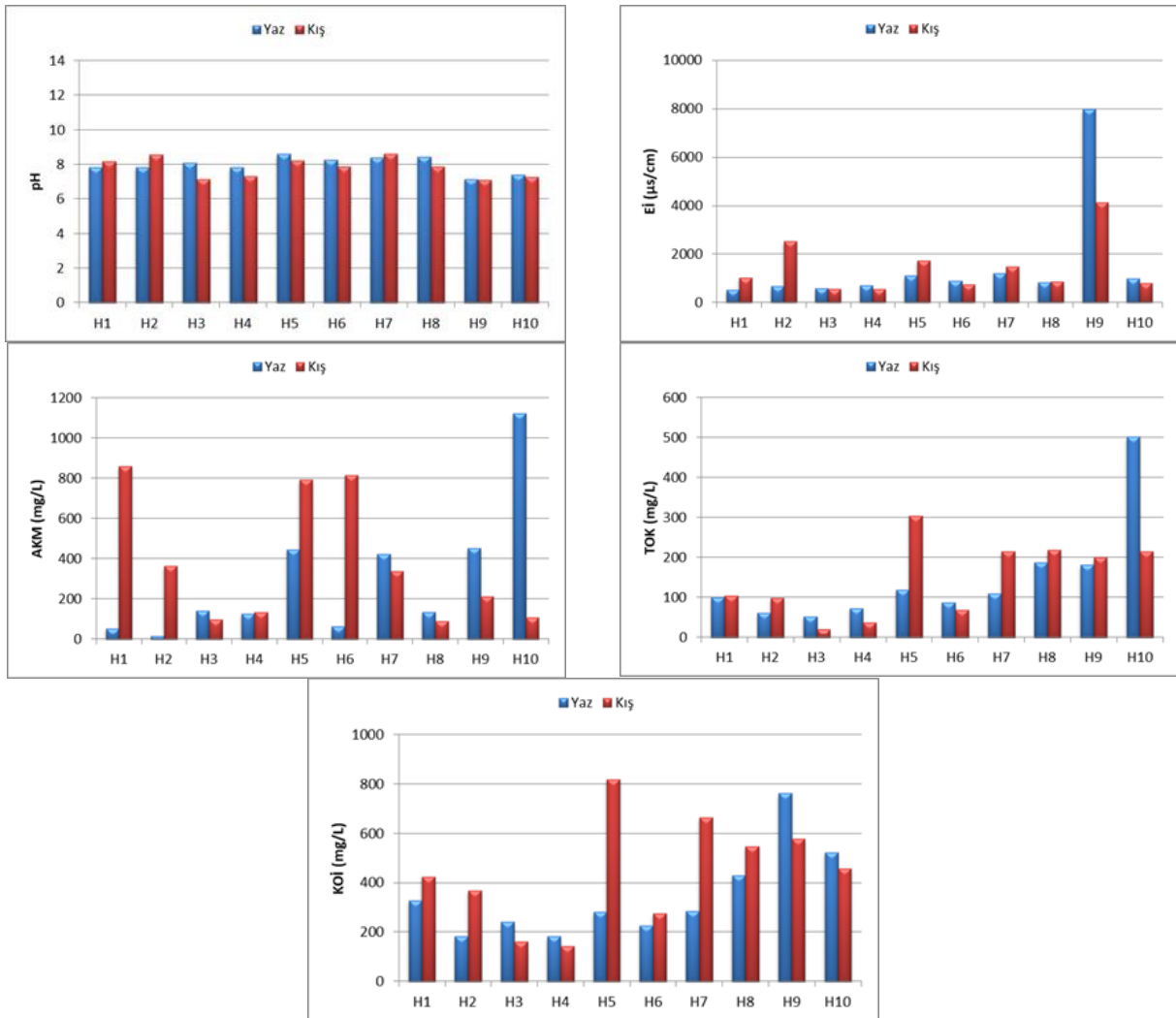
3.1 Fizikokimyasal analizlerin sonuçları

Şekil 1'de hastane atıksularının fizikokimyasal özellikleri verilmiştir. İncelenen hastanelerin pH değerleri 7.10-8.63 arasında değişmektedir. Yaz ve kış dönemlerinde ölçülen pH değerlerinde farklılık gözlenmemiştir. Eİ değerleri 525-7970 µs/cm aralığında değişmektedir. 600 adet yatak kapasitesi olan H9 hastanesinin Eİ değerinin diğer

hastanelere göre yüksek tespit edildiği görülmektedir. Hastane atıksularının AKM değerleri 18-1124 mg/L aralığında tespit edilmiştir. H1, H2, H4, H5, H6 hastanelerinin AKM değerleri yaz mevsiminde diğer hastanelerin kış mevsiminde yüksek çıkmıştır. Hastane atıksularının TOK ve KOİ değerleri sırası ile 63-502 mg/L, 143-819 mg/L aralığında tespit edilmiştir.

KOSKİ (Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi) Genel Müdürlüğü Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliğ'inde pH için 6-10, AKM için 400 mg/L, KOİ için 1000 mg/L olmak üzere limit değerler belirlenmiştir. Hastane atıksularının KOİ ve pH değerlerinin deşarj standartlarını aşmadığı, AKM değerinin ise yazın dört, kışın üç hastaneden alınan örnekte deşarj standardını aştığı görülmektedir.

Tablo 1'de hastane atıksularının literatür çalışmalarında ve bu çalışmada elde edilen fizikokimyasal özellikleri verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında literatürde tespit edilen değerler ile pH değerinin benzer olduğu, Eİ değerinin daha yüksek tespit edildiği, AKM ve KOİ değerinin literatür çalışmalarında da geniş bir aralıkta değiştiği, TOK değerinin daha yüksek tespit edildiği görülmüştür.



Şekil 1. Hastane atıksularının fizikokimyasal özellikleri

Tablo 1. Hastane atıksularının fizikokimyasal özellikleri

Atıksu türü	pH	Eİ (µS/cm)	AKM (mg/L)	TOK (mg/L)	KOİ (mg/L)	Kaynak
Hastane atıksuyu	-	-	160	-	500	[5]
Hastane atıksuyu	-	-	225	160	855	[12]
Hastane atıksuyu	7.4-8.7	-	67-339	-	375-2464	[13]
Hastane atıksuyu	7.8±0.1	-	1023±560	-	414±253	[14]
Hastane atıksuyu	8.1-8.3	1194-1455	6.1-11.1	153.3-261.2	357-490	[15]
Hastane atıksuyu, Kocaeli	8.1±0.7	-	228±65	276±155	807±325	[16]
Hastane atıksuyu, Sivas	6.3-7.6	-	49-190	-	188-535	[17]
Hastane atıksuyu, Konya	6.1-7.9	-	27-2740	-	161-1923	[18]
Hastane atıksuyu, Eskişehir	6.3-7.7	-	71-496	-	317-1786	[19]
Hastane atıksuyu, Konya	6.5-8.6	525-7970	18-1218	20-502	143-819	Bu çalışma

3.2 Ekotoksikolojik etkinin değerlendirilmesi

Vibrio fischeri, *Daphnia magna* ve *Lepidium sativum* toksisite testleri test organizmalarının duyarlılığını ve test performansının doğruluğunu kontrol etmek için farklı konsantrasyonlarda $K_2Cr_2O_7$ ile referans testler gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’de referans test sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. Referans test EC₅₀ değerleri (mg/L)

	<i>Daphnia magna</i>		<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>
	24 sa*	48 sa	30 dak**	72 sa***
$K_2Cr_2O_7$	1.85	1.20	42	14

* ISO 6342’e göre 24 h EC₅₀ kabul edilebilir aralık 0.6-2.1 mg/L. 48 sa için değer tanımlanmamıştır.

** DIN EN ISO 11348-2’ e göre 4.0 mg/L için inhibisyon %40.

*** Değer tanımlanmamıştır.

Yaz ve kış döneminde hastanelerden alınan atıksu örneklerinin EC₂₀ ve EC₅₀ değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde, *Daphnia magna* toksisite testinde yaz döneminde H6 ve H10 numaralı hastanelerde, kış döneminde H5, H8, H10 numaralı hastanelerde yüksek

toksosite görülmüştür. *Vibrio fischeri* toksisite testinde yaz döneminde H7 numaralı hastanede, kış döneminde H5 ve H8 numaralı hastanelerde yüksek toksisite tespit edilmiştir. *Lepidium sativum* toksisite testi incelendiğinde yaz döneminde H7 numaralı hastanede yüksek toksisite görülmüştür, kış için sadece iki hastane de EC₅₀ değeri tespit edilmiştir. Yaz döneminde hastane atıksuları açısından *Daphnia magna* test organizmasının daha hassas olduğu, sonrasında ise *Lepidium sativum* ve *Vibrio fischeri* test organizmalarının hassas olduğu görülmektedir. Kış döneminde ise *Daphnia magna* test organizmasının hastane atıksularından en çok etkilenen test organizması olduğu, *Vibrio fischeri* ve *Lepidium sativum* toksisite testlerinin sırasıyla onu takip ettiği görülmektedir. *Daphnia magna* toksisite testinde maruziyet süresi arttıkça toksisitenin arttığı görülmüştür. Atıksu örneklerinin EC₅₀ değerlerinden toksik birim (TB) değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$TB = 100 * (1/EC_{50}) \quad (1)$$

Elde edilen toksik birim değerleri Tablo 4’de verilen akut toksisite sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Atıksu örneklerinin EC₂₀ ve EC₅₀ değerleri

Örneklem noktaları	Yaz				Kış			
	EC ₂₀							
	<i>Daphnia magna</i>		<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>	<i>Daphnia magna</i>		<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>
	24 sa	48 sa			24 sa	48 sa		
H1	23.9	22.92	72.8	25.69	39.68	38.89	8.33	26.46
H2	28.71	11.27	87.35	25.88	36.18	37.89	12.17	43.18
H3	68.04	30.2	46.22	te	te	50	83.17	27.23
H4	38.68	61.4	15.99	89.01	te	te	67.14	59.09
H5	32.98	31.49	22.64	22.001	0.78	3.04x10 ⁻¹⁶	3.21	10.45
H6	20.3	2.62	5.97	20.88	26.48	26.48	16.42	25.5
H7	18.09	11.32	3.22	6.56	28.72	18.95	6.21	14.66
H8	19.84	12.82	4.03	16.62	10.15	3.04x10 ⁻¹⁶	4.26x10 ⁻⁵	21.16
H9	10.61	10.25	4.36	43.3	9.92	9.62	10.84	16.45
H10	1.96	0.048	25.2	98.35	3.12	1.97	8.24	te
	EC ₅₀							
	<i>Daphnia magna</i>		<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>	<i>Daphnia magna</i>		<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>
	24 sa	48 sa			24 sa	48 sa		
H1	46.75	43.9	te	te	60.15	57.43	39.88	te
H2	35.35	24.36	te	57.71	54.84	57.43	te	te
H3	te	77.72	te	te	te	100	30.19	te
H4	36.18	54.84	te	te	te	te	te	te
H5	49.99	47.74	te	47.4	2.21	0.78	9.8	36.68
H6	57.43	9.63	39.2	87.68	62.99	62.99	49.95	te
H7	27.42	20.5	14.84	16.62	35.36	28.72	37.07	42.61
H8	30.07	27.7	85.15	te	28.72	0.78	9.27x10 ⁻³	te
H9	19.57	18.57	33.19	69.42	17.68	16.87	32.77	te
H10	3.93	0.39	te	te	5.26	3.94	39.16	te

te: tespit edilmedi

Tablo 4. Akut toksisite sınıflandırması [20]

Akut toksisite sınıfı	Akut toksisite	
	TB	Toksisite
Sınıf I	Hiçbir testte toksik etki yok	Akut toksisite yok
Sınıf II	< 1	Hafif akut toksisite
Sınıf III	1 – 10	Akut toksisite
Sınıf IV	10 – 100	Yüksek akut toksisite
Sınıf V	≥ 100	Çok yüksek akut toksisite

Tablo 5. Hastane atıksularının hesaplanan TB değerleri

Örnekleme noktaları	Yaz			Kış		
	<i>Daphnia magna</i>	<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Lepidium sativum</i>
H1	2.28	0	0	1.74	2.51	0
H2	4.11	0	1.73	1.74	0	0
H3	1.29	0	0	1.00	3.31	0
H4	1.82	0	0	0	0	0
H5	2.09	0	2.11	128.21	10.20	2.73
H6	10.38	2.55	1.14	1.59	2.00	0
H7	4.88	6.74	6.02	3.48	2.70	2.35
H8	3.61	1.17	0	128.21	10787.49	0
H9	5.39	3.01	1.44	5.93	3.05	0
H10	256.41	0	0	25.38	2.55	0

Sınıf I	Sınıf III	Sınıf IV	Sınıf V
---------	-----------	----------	---------

Tablo 5’de hastane atıksularının TB değerleri verilmiştir. Akut toksisite sınıflandırılmasına göre incelendiğinde *Daphnia magna* toksisite testi için yaz döneminde bir hastanenin atıksuyu yüksek akut toksisite, bir hastanenin atıksuyu da çok yüksek akut toksisite göstermiştir, kış döneminde bir hastanenin atıksuyu yüksek akut toksisite, iki hastanenin atıksuyu da çok yüksek akut toksisite göstermiştir. *Vibrio fischeri* toksisite testinde yaz döneminde bazı hastane atıksularında akut toksisite gözlenirken, kış döneminde bir hastanede yüksek akut toksisite, bir hastanede çok yüksek akut toksisite gözlenmiştir. *Lepidium sativum* toksisite testinde yaz ve kış dönemlerinde bazı hastane atıksularının akut toksisite gösterdiği belirlenmiştir. Yaz döneminde *Vibrio fischeri* ve *Lepidium sativum* toksisite testlerinde bazı hastane atıksularında akut toksisite olmadığı, kış döneminde yapılan üç toksisite testinde de bazı hastane atıksularında akut toksisite olmadığı görülmüştür.

Aydın ve diğ., [21] Konya’da bulunan yatak kapasiteleri 194-1298 arasında olan altı hastanenin atıksularının toksisitesini incelemiştir. *Daphnia magna* toksisite testinde tüm hastanelerinin toksik etki gösterdiği, *Vibrio fischeri* toksisite testinde iki hastanenin toksik etki gösterdiği, *Lepidium sativum* toksisite testinde ise hastanelerden birinin yüksek toksisite gösterdiği belirlenmiştir. Aydın ve Kara [22] hastane atıksularının da ulaştığı Konya Atıksu Arıtma Tesisi çıkışından numune olarak *Lepites reticulatus* ile balık biyodeneji ve *Lepidium sativum* ile fitotoksisite testleri gerçekleştirmişlerdir. Atıksuyun 72 saatte balıkların yarısının ölmesine neden olan konsantrasyonu LC₅₀ %41 olarak tayin edilmiştir. *Lepidium sativum* için en yüksek atıksu konsantrasyonlarında çimlenme yüzdesi %83 olarak bulunmuştur. Czech ve diğ., [23] farmasötikleri içeren model atıksu hazırlayarak toksisite testleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçları çok toksik (EC₅₀<1mg/L); toksik (1 mg/L<EC₅₀<10 mg/L); zararlı (10 mg/L<EC₅₀<100 mg/L) sınıflandırılmasına göre değerlendirmişlerdir. *Daphnia*

magna toksisite testi için atıksuyun toksik özellikle olduğunu, *Vibrio fischeri* toksisite testi için zararlı özellikle olduğunu tespit etmişlerdir. Tang ve diğ., [24] hastane atıksularının hareketli yatak biyofilm reaktör ile arıtılmasını incelerken ham atıksuyun ve arıtılan atıksuyun toksisitesini *Vibrio fischeri* toksisite testi ile ölçmüşler ve hastane atıksuyunun arıtım verimini değerlendirmişlerdir. Ham atıksuyun % inhibisyonu %80 iken arıtımdan sonra %50 ölçülmüştür. Cruz-Morato ve diğ., [15] İspanya’da üniversite hastanesinden farklı zaman ve şartlarda aldıkları iki atıksu örneğinin toksisitesini *Vibrio fischeri* toksisite testi ile değerlendirmişlerdir. Örnek bir tanesinin de TB değeri 25, diğerinde ise 2 olarak hesaplanmıştır. TB değerlerini EPA standartlarına göre değerlendirmişler ve *Vibrio fischeri* test organizması için inceledikleri hastane atıksularının toksik kabul edildiğini belirtmişlerdir.

Literatür çalışmalarında görüldüğü gibi hastane atıksularının çevresel etkilerini ve hastane atıksuyuna uygulanan arıtmanın verimini belirlemek için toksisite testlerinde faydalanılmıştır. Literatür çalışmalarında da bu çalışmada olduğu gibi hastane atıksularının alıcı ortam için toksik etki oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

4 Öneriler

Hastane atıksuları çok çeşitli kirleticileri içerebilen atıksulardır. Toksisite testleri atıksuyun içeriğindeki tüm bileşenlerinin sebep olduğu çevresel etki ile ilgili genel bilgi sağlamaktadır. Özellikle farmasötikler gibi dirençli mikrokirleticileri içeren atıksuların toksisite testleri ile toksik etkilerinin değerlendirilmelidir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde hastane atıksularının araştırılan fizikokimyasal özelliklerinden AKM değerinin bazı hastanelerde deşarj standardını aştığı görülmüştür. Yapılan toksisite testlerinin sonuçları incelendiğinde ise hastane atıksularının ayrıştırıcılar ve birincil seviyedeki tüketiciler için yüksek akut toksisite oluşturduğu tespit edilmiştir. Hastane atıksularında bulunan mikrokirleticilerin

çevresel ortamlarda ve canlıların vücutlarında birikim gösterebileceği ve kalıcılıkları da düşünüldüğünde kronik etkilerin de detaylı araştırılması gerekmektedir. 2020 yılında ülkemizde de görülen pandemi şartlarında hastanelere başvuran hasta sayıları ve hastanelerinin doluluk oranlarındaki artış nedeni ile hastane atıksularının kirletici yükleri de artmıştır. Kanalizasyon şebekeleri ile kentsel atıksu arıtma tesislerine ulaşan hastane atıksularında bulunan öncelikli kirleticiler yeterli oranda arıtılmayıp alıcı ortamlara deşarj edilmektedirler. Alıcı ortamlardaki etkilerin belirlenebilmesi için toksisite testleri önemli ve gereklidir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanı Ödülleri (GEBİP) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %11

Kaynaklar

- [1] G. Tchobanoglous, F. L. Burton and H. D. Stensel, Wastewater engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy, Inc., McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2003.
- [2] C.A. Lutterbeck, E.N. Machado, A. Sanchez-Barrios, E.O. Silveira, D. Layton, A. Rieger and E.A. Lobo, Toxicity evaluation of hospital laundry wastewaters treated by microbial fuel cells and constructed wetlands. *Science of the Total Environment* 729, 138816, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138816>.
- [3] M. Al Aukidy, P. Verlicchi, A. Jelic, M. Petrovic and D. Barcelo, Monitoring release of pharmaceutical compounds: occurrence and environmental risk assessment of two WWTP effluents and their receiving bodies in the Po Valley. Italy. *Science of the Total Environment* 438, 15-25, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.061>.
- [4] D.I. Kern, R.O. Schwaickhardt, G. Mohr, E.A. Lobo, L.T. Kist and E.L. Machado, Toxicity and genotoxicity of hospital laundry wastewaters treated with photocatalytic ozonation. *Science of the Total Environment*, 443, 566-572, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.023>.
- [5] P. Verlicchi, A. Galletti, M. Petrovic and D. Barceló, Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of Hydrology* 389, 416-428, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.005>.
- [6] S. Aydın, M.E. Aydın, A. Ulvi and H. Kiliç, Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 544-558, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3563-0>.
- [7] S. Aydın, M.E. Aydın and A. Ulvi, Monitoring the release of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in the receiving environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 36887-36902, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06821-4>.
- [8] G. Jirová, A. Vlková, M. Wittlerová, M. Dvořáková, L. Kašparová, J. Chrz, K. Kejlová, Z. Wittlingerová, M. Zimová, B. Hošíková, J. Jiravová and H. Kolářová, Toxicity of wastewater from health care facilities assessed by different bioassays, *Neuroendocrinology Letters* 39(6), 441-453, 2018.
- [9] APHA/AWWA/WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17.ed. Washington DC, 1992.
- [10] EN ISO 11348-2, 1998, Water quality – Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emissions of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) – Part 2: Method using liquid-dried bacteria, ISO 11348-2: 1998.
- [11] M. Devare and M. Bahadır, Ecotoxicological assessment of inorganic waste disposal in salt mines, part II: Phytotoxicity tests. *Fresenius Environmental Bulletin* 3, 119, 1994.
- [12] A.J. Gautam, S. Kumar and P.C. Sabumon, Preliminary study of physico-chemical treatment options for hospital wastewater. *Journal of Environmental Management* 83, 298-306, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.03.009>.
- [13] S. Suarez, J.M. Lema and F. Omil, Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation-flocculation and flotation. *Bioresource Technology*, 100, 2138-2146, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.015>.
- [14] C.I. Kosma, D.A. Lambropoulou and T.A. Albanis, Occurrence and removal of PPCPs in municipal and hospital wastewaters in Greece, *Journal of Hazardous Materials* 179, 804-817, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.075>.
- [15] C. Cruz-Morató, D. Lucas, M. Llorca, S. Rodriguez-Mozaz, M. Gorga, M. Petrovic, D. Barceló, T. Vicent, M. Sarrà and E. Marco-Urrea, Hospital wastewater treatment by fungal bioreactor: Removal efficiency for pharmaceuticals and endocrine disruptor compounds. *Science of the Total Environment* 493, 365-376, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.117>.
- [16] A. Arslan, S. Veli and D. Bingöl, Use of response surface methodology for pretreatment of hospital wastewater by O3/UV and O3/UV/H2O2 processes, *A Separation and purification technology*, 132, 561-567, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.05.036>.
- [17] A. Altın, M. Değirmenci and S. Altın, Sivas Kentinde Bulunan Hastane Atıksularının Miktar ve Özelliklerinin Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1, 2, 33-47, 1999.
- [18] S. Sarı, Konya İli Hastane Atıksularının Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2002.
- [19] P. Gültekin, Hastane Atıksularının Karakterizasyonu, Arıtılabilirliği ve Eskişehir İline Ait Bir Örnek, Yüksek

- Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2005.
- [20] G. Persoone, B. Marsalek, I. Blinova, A. Törökne, D. Zarina, L. Manusadzianas, G. Nalecz-Jawecki, L. Tofan, N. Stepanova, L. Tothova and B. Kolar, A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. *Environmental Toxicology*, 18(6), 395-402, 2003. <https://doi.org/10.1002/tox.10141>.
- [21] S. Aydın, M.E. Aydın, F. Bedük and A. Ulvi, Toxicity of Hospital Wastewater, VI. Eurasian Conference on Civil and Environmental Engineering (ECOCEE) – Istanbul, Turkey, 17-18 June 2019.
- [22] M. Aydın and G. Kara, An Investigation on The Toxicity of Sewage, *Fresenius Environmental Bulletin*, 13 –12a, 1444 – 1448, 2004.
- [23] B. Czech, I. Joško and P. Oleszczuk, Ecotoxicological evaluation of selected pharmaceuticals to *Vibrio fischeri* and *Daphnia magna* before and after photooxidation process. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 247-253, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.024>.
- [24] K. Tang, A. Spiliotopoulou, R.K. Chhetri, G.T.H. Ooi, K.M.S. Kaarsholm, K. Sundmark, B. Florian, C. Kragelund, K. Bester and H.R. Andersen, Removal of pharmaceuticals, toxicity and natural fluorescence through the ozonation of biologically-treated hospital wastewater, with further polishing via a suspended biofilm, *Chemical Engineering Journal* 359, 321-330, 2019. <https://doi.org/10.3390/w12041059>.

