

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI FİLTRE MALZEMELERİNİN EVSEL ATIK
SULARDAN BESİN ELEMENTİ VE AĞIR METAL
GİDERİM PERFORMANSI**

**Hazırlayan
Furkan Ömer KANARYA**

**Danışman
Prof. Dr. Zeki GÖKALP**

Doktora Tezi

**Mart 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI FİLTRE MALZEMELERİNİN EVSEL ATIK
SULARDAN BESİN ELEMENTİ VE AĞIR METAL
GİDERİM PERFORMANSI
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Furkan Ömer KANARYA**

**Danışman
Prof. Dr. Zeki GÖKALP**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FDK-2020-10126 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Mart 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Furkan Ömer KANARYA

“Farklı Filtre Malzemelerinin Evsel Atık Sulardan Besin Elementi ve Ağır Metal Giderim Performansı” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Furkan Ömer KANARYA

Danışman

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, öğrencisi olmaktan onur duyduğum saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Zeki GÖKALP'e, tezimin her aşamasında tecrübelerinden faydalandığım ve yönlendirmelerde bulunan Tez İzleme Komitesi üyeleri Doç. Dr. Serkan ŞAHAN ve Doç. Dr. Selçuk Emre GÖRKEM'e, kıymetli vakitlerini ayırarak tez savunma jürisinde bulunan Prof. Dr. Sedat KARAMAN ve Doç. Dr. İsmail TAŞ'a, laboratuvar çalışmalarım sürecinde hem bilgilerinden hem de tecrübelerinden faydalandığım kıymetli hocalarım Doç. Dr. Adem GÜNEŞ, Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN, Arş. Gör. Yusuf Murat KEÇE ve Ziraat Yüksek Mühendisi Sultan GÜNEŞ'e, doktora sürecinde kendi tecrübelerini her fırsatta aktaran farklı bakış açıları ile beni hep doğru yönlendirmeye çalışan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Satı UZUN, Doç. Dr. İsmail ÜLGER, Dr. Öğr. Üyesi Hamdi ÖZAKTAN, Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ali İRİK ve Dr. Öğr. Üyesi Mahmut KALİBER'e, geride bıraktığım zorlu süreçte her zaman yanımda olan kıymetli KANARYA ailesine ve Mete Han'dan Sultan Alparslan'a, Fatih Sultan Mehmet Han'dan Mustafa Kemal ATATÜRK'e yaşadığımız toprakları bizlere yurt kılan, yanlarında kanlarını döken ve canlarını veren isimlerini bildiğimiz ve bilmediğimiz tüm şehit ve gazilerimize teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FDK-2020-10126) teşekkür ederim.

Furkan Ömer KANARYA

Kayseri, Mart 2022

FARKLI FİLTRE MALZEMELERİNİN EVSEL ATIK SULARDAN BESİN ELEMENTİ VE AĞIR METAL GİDERİM PERFORMANSI

Furkan Ömer KANARYA

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Mart 2022
Danışman: Prof. Dr. Zeki GÖKALP**

ÖZET

Ağır metaller hem çevreyi hem de canlı varlığını tehdit eden elementlerdir. Su kaynaklarında bulunduklarında ise özellikle tarımsal sulama ile tarımsal ürünlere bulaşarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedirler. Atık suların arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmemesi gerekmektedir. Atık suların kırsal alanlarda arıtılabilmeleri için düşük maliyetleri sebebiyle yapay sulak alanlar inşa edilmektedir. Bu alanlar bünyelerinde bulundurdıkları sucul bitkiler ve filtre materyalleri ile atık sulardan çeşitli kirleticileri uzaklaştırmaktadır. Yürütülen bu çalışmada ise filtre materyali olarak kullanılabilme olanağı olan zeolit ve pumis materyalinin atık sulardan farklı ağır metallerin (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) giderilme etkinlikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma yapay sulak alanları temsilen pilot ölçekli olarak kolon denemeleri şeklinde yürütülmüştür. Çalışmada materyaller yalın halleri ile her bir deneme için 100 cm³ hacimde kullanılmıştır. Çalışma, materyallerin etkinliklerini daha sağlıklı bir biçimde tespit edebilmek amacıyla farklı pH derecesine sahip atık sular (5 ve 7), farklı akış hızları (2.5, 5.0 ve 10 ml/dk), farklı derişime sahip sentetik atık sular (10, 25 ve 50 ppm), farklı örnekleme zamanları (3., 6., 12., 24. ve 48. saatler) kullanılarak 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Farklı örnekleme zamanlarında elde edilen süzüklerde pH, EC ve ağır metal tayini yapılmıştır. Çalışma ve analizler Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği ile Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düşük pH koşullarında ve kısa süreli işlemlerde pumis materyalinin daha etkin olacağı belirlenirken hem düşük hem de yüksek pH koşullarında uzun süreçli arıtma işlemlerinde zeolit materyalinin kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zeolit, pumis, ağır metal, kolon denemeleri

NUTRIENT AND HEAVY METAL REMOVAL PERFORMANCE OF FROM DIFFERENT SUBSTRATE MATERIALS FROM WASTEWATERS

Furkan Ömer KANARYA

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, March 2022

Supervisor: Prof. Dr. Zeki GÖKALP

ABSTRACT

Heavy metals pose serious threats on both the environment and living things. When they were found in water resources, they affect human health negatively by contaminating agricultural products, especially with agricultural irrigation. Wastewater should not be discharged into receiving environments without treatment. Just because of low construction, operation and maintenance costs, constructed wetlands are built for wastewater treatments in rural areas. Constructed wetlands remove various pollutants from wastewaters with the aquatic plants and substrate materials. Present thesis was conducted to determine heavy metal (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn) removal efficiency of zeolite and pumice substrate materials (100 cm³) from wastewaters. Filter column tests were run under different pH (5 and 7) levels, flow rates (2.5, 5.0 and 10 ml/min), synthetic wastewater concentrations (10, 25 and 50 ppm) and sampling times (3rd, 6th, 12th, 24th and 48th hours) in 3 replications. Resultant leachates were subjected to pH, EC and heavy metal analyses. Analyzes were carried out in the laboratories of Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering and Soil Science and Plant Nutrition. Present findings revealed that pumice material would be more effective at low pH conditions and in short-term treatments, while it was determined that zeolite material could be used in long-term treatment processes at both low and high pH conditions.

Keywords: Zeolite, pumice, heavy metal, column studies

İÇİNDEKİLER

FARKLI FİLTRE MALZEMELERİNİN EVSEL ATIK SULARDAN BESİN ELEMENTİ VE AĞIR METAL GİDERİM PERFORMANSI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Doğal Sulak Alanlar	3
1.2. Yapay Sulak Alanlar	4
1.2.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alanlar	6
1.2.2. Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alanlar.....	7
1.3. Filtre Malzemeleri.....	8
1.3.1. Zeolit.....	9
1.3.2. Pumis	9
1.4. Sularda Bulunan Kirleticiler.....	10
1.4.1. Kadmiyum	11
1.4.2. Kobalt.....	11
1.4.3. Krom	11
1.4.4. Bakır	11
1.4.5. Mangan	12
1.4.6. Nikel.....	12
1.4.7. Kurşun.....	12
1.4.8. Çinko	13
1.5. Kolon Denemeleri.....	13

2. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal.....	20
2.2. Metod.....	24
2.2.1. Numune Alma.....	24
2.2.2. pH Tayini	24
2.2.3. EC Tayini	24
2.2.4. Ağır Metal Tayini.....	24

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. pH Değerinin Arıtma İşlemi Esnasında Uğradığı Değişim	26
3.2. EC ($\mu\text{S/cm}$) Değerinin Arıtma İşlemi Esnasında Uğradığı Değişim.....	33
3.3. Ağır Metallerin Arıtma İşlemi Esnasında Uğradığı Değişim.....	40
3.3.1. Kadmiyum (Cd).....	40
3.3.2. Kobalt (Co)	50
3.3.3. Krom (Cr)	59
3.3.4. Bakır (Cu)	63
3.3.5. Mangan (Mn).....	73
3.3.6. Nikel (Ni).....	78
3.3.7. Kurşun (Pb)	87
3.3.8. Çinko (Zn).....	92

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar	101
4.2. Öneriler	101
KAYNAKÇA	103
ÖZGEÇMİŞ.....	110

KISALTMALAR VE SİMGELER

%	: Yüzde
mg	: Miligram
g	: Gram
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
m ²	: Metrekare
ha	: Hektar
ppm	: Milyonda bir (parts per million)
ml	: Mililitre
L	: Litre
cm ³	: Santimetreküp
m ³	: Metreküp
dk	: Dakika
sa	: Saat
cal	: Kalori
pH	: Hidrojenin gücü (power of hydrogen)
EC	: Elektriksel iletkenlik (electrical conductivity)
°C	: Santigrad derece
ICP-OES	: İndüksiyonla Birleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektrometresi (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry)
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko

Si	: Silisyum
O	: Oksijen
Al	: Alüminyum
Fe	: Demir
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
K	: Potasyum
B	: Bor
NH ₃	: Amonyak
NH ₄	: Amonyum
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli	1
Tablo 1.2.	Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar için tasarım parametreleri	7
Tablo 1.3.	Yüzey altı akışlı sistemler için tasarım parametreleri.....	8
Tablo 2.1.	Zeolitin fiziksel özellikleri.....	20
Tablo 2.2.	Zeolitin kimyasal bileşimi	20
Tablo 2.3.	Zeolitin element içerikleri.....	21
Tablo 2.4.	Pumisin Fiziksel Özellikleri.....	21
Tablo 2.5.	Pumisin Kimyasal Bileşimi	21
Tablo 2.6.	Pumisin Element İçerikleri	21
Tablo 3.1.	Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 5 iken arıtılma esnasındaki pH değişimleri	27
Tablo 3.2.	Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 7 iken arıtılma esnasındaki pH değişimleri	28
Tablo 3.3.	Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 5 iken arıtılma esnasındaki EC değişimleri.....	34
Tablo 3.4.	Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 7 iken arıtılma esnasındaki EC değişimleri.....	35
Tablo 3.5.	Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	42
Tablo 3.6.	Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	43
Tablo 3.7.	Farklı uygulamalarla Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%).....	48
Tablo 3.8.	Farklı uygulamalarla Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%).....	49
Tablo 3.9.	Kobalt (Co) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	51
Tablo 3.10.	Kobalt (Co) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	52
Tablo 3.11.	Farklı uygulamalarla Kobalt (Co) metalinin pH derecesinin 5 iken giderim performansı (%).....	57

Tablo 3.12. Farklı uygulamalarla Kobalt (Co) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)	58
Tablo 3.13. Krom (Cr) metalinin arıtma işlemi esnasındaki değişimleri.....	60
Tablo 3.14. Farklı uygulamalarla Krom (Cr) metalinin giderim performansı (%)	63
Tablo 3.15. Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	65
Tablo 3.16. Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	66
Tablo 3.17. Farklı uygulamalarla Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)	71
Tablo 3.18. Farklı uygulamalarla Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)	72
Tablo 3.19. Mangan (Mn) metalinin arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	74
Tablo 3.20. Farklı uygulamalarla Mangan (Mn) metalinin giderim performansı (%)..	77
Tablo 3.21. Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	79
Tablo 3.22. Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	80
Tablo 3.23. Farklı uygulamalarla Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)	85
Tablo 3.24. Farklı uygulamalarla Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)	86
Tablo 3.25. Kurşun (Pb) metalinin arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	88
Tablo 3.26. Farklı uygulamalarla Kurşun (Pb) metalinin giderim performansı (%)	91
Tablo 3.27. Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	93
Tablo 3.28. Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri	94
Tablo 3.29. Farklı uygulamalarla Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)	99
Tablo 3.30. Farklı uygulamalarla Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)	100

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Doğal sulak alan.....	3
Şekil 1.2.	Yapay sulak alanların tasarımı.....	5
Şekil 1.3.	Türkiye’deki zeolit maden yatakları	9
Şekil 1.4.	Türkiye’deki pumis (pomza) maden yatakları.....	10
Şekil 2.1.	Çalışmada kullanılan düzenek	22
Şekil 2.2.	Çalışmada kullanılan zeolit ve pumis materyalleri.....	22
Şekil 2.3.	Çalışmada kullanılan zeolit ve pumisin gözenekli yapısına ilişkin SEM görüntüleri.....	23
Şekil 2.4.	Çalışmada kullanılan peristaltik pompa.....	23
Şekil 2.5.	Çalışmada kullanılan pH ve EC metre.....	25
Şekil 3.1.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı pH değişimi.....	29
Şekil 3.2.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı pH değişimi.....	30
Şekil 3.3.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı pH değişimi.....	31
Şekil 3.4.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı pH değişimi.....	32
Şekil 3.5.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı EC değişimi	36
Şekil 3.6.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı EC değişimi	37
Şekil 3.7.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı EC değişimi	38
Şekil 3.8.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı EC değişimi	39
Şekil 3.9.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cd değişimi.....	44
Şekil 3.10.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cd değişimi.....	45

Şekil 3.11.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cd değişimi	46
Şekil 3.12.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cd değişimi	47
Şekil 3.13.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Co değişimi	53
Şekil 3.14.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Co değişimi	54
Şekil 3.15.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Co değişimi	55
Şekil 3.16.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Co değişimi	56
Şekil 3.17.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cr değişimi.....	61
Şekil 3.19.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cu değişimi	67
Şekil 3.20.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cu değişimi	68
Şekil 3.21.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cu değişimi	69
Şekil 3.22.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cu değişimi	70
Şekil 3.23.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Mn değişimi	75
Şekil 3.24.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Mn değişimi	76
Şekil 3.25.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Ni değişimi.....	81
Şekil 3.26.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Ni değişimi.....	82
Şekil 3.27.	Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Ni değişimi.....	83

Şekil 3.28. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Ni değişimi.....	84
Şekil 3.29. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Pb değişimi	89
Şekil 3.30. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Pb değişimi	90
Şekil 3.31. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Zn değişimi	95
Şekil 3.32. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Zn değişimi	96
Şekil 3.33. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Zn değişimi	97
Şekil 3.34. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Zn değişimi	98

GİRİŞ

Su, alternatifi ya da ikamesi olmayan ve yeryüzündeki miktarı değişmeyen vazgeçilemez bir kaynaktır. Yeryüzünün %70'inin su olduğu bilinmekle beraber canlılığın devamı için suya ihtiyaç vardır. Okyanuslar tuzlu su kaynakları olup insanoğlunun hayatını devam ettirebilmesi için tatlı su kaynaklarına ihtiyacı bulunmaktadır. Yeryüzündeki toplam su varlığının yaklaşık %0,5'ini tatlı su kaynakları oluşturmaktadır. Ülkemizin su kaynakları ise Tablo 1.1'de verilmiştir. Ülkemiz nüfusunun 84 milyon olduğu gerçeği ile bu rakamlara göre ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su varlığı yaklaşık 1 300 m³ olmaktadır. Bu değerlere bakılarak ülkemizin su azlığı çeken ülkeler arasında olduğu gerçeğiyle yüz yüzeyiz. Yıllık kullanılabilir toplam su varlığımızın 57 milyar m³'ü kullanılabilirken 44 milyar m³'ü yani yaklaşık %78'i tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Artan dünya nüfusunun etkisi ile insanoğlunun ihtiyaç duyduğu gıdalara olan gereksinimi de artmaktadır. Tarımsal üretiminde bu ihtiyaçları karşılayabilmek adına arttırılacağı ve tarımsal sulamada kullanılan su kaynaklarının artacağı gerçeğiyle tüm dünya karşı karşıyadır. Tüm bu veriler ışığında su kaynaklarımızın korunması gerektiğinin anlaşılmasının yanı sıra mevcut su kaynaklarımızın yeniden kullanılabilmesi oldukça önem arz etmektedir (Kadlec ve Knight, 1996; Bulut, 2021; DSİ, 2021).

Tablo 1.1. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli

Yıllık ortalama yağış	574 mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577 km ²
Yıllık yağış miktarı	450 milyar m ³
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m ³
Kullanılabilir yüzey suyu	94 milyar m ³
Yıllık çekilebilir su miktarı	18 milyar m ³
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112 milyar m ³
Sulama Suyu	44 milyar m ³
İçme-Kullanma ve Sanayi Suyu	13 milyar m ³

Kullanılan su kaynakları atık su olarak nitelendirilmektedir. Atık sular deşarj edildikleri ortamların fiziksel, kimyasal ve ekolojik özelliklerini değiştirmemeleri için arıtılmak zorundadırlar (SKKY,2004). Su kaynaklarının yeniden kullanılabilmesi için çeşitli arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler fiziksel prosesler (havalandırma, elek, filtre), biyolojik prosesler (anaerobik arıtma, oksidasyon), kimyasal prosesler (nötralizasyon, dezenfeksiyon, flokülasyon) ve membran (filtrasyon, osmoz) proseslerdir (Canpolat, 2019). Ülkemizde ise arıtma faaliyetlerini belediyeler yürütmektedir. Kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 5 milyar m³ atık suyun 4.4 milyar m³'ü atık su arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Atık suların %50.7'si gelişmiş, %27.1'i biyolojik, %21.9'u fiziksel ve %0.3'ü doğal arıtma sistemleri ile arıtılmaktadır. Arıtılan atık suların %46.4'ü akarsuya, %42.8'i denize, %3'ü baraja, %1.2'si göl-gölete, %0.3'ü araziye ve %6.2'si diğer alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Belediyeler tarafından arıtılan atık suyun %1.6'sının sanayi, tarımsal sulama vb. alanlarda yeniden kullanıldığı belirtilmiştir (TÜİK, 2021).

Nüfus yoğunluğunun fazla olmadığı ve yüksek maliyetli yatırımlar yapılarak konvansiyonel arıtma tesislerinin inşa edilemediği durumlarda kırsal alanlarda meydana gelen atık suların arıtılması için hem yatırım maliyeti düşük hem de ekosisteme zarar vermeden doğal arıtma sistemleri inşa edilmektedir. Yapay sulak alanlar olarak da adlandırılan bu sistemler atık suların arıtılması için özel olarak tasarlanıp inşa edilen doğal sulak alanlara benzer sistemlerdir (Gökalp ve Çakmak, 2015).

Atık suların arıtılabilmesi için özel olarak inşa edilen bu yapay sulak alanlarda arıtma süreçleri farklı materyaller kullanılarak adsorpsiyon ve alan üzerinde yeşil aksama sahip saz bitkileri vasıtası ile besin elementleri giderimi şeklinde gerçekleşmektedir. Yapay sulak alanlarda filtre malzemesi olarak yaygınlıkla kum ve çakıl kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde farklı filtre materyalleri kullanılarak bu sistemlerin etkinliğinin artırılabilieceği ön görülmüştür (Kanarya, 2018; Gökalp ve Kanarya, 2019a; Gökalp ve Kanarya, 2019b; Uzun ve ark., 2021). Bu nedenle ülkemizde bolca bulunan pumis ve zeolit materyalleri tercih edilerek bu malzemelerin atık sulardan ağır metal giderim etkinlikleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Doğal Sulak Alanlar

Doğal sulak alanlar zengin ve üretken ekosistemler olup diğer ekosistemlere kıyasla oldukça fazla işlev ve değere sahip doğal sistemlerdir. Orman ve Su İşleri Bakanlığının belirlediği tanımda ise sulak alanlar; yapay veya doğal, suları akıntılı ya da durgun, geçici ya da devamlı, tatlı, tuzlu ya da acı, denizlerin gelgit hareketlerinin çekilme evresinde 6 m'yi geçmeyen derinlikleri kapsayacak, başta su kuşları olmak üzere canlıların yaşama ortamı olarak önem taşıyan bütün sazlık, bataklık, turbiyeler gibi sulak alanlar ile bu alanların çevresel açıdan kıyı kenar çizgisinden kara tarafına doğru sulak alanda kalan alanları kapsamaktadır (Şekil 1.1) (Anonim, 2005).



Şekil 1.1. Doğal sulak alan

Sulak alana giriş yapan besin maddeleri vejetasyonun gelişmesine destek olurken, sulak alanlardaki besin zincirini meydana getiren bitkiler de inorganik maddeleri parçalayarak organik maddelere dönüştürürler. Biyolojik çeşitlilikleri sebebiyle yeryüzünün doğal zenginliği olarak kabul gören sulak alanlar; doğal işlevleri ve ekonomik değerleriyle

dünyanın en önemli ekosistemleri olup, sağladıkları faydalar ise aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Ayvaz, 2005);

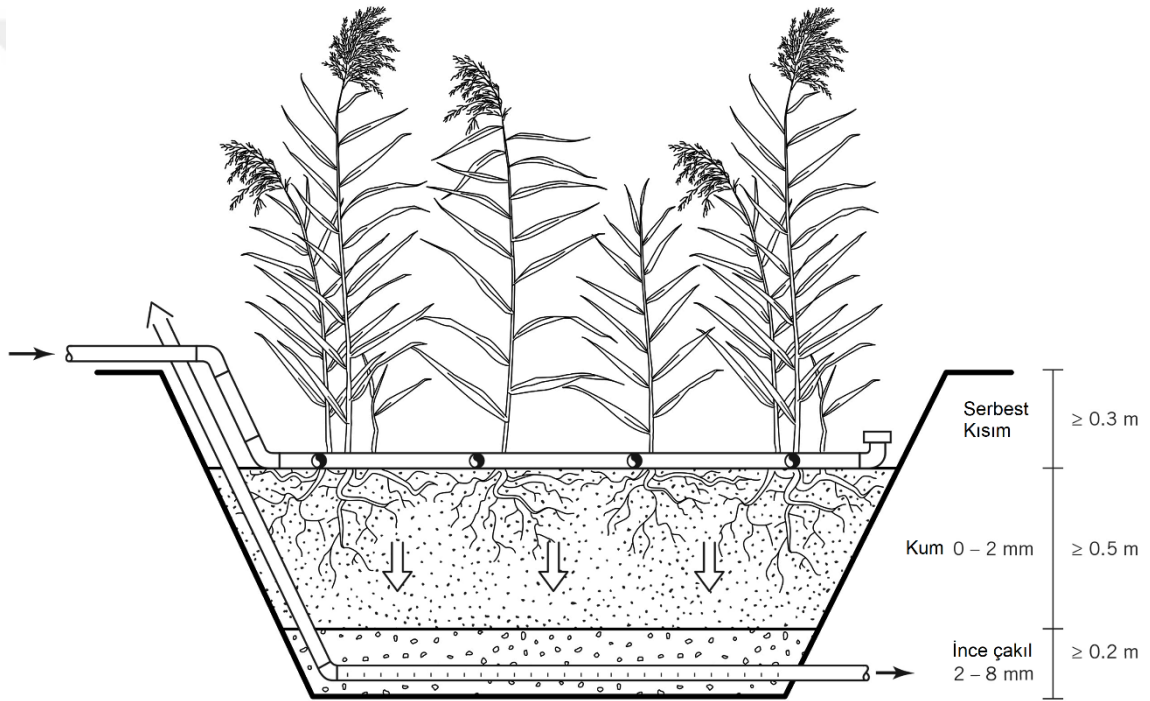
- Sulak alanlar, yeraltı sularından beslenerek ya da yeraltı sularını besleyerek, taban sularını dengelemektedirler. Taşkın sularına depo vazifesi görerek, taşkın sularını kontrol ederler. Kıyılarda ise deniz sularının girişlerine engel olarak bölgedeki su rejimini düzenlemektedirler.
- Bulundukları bölgelerde mevcut nem oranını arttırmaya yardımcı olurlar, sıcaklık ve yağışlar üzerinde olumlu etkiye sahiptirler.
- Zehirli maddeleri, tortuları ve besin elementlerini (fosfor, azot gibi) kullanarak suların arıtılmasına yardımcı olurlar.
- Tropikal ormanların yanı sıra yeryüzünde en fazla biyolojik üretim sağlayan alanlardan birisidir.
- Ekonomik olarak yüksek değere sahiptirler. Hayvancılık, tarım, saz bitkisi üretimi, balıkçılık ve turizm imkânlarıyla bulundukları bölgenin ekonomisine katkı sağlamaktadırlar.

Su kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalarda doğal sulak alanların etkinliği ve çeşitli alanların korunmaları konusunda tartışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda doğal sulak alanların atık suları arıtma performanslarının yüksek olduğu gözlemlense de (Knight ve ark., 1987; Kadlec ve Knight 1996; Mander ve Mairing 1997) doğal sulak alanların korunmaları da bazı sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar; atık sularda bulunan patojenler ve toksik maddelerin zararlı yan etkileri ile atık sularla bu sulak alanlara verilen ek besin elementi ve hidrolik yüklemelerin sebep olabileceği uzun vadeli bozulmalardır. Bu kaygılardan dolayı atık su arıtımında doğal sulak alanları taklit eder biçimde tasarlanan yapay sulak alanlara yönelik çalışmalar artmaya başlamıştır.

1.2. Yapay Sulak Alanlar

Doğal sulak alanların tarihçeleri incelendiğinde yaygın şekilde atık suların deşarj alanları olduğu görülmektedir. İnsan nüfusunun artması sonucu meydana gelen atık sulardaki artış su kaynaklarının yeniden kullanılabilme olanaklarını gündeme getirmiştir. Konvansiyonel arıtma tesislerinin tasarımları ve inşaları ile bu sistemlerin yüksek

kurulum maliyetleri, yüksek enerji ihtiyaçları ve kalifiye eleman sorunları da beraberinde meydana gelmiştir. Tüm bu sebepler işletmeleri kurulum ve bakım maliyetlerini düşürmeye itmiştir. Bu nedenle doğal sulak alanlar örnek alınarak ve yeniden tasarlanarak atık suların arıtılabilmesi için uygun hale getirilerek yapay sulak alanlar oluşturulmuş ve inşa edilmeye başlanılmışlardır (Kadlec ve Knight, 1996). Özellikle 1980'li yıllardan itibaren Amerika Birleşik Devletleri'nde yapay sulak alan (Şekil 1.2) inşaatları oldukça hız kazanmıştır (EPA, 1999). Yapay sulak alanlardan 1 m³ gri suyun arıtılabilmesinin maliyeti ise yaklaşık 0,4 \$ olarak belirlenmiştir (Abdelhay ve Abunaser, 2021). Bu nedenle konvansiyonel arıtma sistemlerinden oldukça avantajlı hale gelmişlerdir.



Şekil 1.2. Yapay sulak alanların tasarımı

Genel olarak yapay sulak alanların tasarımları doğal sulak alanların taklidi şeklinde olup su kalitesini arttırmaya yönelik en etkili yönlerinin ön plana çıkarıldığı süreçtir. Aktif şekilde çalışabilen yapay sulak alan tasarımları için aşağıdaki unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır (EPA, 1995);

- Tasarımları imkanlar ölçüsünde basit olmalıdır, karmaşık veya teknolojik yaklaşımlar başarısız sonuçlara meydan verebilmektedir.
- Olabildiğince bakım gereksinimi olmayacak veya minimum bakım ihtiyacına göre tasarımları yapılmalıdır.

- Enerji maliyeti olmadan mümkünse cazibe ile akış kullanılabilecek şekilde tasarımları yapılmalıdır.
- Olağanüstü iklim ve hava koşullarına uygun tasarımları yapılmalıdır.
- Doğal peyzaj ve topografyayla uyumlu bir tasarım yapılmalıdır.
- Dikdörtgen yapıda, keskin köşeli havuzlar ve kanallar gibi tasarımlar kullanılarak mühendislik gerektiren yapılarından uzak durarak imkanlar doğrultusunda doğal yapılar taklit edilmeye çalışılmalıdır.

Yapay sulak alanlar farklı şekillerde tasarlanabilir. Arzu edildiği takdirde bitkisiz tasarımlara da gidilebilir. Bu sistemler ya serbest yüzey akışlı ya da yüzey altı akışlı olarak tasarlanmaktadır. Yüzey altı akışlı olanlarda akış rejimine bağlı olarak yatay veya düşey akışlı şekilde inşa edilmektedirler.

1.2.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alanlar

Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar açık su yüzeyi ile üzerinde bitki yetişen ve doğal sulak alanlara oldukça benzer sistemlerdir. Sığ bir havuz içerisinde sucul bitkilerin yetişebileceği, kökleri destekleyecek şekilde toprak veya benzer filtre malzemeleri ile havuz içerisinde su seviyesini kontrol etmeye yönelik yapılardan oluşan sistemlerdir. Bu sistemler doğal bataklıklara benzer sistemler olup doğal yaşam alanları da sunabilmektedirler. Havuz içerisindeki su yüzeyi atmosfere açık ve filtre malzemesinin üzerinde bulunmaktadır (Shutes ve ark., 2002).

Bu yapay sulak alan sistemlerinde aerobik ve anaerobik süreçler aynı havuz içerisinde gerçekleşmektedir. Dip kısımlar ve filtre malzemesi içerisinde anaerobik süreçler gerçekleşirken yüzeye yakın kesimlerde oksijen varlığından dolayı aerobik süreçler gerçekleşmektedir. Yatırım masrafları oldukça düşük olup enerji gerektirmediğinden dolayı işletme masrafları oldukça azdır. Fakat diğer yapay sulak alan sistemlerine ve konvansiyonel arıtma sistemlerine kıyasla çok daha fazla alan gerektirmesi bu sistemlerin en belirgin dezavantajı olarak görülebilir. Bu sistemlere ilişkin tasarım parametreleri ise Tablo 1.2’de verilmiştir (EPA, 1999).

Tablo 1.2. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar için tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	Kriter
Giren akış kalitesi	BOİ ≤ 20 – 30 mg/L AKM ≤ 20 – 30 mg/L
Ön işlem	Oksidasyon havuzları
Tasarım akışları	Q _{maks} (maksimum aylık akış) Q _{ort} (ortalama akış)
Maksimum BOİ yüklemesi	20 mg/L : 45 kg/ha-gün 30 mg/L : 50 kg/ha-gün
Maksimum AKM yüklemesi	20 mg/L : 45 kg/ha-gün 30 mg/L : 50 kg/ha-gün
Su derinliği	0.6 – 0,9 m (Tümüyle bitkili kısımlar) 1.2 – 1,5 m (Açık su kesimleri) 1.0 m (Giriş çökeltme bölgesi)
Maksimum HBS	2 gün (Tümüyle bitkili kısımlar) 2 – 3 gün (Açık su yüzeyleri)
Havuz geometrisi	Optimum 3:1 – 5:1
Giriş çökeltim bölgesi	Ön işlem çökeltimde başarısızsa
Giriş	Havuz giriş bölgesinde üniform dağıtım
Çıkış	Havuz çıkış bölgesinde üniform toplama

1.2.2. Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alanlar

Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar giriş yapısı, kil ya da sentetikten yapılmış olan geçirimsiz bariyer, havuzun içinde farklı boyutlarda sıralanmış filtre malzemesi ve içine ekili durumda sucul bitkilerle çıkış yapısı ile su seviyesi kontrol düzeneği bulunan yapılarından oluşmaktadır. Bu alanların bir kısmı sürekli ve doymuş koşullarda yatay akış içerirken, bir kısmı da düşey yönlü akış içermektedir. Bu alanlar bitkilendirerek ya da bitkilendirmeden kullanılabilir. Bu alanda çalışmalar yürüten araştırmacılar ise sistemlerdeki bitkilendirmenin performans üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir (EPA, 1993; EPA, 1995; EPA, 1999).

Yüzey altı yatay akışlı sistemlerde fosseptikten cazibe ile sürekli besleme, yüzey altı düşey akışlılarda gerek sistem içine atık su dağıtımı gerekse filtre malzemesinden geçen atık suyun toplanması için belirli aralıklarla yerleştirilmiş bir boru ağı ve pompa ile çalıştırılan kesikli bir besleme kullanılmaktadır (EPA, 1995). Bu sistemlerde kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik tasarım parametreleri ise Tablo 1.3'te verilmiştir (EPA, 1999).

Tablo 1.3. Yüzey altı akışlı sistemler için tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	Kriter
BOİ	6 g/m ² -gün – 30 mg/L giriş için
AKM	20 g/m ² - gün – 30 mg/L giriş için
Derinlik	Dolgu malzemesi: 0.5-0.6 m Su: 0.4-0.5 m
Uzunluk	En az 15 m
Genişlik	En fazla 61 m
Taban eğimi	%0.5 – 1
Üst eğim	Düz veya düze yakın
Hidrolik iletkenlik	Uzunluğun ilk %30'u için 1000 mm/gün Uzunluğun son %70'i için: 10 000 mm/gün
Dolgu malzemesi	Giriş bölgesi: 40-80 mm İşlem bölgesi: 20-30 mm Çıkış bölgesi: 40-80 mm Bitkilendirme kısmı: 5-20 mm

Sanılanın aksine dünyada da oldukça fazla sayıda yapay sulak alan bulunmaktadır. Yapılan literatür araştırmaları ile erişilebilen rakamlar neticesinde Avusturya'da 5450 (Langergraber ve Weissenbacher, 2017), Almanya'da yaklaşık 5000 (Masi, 2005), Fransa'da 4000'den fazla (Delgado-Gonzales ve ark., 2021), İngiltere'de yaklaşık 800, Danimarka ve İtalya'da 300 adet (Masi, 2005) ve ülkemizde ise 192 adet (ÇŞİDB, 2022) yapay sulak alan inşa edildiği tespit edilmiştir. Yalnızca bu ülkelerle sınırlı kalmayıp Çekya'da, Norveç'te, Polonya'da, Portekiz'de ve bazı Orta Asya ülkelerinde inşa edildikleri de tespit edilmiştir (Vymazal, 1998; Masi, 2005; Vymazal, 2005; Özen, 2006; Suliman ve ark., 2006; Sovik ve Klove, 2007; Vymazal, 2007).

Tüm bu yapay sulak alanlarda atık suların arıtılabilmesi için bitkilendirmenin yanı sıra filtre materyallerinin de yadsınamaz bir etkisi vardır. Yürütülen bu çalışmada yapay sulak alanlarda kullanılan yıkanmış ırmak kumu yerine farklı filtre materyallerinin atık su arıtımında etkinliklerinin olup olmadığı amaçlanmıştır. Bu nedenle ülkemizde oldukça bol miktarda bulunan zeolit ve pumis madenlerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

1.3. Filtre Malzemeleri

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde yapay sulak alanlarda çeşitli filtre materyallerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Çakıl, çeltik kavuzu, deniz kabuğu, fırın cürufu, kalsit, kireç taşı, kömür, kum, polonit, pumis, seramik, vermikülit, wollastonit ve

zeolit bu materyaller arasında yer almaktadır. Yürütülen çalışmada ise zeolit ve pumis materyalleri kullanılmıştır.

1.3.1. Zeolit

Zeolit, adsorban ve katalizör olarak yaygın şekilde kullanılabilen ve mikro gözeneklere sahip volkanik kayaç kökenli kristal yapıda hidrasyona uğramış alüminyum silikatlardır. Kompozisyonlarına göre 42 farklı zeolit türü bulunmaktadır (Altan ve ark., 2018; Anonim, 2021). Zeolit kelimesinin ilk kullanımı ise İsveçli mineralog Cronstedt'e ait olup 1756 yılından beri kullanılmaktadır (Coombs ve ark., 1998). Ülkemizde bulunan zeolit maden yatakları Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

Zeolitler; tarımda toprak düzenleyici, gübre katkısı, su tutucu ve havalandırma amaçlı, bitki üretiminde yetiştirme ortamı olarak, peyzaj ve bahçe düzenlemesinde, hayvancılıkta yem katkı maddesi ve hayvan altlığı olarak, arıtmada mekanik ve kimyasal filtrelemede, toksik atıkların tutulmasında, havuz ve spalarda filtre malzemesi amacıyla, akvaryum malzemesi, kedi kumu, temizlik malzemelerinde, tekstil sektöründe, kağıt ve enerji sektöründe, sağlık alanında toksin bağlayıcı olarak, su ürünleri yetiştiriciliği ve kimya alanında katalizör olarak kullanımının yanı sıra atık ve kullanma suyu arıtımında da çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler (Çağın ve İmamoğlu, 2005; MTA, 2021).



Şekil 1.3. Türkiye’deki zeolit maden yatakları (MTA, 2022a)

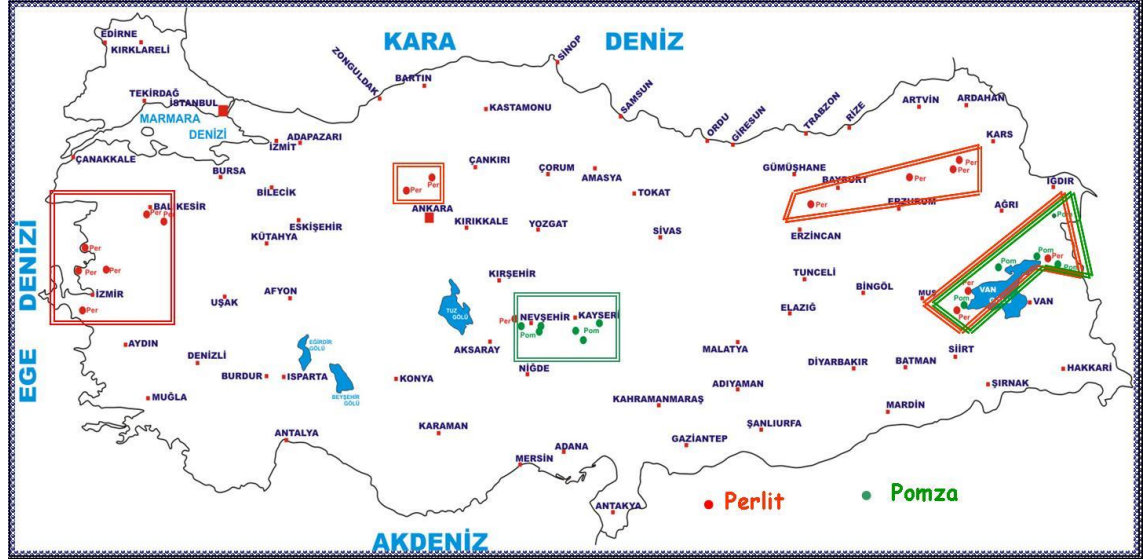
1.3.2. Pumis

Pumis, fiziksel olarak gözenekli bir yapıya ve düşük öz kütleye sahip olması, yüksek yalıtkanlığı sayesinde izolasyon malzemesi olarak kullanılabilmesi sebepleriyle eski çağlardan beri kullanılan yapı malzemelerinden bir tanesidir. Antik Yunan ve Roma

İmparatorluğu dönemlerinde su kemeri, hamam, mahzen, konut ve tapınak inşaatlarında kullanılmış ve bu yapılar hala kullanılabilir. İnşaat sektörünün yanı sıra tarım, kimya ve tekstil gibi diğer endüstriyel alanlarda da farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Akın ve Akın, 2013).

Pumisin atık su arıtımında besin elementi veya ağır metal gideriminde kullanılabilmesini sağlayan özelliği ise gözenekli bir yapıya sahip olmasıdır. Pumisin bu gözenekli yapısında bulunan boşluklara veziküller adı verilmektedir. Pumis bu veziküller sayesinde arıtım kabiliyetini arttırmaktadır (Dinçer ve ark., 2015).

Ülkemizin toplam pumis rezervi 2.2 milyar ton olup yaklaşık yarısı Nevşehir Bölgesi'nde (Şekil 1.4) yer almaktadır. Bunun yanında ülkemiz dünyanın en büyük pumis ihracatçısı konumundadır. Dünyada 2019 yılının toplam pumis ihracatı yaklaşık 82 milyar \$ iken ülkemizin aynı yıla ait pumis ihracat bedeli ise yaklaşık 23 milyar \$ civarındadır (Trademap, 2022).



Şekil 1.4. Türkiye'deki pumis (pomza) maden yatakları (MTA, 2022b)

1.4. Sularda Bulunan Kirleticiler

Sularda bulunan esas kirletici etmenler patojenler ve kimyasal maddelerdir. Atık sularda tespit edilen kimyasal maddelerin kaynakları ise, deterjanlar, gıda işleme atıkları, pestisitler, petrol hidrokarbonları, sanayi solventleri, hijyen ve kozmetik atıkları, kükürt dioksit, endüstriyel atıklar, gübrelerde bulunan azotlu ve fosforlu bileşiklerin yanı sıra

ağır metallerdir. Bu çalışmada atık sulardan bazı ağır metallerin arıtılabilme olanakları araştırılmıştır.

1.4.1. Kadmiyum

Kadmiyum, kimyasal simgesi Cd olan, gümüş beyazlığında, elektrik, seramik, pil ve akü sanayisinde kullanılan, kanserojen ve toksik bir ağır metaldir. Kadmiyum, çinko bileşikleriyle beraber doğada kadmiyum sülfür olarak bulunur. Çinko, kurşun ve bakırın yan ürünü olarak üretilmektedir. Kadmiyum, mide ağrıları, şiddetli kusma, ishal, kemik kırığı, psikolojik bozukluklar, kanser ve üreme sistemi hasarları, merkezi sinir sistemi, bağışıklık sistemi ve DNA dahil olmak üzere çeşitli sağlık etkilerine neden olabilmektedir (Anonim, 2022a).

1.4.2. Kobalt

Kobalt, kimyasal simgesi Co olan bir ağır metaldir. Kobalt iki ya da fazla bileşenli toz metallerin yapıştırılmasında ve kesici takımlarda kullanılır. Co(OH)_3 ısıtılarak Co_2O_3 oksidine dönüştürülür. Daha sonra bu oksit karbon ile indirgenerek saf kobalt elde edilir. Kobalt parçacıklarının solunması solunum hassasiyeti, astım, nefes darlığı ve solunum fonksiyonlarının azalması gibi akciğer hastalıklarına neden olabilir, deriyle temas etmesi halinde ise ciddi cilt hastalıkları kaçınılmaz hale gelmektedir (Anonim, 2022b).

1.4.3. Krom

Krom, kimyasal simgesi Cr olan bir ağır metaldir. İsmi Yunanca renk anlamına gelen krıma'dan gelmektedir. Krom çok sert olması ve erime noktasının 1857 °C olması nedeniyle metallere sertlik sağlanması ve zırhlı araç yapımında kullanılır. En önemli kullanım alanı Nikel ile paslanmaz çeliklerdedir. Oluşturduğu kromoksit tabakası çelik yüzeyini film tabakası gibi kaplar ve kimyasal korozyona karşı dayanıklılık sağlar. Bilim adamları tarafından yapılan araştırmalar sonucunda Cr^{+6} iyonu ve bileşiklerinin kanser yaptığı yönündeki bilgilere ulaşılmış ve IARC (International Agency for Research on Cancer) tarafından Grup 1 (İnsanlar için Kanserojen) olarak sınıflandırılmıştır (Anonim, 2022c).

1.4.4. Bakır

Bakır, kimyasal simgesi Cu olan bir ağır metaldir. Çok yüksek termal ve elektrik iletkenliği olan yumuşak, dövülebilir ve sünek bir metaldir. Yeni açığa çıkmış saf bakır yüzeyi pembemsi-turuncu renktedir. Bakır, ısı ve elektrik iletkeni olarak yapı

malzemelerinde, çeşitli metal alaşımların bileşiminde, som gümüş gibi kuyumculukta, kupronikel denizcilik donanımında, madenî para yapımında, konstantan yük ölçerlerde ve sıcaklık ölçen termokuplarda kullanılır. İnsanların normal beslenme rejimi her gün 2–5 mg arasında bakır gerektirir. Kalıtsal protein seruloplazmin (kan plazmasında bulunan bir protein) eksikliği aşağı yukarı bütün dokularda, özellikle beyin ve karaciğerde bakır miktarının artmasıyla birlikte gelişir (Anonim, 2022d).

1.4.5. Mangan

Mangan, kimyasal simgesi Mn olan bir ağır metaldir. Grimsi metal renklidir. Çeliğin dayanımını geliştiren bir alaşım elementidir. Bu özelliği, içinde bulunan karbon miktarına bağlıdır. Yüksek karbonlu çeliklerde manganın etkisi sertlik ve dayanımı artırmaktadır. Vücutta protein sentezlenmesinde, sindirimde ve besinlerden enerji üretilmesinde görev alan önemli minerallerin içinde bulunan etkili bir elementtir. Eksikliğinde sürekli yorgunluk, hafıza problemleri, kısırlık, kilo kaybı, özellikle çocuklarda ve bebeklerde büyüme geriliği gibi belirtiler görülür. Mangan bitkiler için de çok önemli bir elementtir (Anonim, 2022e).

1.4.6. Nikel

Nikel, kimyasal simgesi Ni olan gümüş-beyaz renkte bir ağır metaldir. Genelde pentlandit içinde demir ve kükürt ile, milerit içinde kükürt ile, nikelinin içinde arsenik ile birlikte bulunur. Nikelin havaya karşı gösterdiği oksitlenme direnci sayesinde; bozuk para üretiminde, kimyasal araç ve gereçlerin üretiminde ve Alman gümüşü gibi birçok alaşımın üretiminde kullanılır. Nikel mineraline ve çözünebilir bileşiklerine maruz kalma miktarı, 40 saat/hafta'lık süre içinde 0,05 mg/cm³'ü geçmemelidir. Nikel sülfid buharının ve tozunun, diğer nikel bileşikleri gibi kanserojen olduğu düşünülmektedir. Ni(CO)₄ gazı çok zehirli bir gazdır. Bunun temel sebebi hem metalin oluşturduğu zehirlilik hem de karbonun oluşturduğu CO gazının zehirlilik etkisidir. Hassas bireyler dermatit olarak bilinen ve derilerinin nikel ile temas etmesi sonucu ortaya çıkan bir alerji gösterebilmektedirler (Anonim, 2022f).

1.4.7. Kurşun

Kurşun, kimyasal simgesi Pb olan mavi-gümüş rengi karışımı bir ağır metaldir. Kurşun, hava, su ve toprak yoluyla, solunumla ve besinlere karışarak biyolojik sistemlere giren son derece zehirleyici özelliklere sahip bir metaldir. Yüzbinlerce ton kurşun, kurşunlu

petrolden elde edilen ve kurşun tetra-etil ((CH₃CH₂)₄Pb) eklenerek oktan sayısı arttırılan yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlardan çıkan gazlarla dünya atmosferine boşaltılmaktadır. Atmosferden kurşun (büyük oranda metal oksitleri ve tuzları şeklinde) yağmurla tekrar yeryüzüne inerek çevremize her geçen gün daha fazla yayılmaktadır. Kurşun madenleri ve metal endüstrileri, akü ve pil fabrikaları, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayii atık sularında da istenmeyen konsantrasyonlarda kurşun kirliliğine rastlanır. Pil fabrikası atık sularında 5,66 mg/l, asidik maden drenajlarında 0,02-2,5 mg/l, tetraetil kurşun üreten fabrika atık sularında 120–150 mg/l organik, 66–85 mg/l inorganik kurşun kirliliğine rastlanmıştır (Anonim, 2022g).

1.4.8. Çinko

Çinko, kimyasal simgesi Zn olan mavimsi açık gri renkte ve kırılğan bir ağır metaldir. İnsanlar tarafından aşırı miktarda çinko alımı ağır metal zehirlenmesine de yol açabilir. Kusma ve bulantının yanı sıra bu durum baş dönmesi, ağızda metalik tat, düşük kan basıncı, konvülziyon, nefes darlığı ve hatta şoka bile yol açabilmektedir (Anonim, 2022h).

1.5. Kolon Denemeleri

Egbosiuba ve ark. (2022) kolon denemeleri ile atık sulardan kurşun, arsenik ve kadmiyum giderimi üzerine yürüttükleri çalışmada iç çapı 2 cm ve uzunluğu 30 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Kolonlarda filtre materyali olarak gazlı bez ve pamuk yünü karışımını ayrı ayrı 2, 3 ve 4 cm yüksekliklerde kullanmışlardır. Kolonlara; kurşun, arsenik ve kadmiyumu peristaltik pompa kullanarak ayrı ayrı 5, 6 ve 7 ml/dk akış hızlarında, 20, 60 ve 100 mg/L derişimlerde ve 5.5 sabit pH'da 1800 dk süre ile uygulamışlardır. Çalışma neticesinde kurşunda en yüksek giderim etkinliğini 4 cm yüksekliğindeki materyalde, 5 ml/dk akış hızında, 100 mg/L derişimde ve 480 dk arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra %99.8 olarak tespit etmişlerdir. Kadmiyumda ise aynı şekilde 4 cm yüksekliğindeki materyalde, 5 ml/dk akış hızında, 20 mg/L derişimde ve 1600 dk süre ile arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra %99.96 giderim etkinliği tespit etmişlerdir.

Cheng ve ark. (2022) krofton otundan elde edilen biyokömürün MgO ile modifiye edilerek kurşun ve kadmiyum giderimine etkisini araştırdıkları çalışmada 1.5 cm iç çapa ve 15 cm uzunluğa sahip cam kolonlar kullanmışlardır. Kolonlarda 20 cm³ hacimdeki filtre materyaline, 2 ml/dk akış hızında, pH değeri 5 olarak hazırlanan 20 mg/L derişimde kurşun ve 2 mg/L derişimde kadmiyum uygulamışlardır. Çin devletinin kurşun

ve kadmiyum metalleri için arıtma işlemi sonrası alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için belirlediği limitler sırasıyla 1 mg/L ve 0.1 mg/L'dir. Bu nedenle araştırmacılar belirtilen limitlere kadar çalışmayı devam ettirmişlerdir. Deşarj limitlerine, kurşunda 1500 dk ve kadmiyumda 1050 dk sonunda erişmişlerdir. Bu süre zarfında pH değişiminin de 6 seviyesine kadar yükseldiğini belirtmişlerdir.

Barragán-Peña ve ark. (2021) atık sulardan zeolit kullanarak kadmiyum giderimi üzerine kolon denemeleri şeklinde yürüttükleri çalışmada iç çapı 0.9 cm ve uzunluğu 30 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Kolonları, filtre materyali 4.5 cm yükseklikte ve materyalin yıkanmaması için alt kısmında 0.15 mm gözenek çapına sahip paslanmaz çelik elekler kullanarak hazırlamışlardır. Çalışma 1 ml/dk akış hızı kullanarak 31 mg/L derişimde kadmiyum içeren çözeltiler kullanılarak 1800 dk sürede tamamlanmıştır. Çalışma neticesinde ise kadmiyumun atık sularda belirtilen şartlarda %34.17 oranında giderildiğini belirtmişlerdir.

Baker ve ark. (2009) atık sulardan kadmiyum, bakır, kurşun ve çinkoyu arıtabilmek kolon denemeleri şeklinde yürüttükleri çalışmada filtre materyali olarak zeolit kullanmışlardır. Zeolitleri ayrı ayrı 90-125, 125-150, 150-250 ve 250-300 µm gözenek çaplarında, iç çapı 0.5 cm ve uzunluğu 10 cm olan cam kolonlarla filtre materyali olarak tercih ettikleri zeolitten ise 0.125 g kullanarak sürdürmüşlerdir. Çalışmada belirlenen metalleri kolonlara 0.5 ml/dk akış hızında ve 5, 10, 15 ve 20 ppm derişimlerde 2 saat boyunca uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre en yüksek giderim oranları kadmiyum metalinde 125-150 µm çaplarında 20 ppm derişim uyguladıkları çalışmada %100 olarak, bakır metalinde 90-125 µm çaplarında 20 ppm derişim uygulamasında %97, kurşun metalinde 125-150 µm çaplarında 20 ppm derişim uygulamasında %99.5, çinko metalinde ise 150-250 µm çaplarında 20 ppm derişim uygulamasında %99 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Baral ve ark. (2009) eğrelti otundan elde edilmiş biyokömür kullanarak atık sulardan krom giderimi üzerine yürüttükleri çalışmada 5 cm iç çapa ve 30 cm uzunluğa sahip kolonlar kullanmışlardır. Çalışmada kolonlara krom içeriği 500 mg/L derişimde olan sentetik atık suları 30, 40, 50 ve 60 ml/dk akış hızlarında 10 cm yüksekliğinde hazırlanan filtre materyali üzerine uygulamışlardır. Elde ettikleri en yüksek verimleri ise sırasıyla; 30, 40, 50 ve 60 ml/dk akış hızlarında, 1370, 990, 760 ve 620 dk süreler sonucunda 134.6, 132.6, 127.4 ve 124.5 mg/L olarak tespit etmişlerdir.

Mubarak ve ark. (2022) atık sulardan mangan ve demir metallerini arıtmak için kolon denemeleri şeklinde yürüttükleri çalışmada filtre materyali olarak titanyumla kaplanmış zeolit kullanmışlardır. Çalışmada iç çapları 8 cm ve uzunlukları 60 cm olan polivinil kolonları alt katmanda 0.7-1.2 mm çapında 38 mm yükseklikte quartz kumu ve üzerinde 30 cm zeolit kullanarak hazırlamışlardır. Çalışmayı 40 dk süreyle 4 ml/dk akış hızı ile 20 mg/L derişimde mangan ve demir kullanarak tamamlamışlardır. Belirtilen şartlar neticesinde arıtma işlemi süresince pH derecelerinin arttığını gözlemlediklerini, atık sulardan demir giderimini %86.5 ve mangan giderimini %84.3 olarak belirlediklerini bildirmişlerdir.

Jayalakshmi ve ark. (2022) kobalt ferrit nanoparçacıkları kullanarak atık sulardan kurşun ve çinko giderimi için yürüttükleri çalışmada iç çapı 2 cm ve uzunluğu 20 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Çalışmada 5 ml/dk akış hızı kullanarak 12 cm yükseklikteki filtre materyali üzerine 50 mg/L derişime sahip kurşun ve çinko içeren atık suları 120 dk süreyle uygulamışlardır. Neticede kurşun gideriminde en yüksek etkinliği 50 dk sonunda %98.2 ve çinko gideriminde 40 dk sonunda %82.4 olarak tespit etmişlerdir.

Guo ve ark. (2022) demirle kaplanmış linyit kullanarak atık sulardan krom gidermek için yürüttükleri çalışmada iç çapı 4 cm ve yüksekliği 20 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Çalışmayı 4 farklı aşamada (0-4, 5-12, 13-19 ve 20-25 gün) 0.27 ml/dk akış hızında ve 100 mg/L derişimde krom içeren atık sular kullanarak yürütmüşlerdir. Çalışma sonucunda 0-4 günlük çalışma sonunda giderim etkinliğini %90, 19-25 günlerdeki çalışma sonucunda %46,1 ve genel ortalamada ise %71.6 giderim etkinliğini tespit etmişlerdir. Çalışma başlamadan 6.6 olarak ölçülen pH derecesinin ise çalışma sonucunda alınan numunede 5.3 olarak belirlediklerini bildirmişlerdir.

Mthombeni ve ark. (2018) zeolit kullanarak atık sulardan krom metalini gidermek için 2 cm iç çapta ve 30 cm uzunlukta PVC kolonlar kullanmışlardır. Çalışmayı sırasıyla 1.5, 3 ve 4.5 ml/dk akış hızlarında 20 mg/L derişime sahip krom içeren atık sularla 2500 dk süreyle 2.5 g materyal kullanarak sürdürmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre en yüksek etkinlikleri 1.5 ml/dk akış hızına sahip uygulamada 2500 dk sonucunda %90, 3 ml/dk akış hızına sahip uygulamada 1600 dk sonucunda %92 ve 4.5 ml/dk akış hızına sahip uygulamada ise 800 dk sonucunda %99.3 olarak tespit etmişlerdir.

Zanin ve ark. (2017) zeolit kullanarak atık sulardan bakır, krom ve demir giderimi için yürüttükleri çalışmada 4.0 pH derecesinde 100 ml sentetik atık sular hazırlamışlardır. Derişimi 10 mg/L olarak hazırladıkları atık suları 0.5 g zeolite 540 dk süreyle uygulamışlardır. Çalışma neticesinde en yüksek giderim etkinliklerini ise bakır metali için 240 dk sonucunda %98, krom metali için 480 dk sonucunda %85 ve demir metali için ise 420 dk sonucunda %80 olarak bildirmişlerdir.

Siabi ve ark. (2021) atık sulardan demir ve mangan gidermek için biyokömür kullandıkları çalışmada iç çapı 4.5 cm ve yüksekliği 30 cm olan plastik kolonlar kullanmışlardır. Çalışmada 0.012 ve 0.024 m³/h olmak üzere iki farklı akış hızı, demirde 8 mg/L, manganda 2 ve 4 mg/L olmak üzere iki farklı derişim kullanmışlardır. Filtre materyali miktarı olarak 80 g, 120 g, 160 g, 200 g ve 240 g ve malzeme boyutu olarak 0.075-0.2 ve 0.2-2.0 mm boyutlarını tercih etmişlerdir. Çalışma neticesinde elde ettikleri en yüksek mangan giderim etkinliklerini 0.012 m³/h akış hızında 350 dk sonucunda ve 0.024 m³/h akış hızında 400 dk sonucunda %100 olarak belirlemişlerdir.

da Costa Rocha ve ark. (2020) zeolit materyali kullanarak atık sulardan bakır gidermek için yürüttükleri çalışmada iç çapı 1.5 cm ve uzunluğu 20 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Derişiminde 2 mmol/L bakır bulunan atık suları kolonlarda bulunan 0.34-1.00 mm çaplarında ve 15 cm yüksekliğindeki zeolitin üzerine 3 ml/dk akış hızında 600 dk süre ile uygulamışlardır. Çalışma neticesinde bakır derişimini 0.15 mmol/L olarak belirlemişlerdir.

Tofan ve ark. (2013) doğal kenevir lifleri kullanarak atık sulardan kobalt gidermek üzerine yürüttükleri çalışmada 1.5 cm iç çapa ve 15 cm uzunluğa sahip cam kolonlar kullanmışlardır. Kolonlarda 7 cm yüksekliğinde bulunan filtre materyali üzerine 25 ve 50 mg/L derişimlerde çözeltiyi 800 dk süre ile uygulamışlardır. Çalışmada elde ettikleri sonuçlara göre 25 mg/L derişimde 550 dk ve 50 mg/L derişimde 800 dk sonunda malzemelerin doygunluğa ulaştığını bildirmişlerdir.

Borba ve ark. (2006) iç çapı 2.8 cm ve yüksekliği 50 cm olan çelik kolonlarda deniz yosunu kullanarak atık sulardan nikel gidermeyi amaçlamışlardır. Çalışmada 2, 4, 6 ve 8 ml/dk akış hızlarında sırasıyla 2.14, 2.11, 2.12 ve 2.27 meq/L derişimlerde nikel çözeltilerini 30.5 cm yüksekliğindeki filtre materyali üzerine 8000 dk süre ile uygulamışlardır. Çalışma neticesinde 2 ml/dk akış hızında 4000 dk sonunda, 4 ml/dk akış

hızında 2500 dk sonunda, 6 ml/dk sonunda 2000 dk sonunda ve 8 ml/dk akış hızında ise 1500 dk sonunda materyallerin doygunluk seviyesine ulaştıklarını belirtmişlerdir.

Yahya ve ark. (2020) deniz kabuğu kullanarak atık sulardan krom ve bakır gidermek için yürüttükleri çalışmada 3 cm iç çapa sahip ve 30 cm uzunluğunda cam kolonlar kullanmışlardır. Çalışmada ayrı ayrı kromu 55, 60 ve 67.5 mg/L, bakır 3.5, 5.0 ve 7.0 mg/L derişimlerde 3, 5 ve 7 cm yüksekliklerde hazırlanan 0.25-0.35 mm çaplarında deniz kabuğunun üzerine 3.0, 6.0 ve 9.0 ml/dk akış hızlarında 3360 dk süre ile uygulamışlardır. Çalışma neticesinde krom metalinin giderim etkinliklerini 3.0 ml/dk akış hızında, 7.0 cm filtre materyali yüksekliğinde ve 67.5 mg/L derişim uygulamasında 2640 dk sonunda %65.88, bakır metalinin ise 3.0 ml/dk akış hızında, 7.0 cm filtre materyali yüksekliğinde ve 7.0 mg/L derişim uygulamasında 2640 dk sonunda %70.0 olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Długosz ve Banach (2018) malzeme boyutu 0.866 mm olan vermiküli kullanarak atık sulardan gümüş ve bakır gidermek için yürüttükleri çalışmada iç çapı 1.2 cm ve uzunluğu 12 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Çalışmada yüksekliği 3 cm olan filtre materyali üzerine 5000 mg/L derişimde gümüşü 2 ml/dk akış hızında, bakır 3 ml/dk akış hızında 140 dk süre ile uygulamışlardır. Çalışma neticesinde gümüş metalinde %60 ve bakır metalinde %69 giderim etkinliği tespit etmişlerdir.

Li ve Champagne (2009) turba ve yumuşakça kabukları kullanarak atık sulardan kadmiyum ve nikel gidermek için yürüttükleri çalışmada iç çapı 10 cm ve yüksekliği 25 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Kolonlarda kullanılan malzemeler 4.0-4.75 mm çap aralığında 10 ve 15 cm yüksekliklerde ayrı ayrı hazırlanmıştır. Çalışmada kolonlara 1.5 ml/dk ve 3.4 ml/dk akış hızında 209 mg/L kadmiyumu ve 105 mg/L nikeli ayrı ayrı 24 saat süre ile uygulamışlardır. Kadmiyum metalinin 15 cm yüksekliğindeki yumuşakça kabuklarına 3.4 ml/dk akış hızında uygulama sonucunda %47.9 ve 15 cm yüksekliğindeki turbada ise 1.5 ml/dk akış hızında %32.3 giderim etkinliği olduğunu belirlemişlerdir. Nikelde ise 10 cm yüksekliğindeki yumuşakça kabuklarına 3.4 ml/dk akış hızında %10.8 ve 10 cm yüksekliğinde turba kullanımında 3.4 ml/dk akış hızında %57.1 giderim etkinliği olduğunu tespit etmişlerdir.

Viggi ve ark. (2010) atık sulardan kadmiyum, krom, bakır ve çinko gidermek için yürüttükleri çalışmada filtre materyali olarak %6 yaprak, %9 kompost, %3 demir, %30

silika kumu, %30 perlit ve %22 kireç içeriği bulunan malzeme planlamışlardır. Çalışmayı iç çapı 20 cm ve uzunluğu 100 cm olan reaktörlerde 18 ay süre ile 0.5 ml/dk akış hızında 4 farklı pH seviyesinde (6.7, 8.2, 8.4 ve 8.8) sürdürmüşlerdir. Kullanılan çözeltileri ise kadmiyum için 0.1 mM, krom için 0.1 mM, bakır için 0.1 mM ve çinko için 0.1 mM olacak şekilde tercih etmişlerdir. Elde ettikleri giderim yüzdeleri ise 6.7 pH değerinde kadmiyumda %30, kromda %20, bakırda %70 ve çinkoda %30 olarak tespit edilmiştir. pH değeri 8.2 olan çalışmada sırasıyla %97, %98, %96 ve %97, pH değeri 8.4 olan çalışmada %99, %99, %97 ve %98, pH değeri 8.8 olan çalışmada ise %99, %99, %98 ve %99 olarak belirtmişlerdir.

Fan ve ark. (2018) atık sulardan kurşun ve kadmiyum gidermek için iç çapı 5 cm ve yüksekliği 20 cm olan cam kolonda 1:2:2:2:1 karışım oranlarında kuartz kumu, mısır samanı, zeolit, uçucu kül, demir-mangan nodülü ve kuartz kumunu filtre materyali olarak kullanmayı tercih etmişlerdir. Çalışmayı 12 saat süre ile her 60 dk'da örnekleme yapılarak, 4, 6, 8 ve 10 ml/dk akış hızlarında, pH değerliği sabit 6 olacak şekilde kurşun metali için 5 ve 10 mg/L derişimlerde ve kadmiyum metali için 0.5 mg/L ve 1 mg/L derişimlerinde hazırlayarak kullanmışlardır. Çalışma neticesinde en yüksek giderim etkinliğini 6 ml/dk akış hızında 5 mg/L kurşun ve 0.5 mg/L kadmiyum içeren çözeltilerde kurşun metalinde ilk 5 saat sürede %99, kadmiyum metalinde ise yine ilk 5 saatte %97 olarak belirlemişlerdir.

Liu ve ark. (2013) atık sulardan krom, bakır, kadmiyum ve kurşun gidermek için filtre materyali olarak kitosanı tercih ettikleri çalışmada iç çapı 1.5 cm ve uzunluğu 50 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Çalışma 1 ml/dk akış hızında her 10 dk'da bir 1 ml örnek alınarak 10 saat süre ile sürdürülmüştür. Çalışmada atık sulardaki metallerin derişimleri ise krom, bakır, kadmiyum ve kurşunda sırasıyla 20, 20, 15 ve 10 mg/L olarak belirlenmiştir. Çalışma neticesinde ilk 5 saat süreyle %100 giderim etkinliği tespit edilirken 10. saat sonunda giderim etkinliği %60'a kadar düşüş sergilemiştir.

Ranjbar ve ark. (2017) atık sulardan kurşun metalini gidermek için yürüttükleri çalışmada iç çapı 4 cm ve uzunluğu 40 cm olan cam kolonlar kullanmışlardır. Filtre materyalleri ve akış hızları ise pumis-kireçte (1:1) 1.8 ml/dk, pumis-perlitte (1:1) 7.2 ml/dk ve pumis-kireç-perlit (2:2:1) 2.4 ml/dk, derişimleri ise 100 mg/L ve 200 mg/L olacak şekilde çalışmayı planlamışlardır. Toplamda 1271 dk süren çalışmada pumis-kireç 1:1 karışımında 4.7 saat süre sonunda 1.8 ml/dk akış hızında 100 mg/L derişim

uygulamasında %53.7, 200 mg/L uygulamasında %75.8, pumis-perlit 1:1 karışımında 1.2 saat süre sonunda 7.2 ml/dk akış hızında 100 mg/L ve 200 mg/L uygulamasında %99.9 ve pumis-kireç-perlit 2:2:1 karışımında 3.5 saat süre sonucunda 100 mg/L ve 200 mg/L uygulamasında %99.9 oranında giderim etkinliğini tespit etmişlerdir.



2. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Çalışmada atık sulardan absorban kullanılarak ağır metal (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) giderimi amaçlanmıştır. Adsorban olarak ise zeolit ve pumis materyalleri tercih edilmiştir. Doktora tezi olarak yürütülen bu çalışma, doğaya zarar vermemek adına yapay sulak alanları temsilen pilot ölçekte kolon denemeleri olarak sürdürülmüştür.

Çalışmada kullanılan zeolite ait fiziksel, kimyasal ve elementel özellikler Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.1. Zeolitın fiziksel özellikleri

ÖZELLİK	ARALIK
Kanallar	2.2-8 Å
Boşluklar	6.6-11.8 Å
Isıl Kararlılık	500-1.000 °C
İyon Değişimi Kapasitesi	700 miliekivalan/100 g'a kadar
Yüzey Alanı	900 m ² /g'a kadar
Su Kapasitesi	< %1- ağırlığın ~ %25
Su Afinitesi	Hidrofilik- Hidrofobik
Yoğunlukları	1.9-2.3 g/cm ³
Sertlikleri	3.5-5.5

Tablo 2.2. Zeolitın kimyasal bileşimi

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	H ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	B (ppm)
%	71.29	13.55	1.15	3.50	5.90	1.96	0.70	0.60	30

Tablo 2.3. Zeolitin element içerikleri

Elementler	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
ppm	0.07	2.27	7.56	6.22	122.32	6.03	12.17	19.17

Çalışmada kullanılan pumise ait fiziksel, kimyasal ve elementel özellikler Tablo 2.4, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.4. Pumisin Fiziksel Özellikleri

Renk	Açık griden, kirli beyaza
Kristal Şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (Mohs)	5.5-6.0
Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	0.32-0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	2.15-2.65
Porozite (%)	45-90
Rötre (mm/m)	< 1
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.08-0.20
Isınma Isısı (cal/g°C)	0.24-0.28
Ses Yalıtımı (dB)	40 - 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 - 70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5 - 10

Tablo 2.5. Pumisin Kimyasal Bileşimi

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O + K ₂ O
%	72.5	14.0	2.5	0.9	0.6	9.0

Tablo 2.6. Pumisin Element İçerikleri

Elementler	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
ppm	0.05	3.24	2.90	8.33	111.62	7.06	1.75	6.37

Çalışmada kullanılan kolonlar standart olarak cam malzemeden üretilen 3 cm iç çapa, 60 cm uzunluğa, teflon musluğa ve musluk üzerinde por.1 diske sahip özelliktedir (Şekil 2.1).

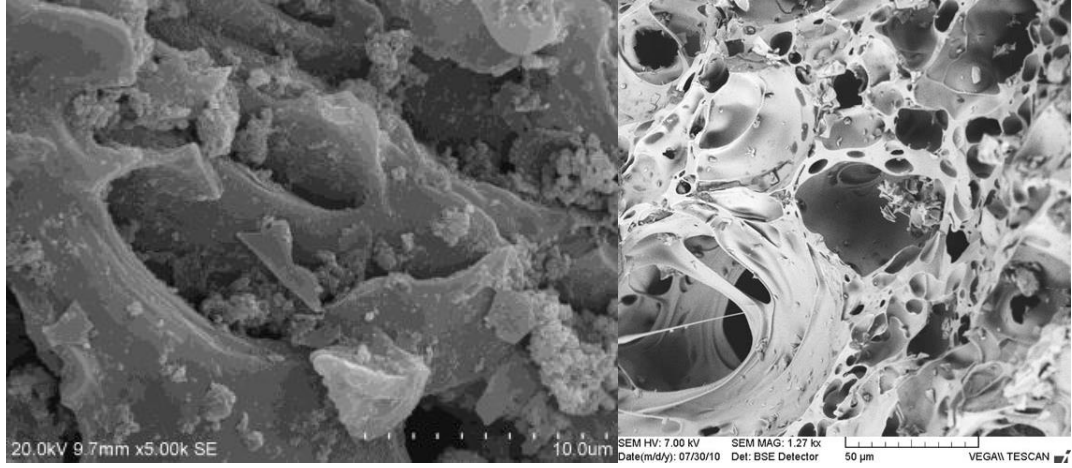


Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan düzenek

Kolonlarda hem pumis hem de zeolit deneylerinde sabit olarak 100 cm^3 malzeme kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan materyaller kolonlara aktarılmadan önce gözenek çapı 1 mm ve 2 mm olan eleklerden elenerek her iki çap aralığında kalan malzemeler kullanılmıştır (Şekil 2.2). Zeolit ve pumisin gözenekli yapısına ilişkin SEM görüntüleri Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan zeolit ve pumis materyalleri



Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan zeolit ve pumisin gözenekli yapısına ilişkin SEM görüntüleri

Laboratuvarıda üretilen atık suların kolonlara aktarılması işlemi ise dijital ekrana ve kontrol ünitesine sahip LongerPump marka BT100-1L model 12 kanallı peristaltik pompa vasıtası ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4). Aynı anda 9 kanalı çalıştırılarak 3 farklı parametre 3 tekrerrürlü olarak çalışılmıştır.



Şekil 2.4. Çalışmada kullanılan peristaltik pompa

Çalışmada aynı zamanda arıtma esnasında gelebilecek farklı debilere sahip atık sular olacağı düşünülerek farklı akış hızları (2.5 ml/dk, 5 ml/dk ve 10 ml/dk) da denenmiştir. Dijital kontrol ünitesi sayesinde akış hızları doğrudan cihaz üzerinden ayarlanmıştır.

2.2. Metod

2.2.1. Numune Alma

Çalışma boyunca kolonların çıkış kısımlarından farklı zaman aralıklarında örnekleme yapılmıştır. Kullanılan materyallerin etkinliklerinin daha iyi belirlenebilmesi amacıyla sistem çalıştırıldıktan sonraki 3., 6., 12., 24. ve 48. saatlerde örnekleme yapılmıştır. Farklı zamanlarda alınan örneklerde pH ve EC ölçümleri yapıldıktan sonra ağır metal içeriklerinin belirlenebilmesi amacıyla 0.45 µm gözenek çapına sahip filtre kağıtlarından süzdürüldükten sonra analizleri yapılncaya kadar +4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

2.2.2. pH Tayini

Çalışmada absorbanların atık suların farklı pH seviyelerindeki etkinliği de belirlenmiştir. Asidik, nötr ve bazik olarak 5 ve 7 pH değerine sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Ana standart olarak hazırlanan 1000 ppm ağır metal içeriğine sahip çözeltiye pH değerinin 5 ve 7 olduğu çözeltiler için tampon olarak 2 g amonyum asetat ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{CO}_2$) eklenmiştir. Gerekli seyreltme işlemlerinin ardından elde edilen ve çalışmada kullanılacak olan atık sular planlandığı üzere istenilen pH düzeylerine getirilirken pH değerinin yükseltilmesi için amonyak (NH_3) ve ihtiyaç duyulduğunda düşürülmesi için asetik asit (CH_3COOH) kullanılmıştır. İstenilen özelliklere sahip atık sular kullanılmak üzere peristaltik pompanın giriş kısmına alınmıştır. Kolonların çıkış kısımlarından alınan numunelerin pH değerleri de Hanna marka HI-5522 model pH metre (Şekil 2.5) kullanılarak ölçülmüştür.

2.2.3. EC Tayini

Çalışmada ayrıca arıtıldıktan sonra bu suların tarımsal sulamada kullanılıp kullanılamayacağını tespiti için hazırlanan atık suların ve arıtım işlemi sonucu elde edilen numunelere ait EC değerleri de Hanna marka HI-5522 model EC metre (Şekil 2.5) kullanılarak ölçülmüştür.

2.2.4. Ağır Metal Tayini

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen çalışmada atık sular sentetik olarak hazırlanmıştır. Atık sularda ağır metallerden kirlilik düzeyleri en çok olanları Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn tercih edilmiştir. Bu ağır metallerin birbirleri ile tepkimeye girmemeleri amacıyla nitratlı bileşikleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanmak üzere hazırlanan sentetik atık sularda bulunan ağır metallerin kaynakları olarak $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Ni

(NO₃)₂ · 6H₂O, Pb (NO₃)₂ ve Zn (NO₃)₂ · 6H₂O kullanılmıştır. Kullanılan ağır metal kaynaklarından sırasıyla 5.5 g, 9.85 g, 15.38 g, 7.87 g, 9.09 g, 9.85 g, 3.29 g ve 9.13 g kullanılarak 2000 ml hacime sahip balon jodede saf su ile tamamlanarak ana standart olarak 1000 ppm derişime sahip ağır metal çözeltisi oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılması belirlenen konsantrasyonlara sahip sentetik atık sular (10, 25 ve 50 ppm) bu ana standart çözeltisinden seyreltilerek hazırlanmıştır. Kolonların çıkış kısımlarından elde edilen numunelerin ağır metal içerikleri Agilent marka 5800 model ICP-OES cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan pH ve EC metre

Tüm bu çalışmalar Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü ile Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın pH derecesi 7 olarak yürütülen ve akış hızı yüksek olan aşamalarında metal oksitler oluşması sebebiyle kolonlarda tıkanmalar meydana gelmiş olup sürdürülememiştir. Bu nedenle örnekleme yapılamayıp analizlere tabi tutulamamışlardır.

3.1. pH Değerinin Arıtma İşlemi Esnasında Uğradığı Değişim

Çalışmada kullanılan sentetik atık sular kullanılmadan önce çalışma için pH dereceleri hem 5'e hem de 7'ye sabitlenerek kullanılmıştır. Çalışma süresince her deneyde 3., 6., 12., 24. ve 48. saatlerde alınan örneklerde pH tayini de yapılmıştır. Analizler sonucunda arıtma esnasındaki pH değişimleri gözlemlenmiştir.

Tablo 3.1 incelendiğinde çalışma süresince farklı zaman dilimlerinde alınan numunelerin pH derecelerinin 4.48 ile 8.75 arasında değiştiği görülmektedir.

Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'e bakıldığında görüleceği üzere zeolit ve pumis materyallerine farklı pH derecelerine sahip atık sular farklı akış hızlarında ve farklı derişimlerde uygulandığında atık suların pH dereceleri sabit olmasına rağmen materyalle etkileşime girdiği andan itibaren materyalin de etkisi ile örneklerde pH derecelerinin önce yükseldiği sonradan düşüşe geçtiği görülmektedir. Düşük akış hızı ve düşük derişimlere sahip atık su uygulamalarında bu etkileşim daha uzun sürerken yüksek akış hızında ve yüksek derişimli uygulamalarda bu etkileşim daha kısa sürmüştür.

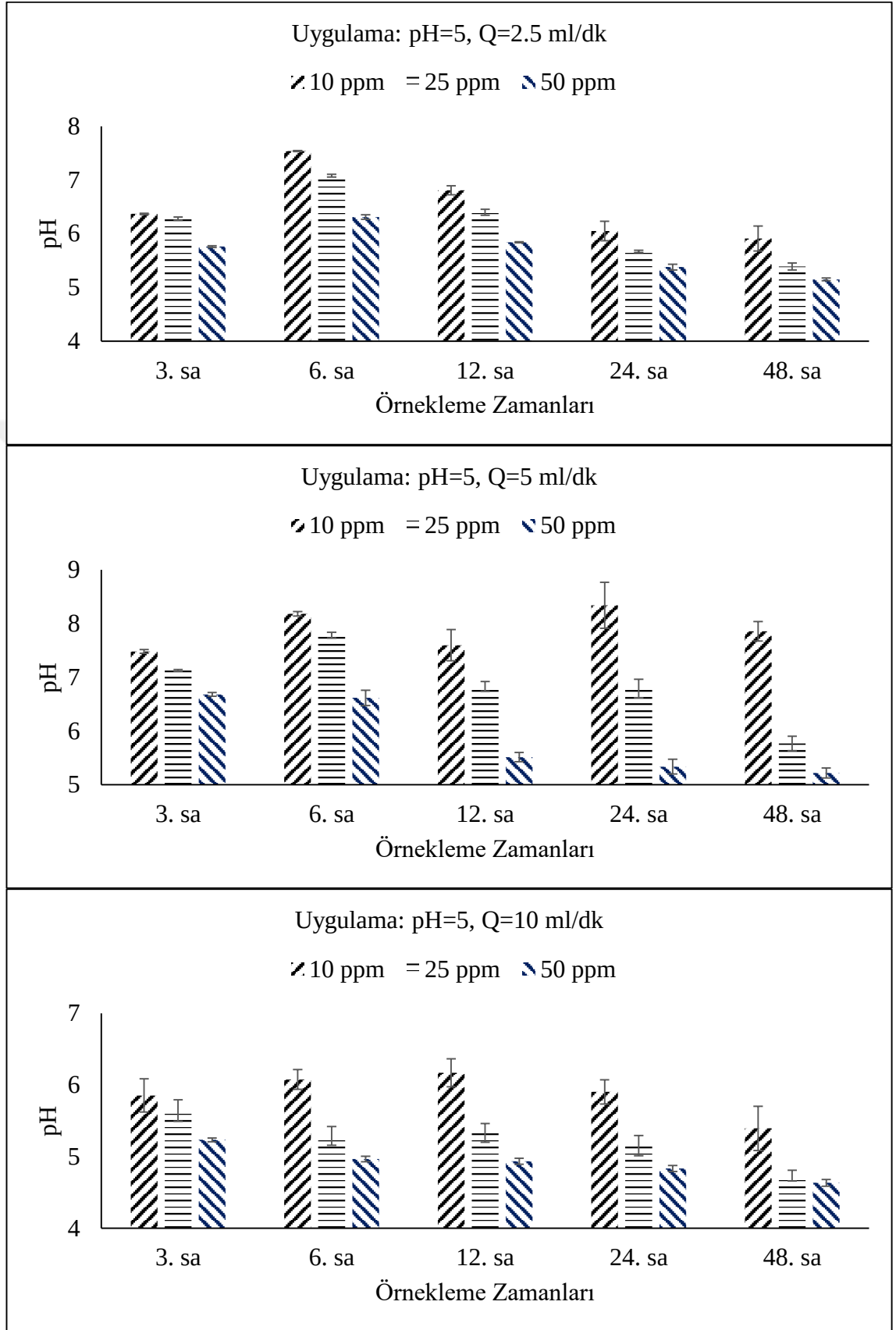
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2004 yılında yayınlamış olduğu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre arıtılan suların alıcı ortamlara deşarjı esnasında pH derecelerinin 6 ila 10 arasında olması gerektiği belirtilmektedir (SKKY, 2004). Bu bağlamda Tablo 3.2 incelendiğinde pH derecesi 7 olarak hazırlanan sentetik atık suların arıtılması sonucu bu kriterleri sağladığı görülmekteyken pH derecesi 5 (Tablo 3.1) olarak hazırlanan sentetik atık suların arıtılması sonucunda ise çoğunlukla bu kriteri sağlayamadığı belirlenmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 5 iken arıtılma esnasındaki pH değişimleri

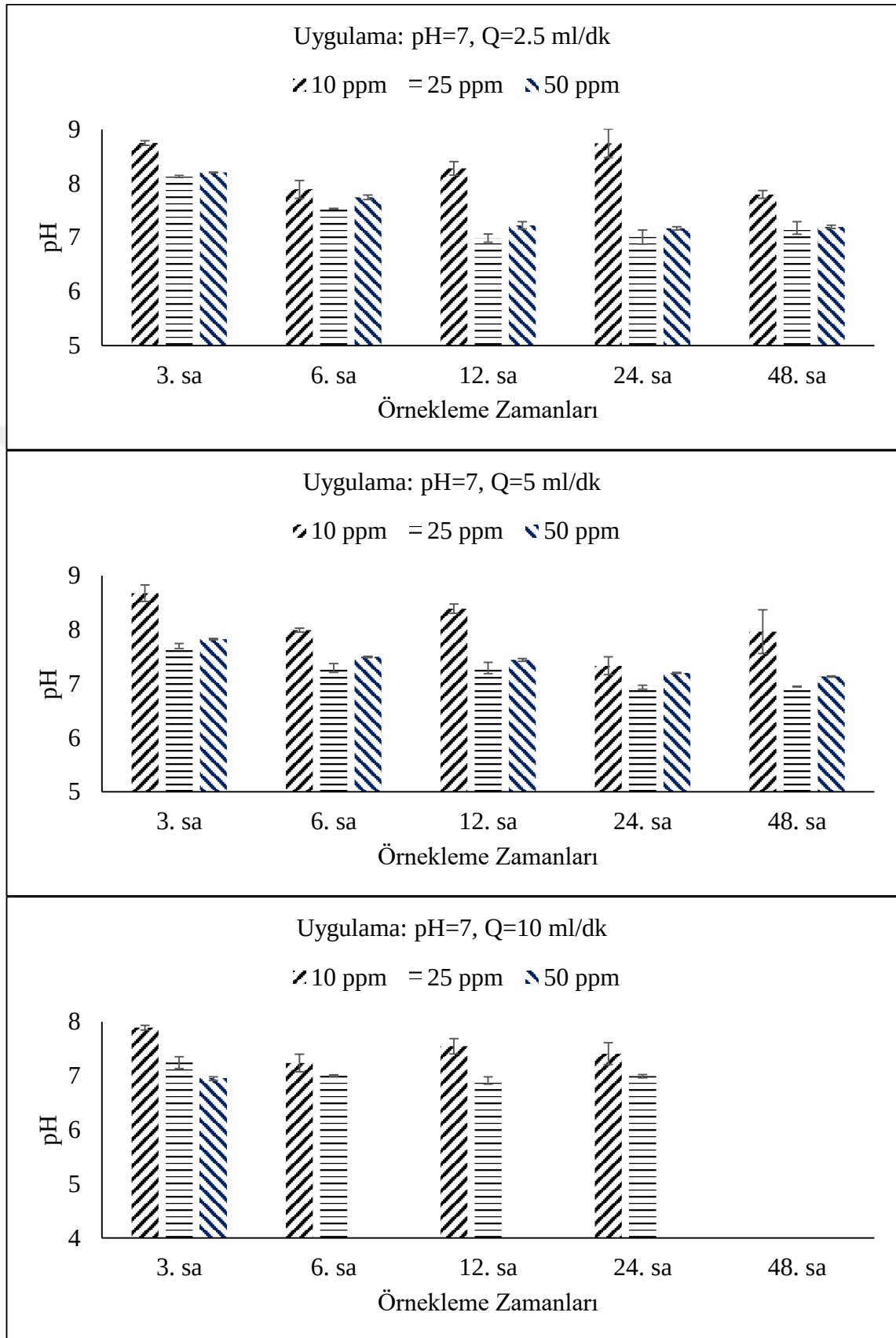
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	6.37	7.54	6.81	6.05	5.91
		25	6.28	7.08	6.4	5.67	5.39
		50	5.76	6.31	5.84	5.38	5.15
	5	10	7.48	8.18	7.60	8.34	7.85
		25	7.13	7.78	6.83	6.79	5.77
		50	6.68	6.62	5.51	5.34	5.22
	10	10	5.85	6.08	6.17	5.90	5.39
		25	5.64	5.29	5.33	5.15	4.73
		50	5.23	4.97	4.93	4.83	4.63
Pumis	2.5	10	7.18	6.32	5.99	5.83	5.12
		25	5.45	5.04	4.91	4.85	5.04
		50	5.25	4.77	4.53	4.45	4.48
	5	10	6.93	5.99	5.97	5.70	5.69
		25	5.79	5.19	5.09	4.91	4.96
		50	5.17	4.79	4.74	4.68	4.64
	10	10	6.25	4.99	4.93	5.07	5.06
		25	5.19	4.71	4.77	4.89	4.86
		50	4.64	4.80	5.09	4.97	5.05

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 7 iken arıtılma esnasındaki pH değişimleri

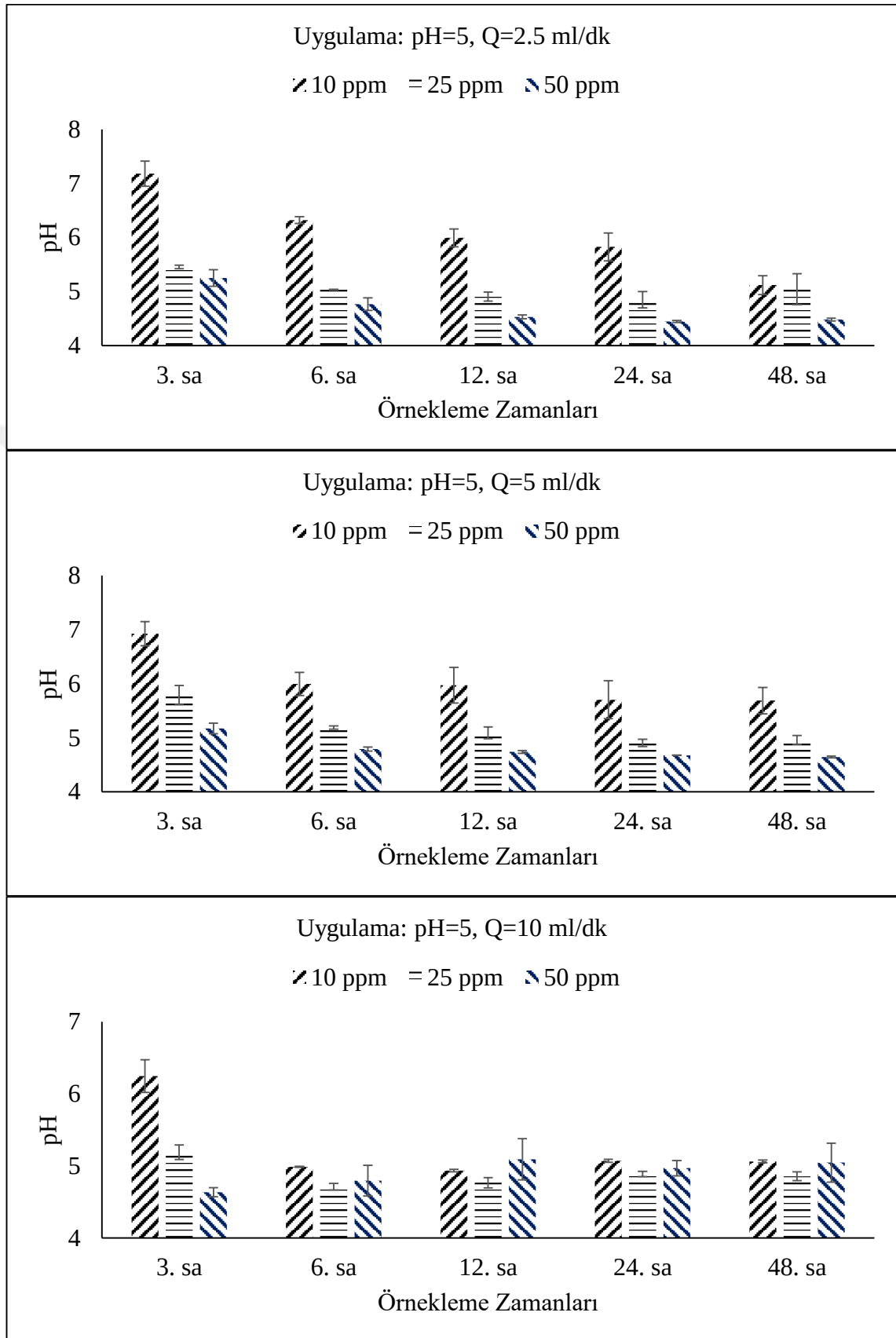
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	8.75	7.89	8.28	8.74	7.80
		25	8.13	7.53	6.99	7.01	7.18
		50	8.20	7.74	7.22	7.17	7.20
	5	10	8.67	7.99	8.39	7.33	7.96
		25	7.70	7.29	7.29	6.93	6.95
		50	7.82	7.50	7.44	7.20	7.13
	10	10	7.89	7.24	7.55	7.41	-
		25	7.24	7.00	6.91	6.99	-
		50	6.95	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	6.58	6.82	6.90	6.88	7.44
		25	6.27	6.37	6.59	6.20	6.71
		50	6.07	6.28	6.43	6.15	6.00
	5	10	7.66	7.06	7.01	7.72	7.72
		25	7.03	6.82	6.81	7.14	-
		50	6.74	6.79	-	-	-
	10	10	7.28	6.61	7.13	6.98	-
		25	6.21	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



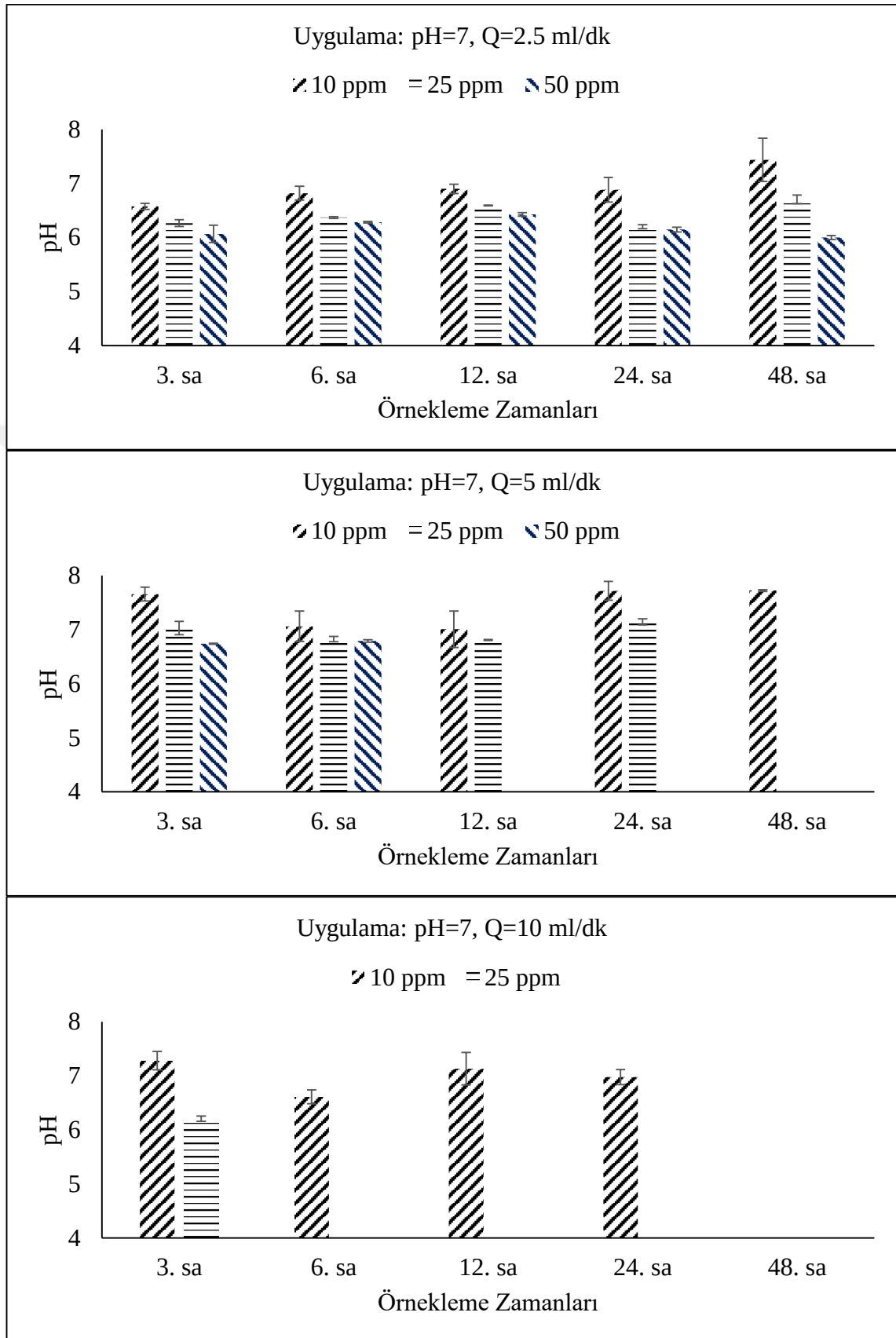
Şekil 3.1. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı pH değişimi



Şekil 3.2. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı pH değişimi



Şekil 3.3. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı pH değişimi



Şekil 3.4. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı pH değişimi

3.2. EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Değerinin Arıtma İşlemi Esnasında Uğradığı Değişim

Çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan sentetik atık suların kullanılmadan önce EC değerleri belirlenmiştir. pH derecesi 5 olarak hazırlanan çözeltilerin EC değerlerinin ortalamaları 10 ppm derişime sahip çözeltide 419.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 25 ppm derişime sahip çözeltide 780.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 50 ppm derişime sahip çözeltide ise 1455.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. pH derecesi 7 olarak hazırlanan çözeltilerin EC değerlerinin ortalamaları 10 ppm derişime sahip çözeltide 286.47 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 25 ppm derişime sahip çözeltide 638.77 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 50 ppm derişime sahip çözeltide ise 1308.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. Arıtım işlemi süresince EC değerlerindeki değişim de gözlemlenmiştir. EC değerlerinin kontrol edilmesinin sebebi ise arıtım sonrasında hem Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirlenen deşarj kriterlerini sağlayıp sağlamadığını belirlemek hem de arıtılan suların tarımsal sulamada kullanılıp kullanılamayacağını tespit etmektir.

Tablo 3.2 incelendiğinde çalışmada elde edilen numunelerin EC değerleri 221.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 1517.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Çalışmanın yürütülebilmesi için hazırlanan sentetik atık suların arıtım işlemine tabi tutulmadan önceki EC değerleri arıtım esnasındaki EC değerlerine göre düşüktür. Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 incelendiğinde görüleceği üzere atık suların filtre materyali ile temas ettiği andan itibaren EC değerleri yükselmiş olup hafif dalgalanmalar halinde değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.

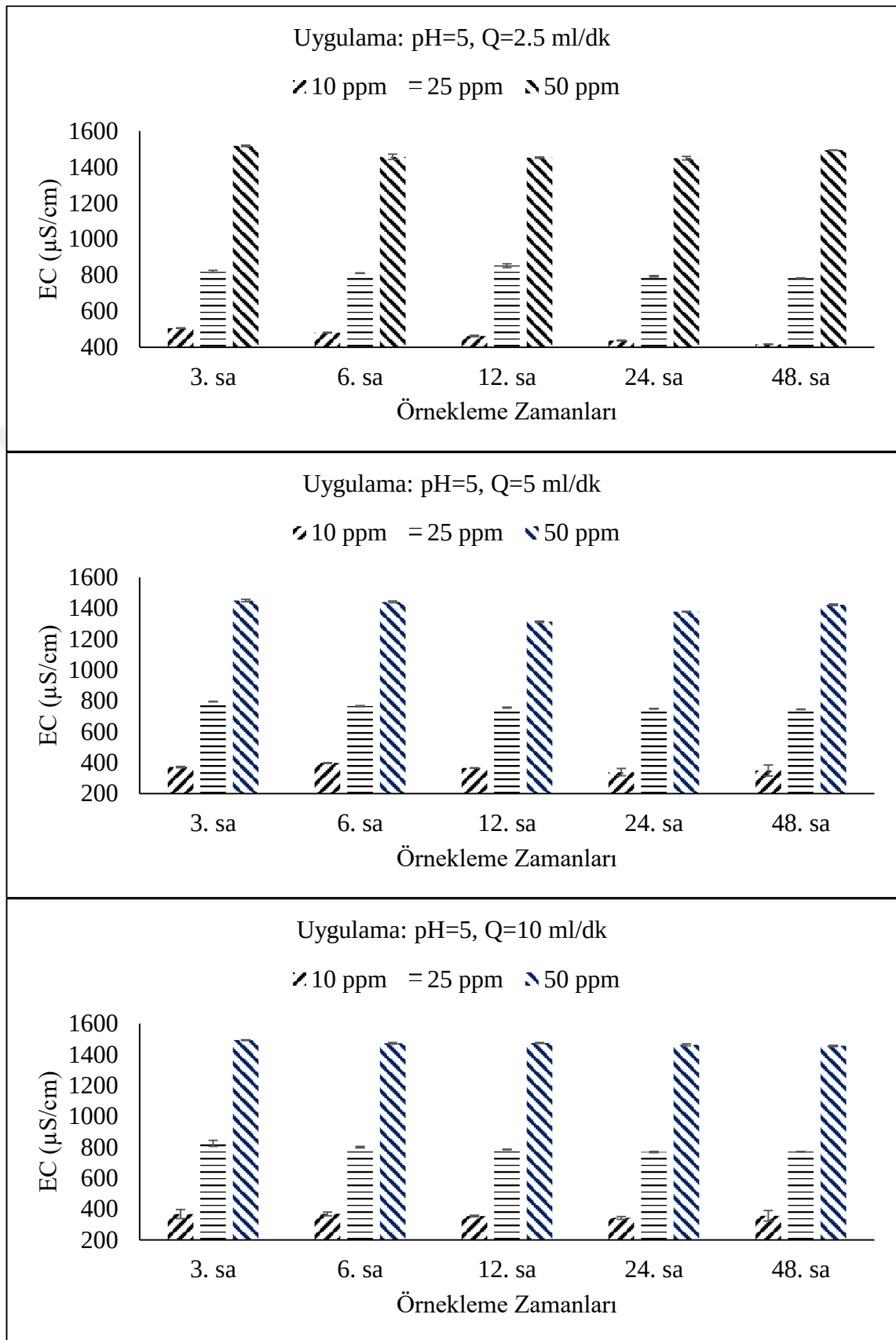
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2004 yılında yayınladığı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği gereğince arıtılan atık suların alıcı ortamlara deşarjında EC değerleri için 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri üst limit olarak belirlenmiştir (SKKY,2004). Çalışmada elde edilen tüm EC değerlerinin bu kriteri sağladığı Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te de açıkça görülmektedir.

Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 5 iken arıtılma esnasındaki EC değişimleri

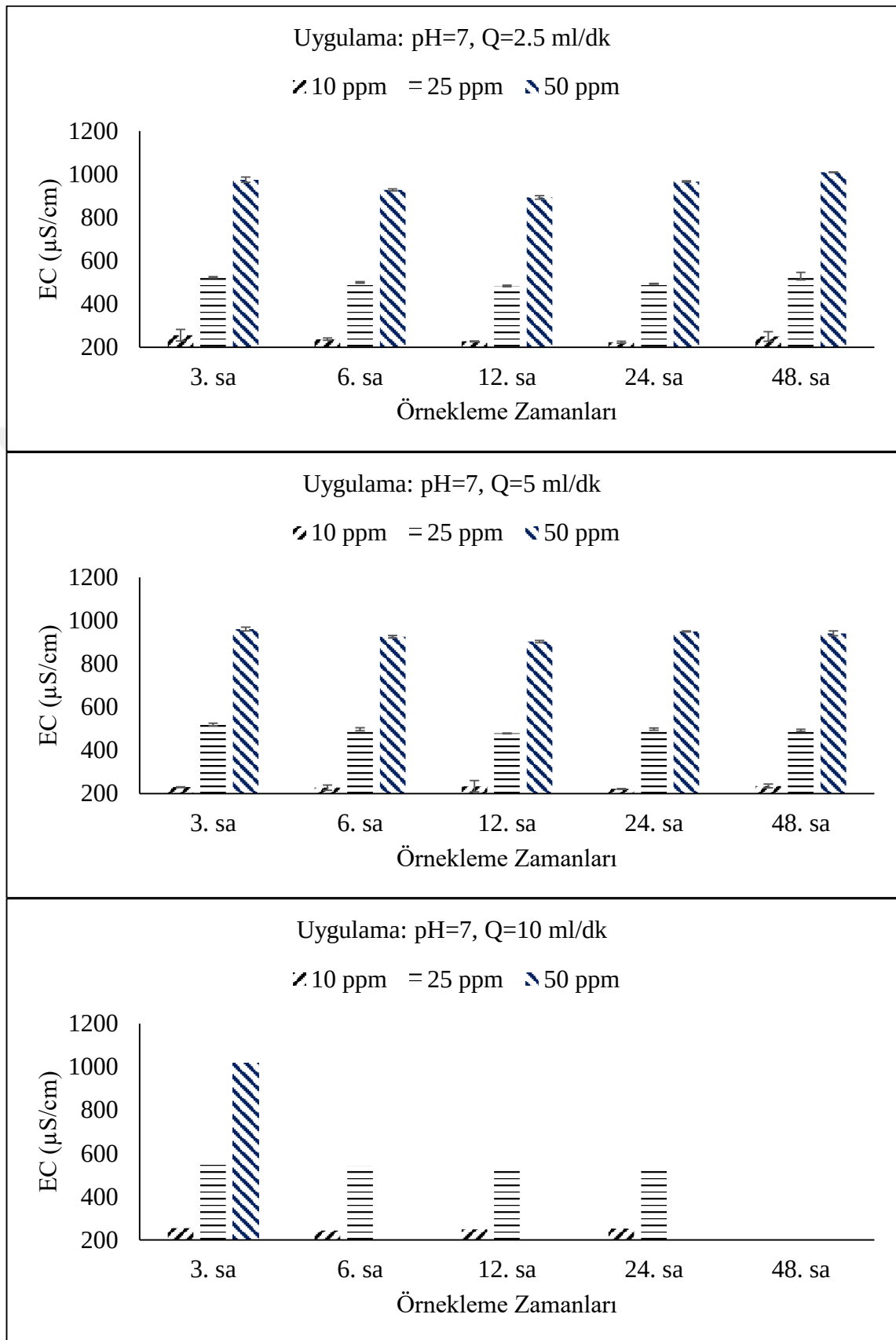
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	506.6	481.6	462.8	438.1	417.0
		25	821.2	812.1	852.7	794.0	783.4
		50	1517.0	1456.7	1452.3	1448.7	1493.7
	5	10	371.8	397.9	365.6	405.7	382.6
		25	795.6	766.5	756.9	748.9	745.1
		50	1449.7	1440.7	1312.7	1378.0	1422.7
	10	10	367.6	369.0	354.6	342.6	356.1
		25	824.3	801.1	785.4	769.3	771.2
		50	1493.7	1472.3	1474.7	1462.7	1456.0
Pumis	2.5	10	316.5	310.0	296.6	314.0	287.2
		25	651.4	569.5	556.8	637.2	648.1
		50	1235.7	1212.7	1204.0	1190.3	1163.0
	5	10	250.2	292.7	257.5	271.4	280.1
		25	656.6	646.1	643.5	643.9	652.4
		50	1217.7	1217.7	1181.0	1216.3	1226.0
	10	10	273.5	270.4	277.9	273.8	278.7
		25	638.0	619.1	630.4	645.9	624.7
		50	1172.7	1185.7	1234.7	1221.7	1229.3

Tablo 3.4. Çalışmada kullanılan sentetik atık suların pH dereceleri 7 iken arıtılma esnasındaki EC değişimleri

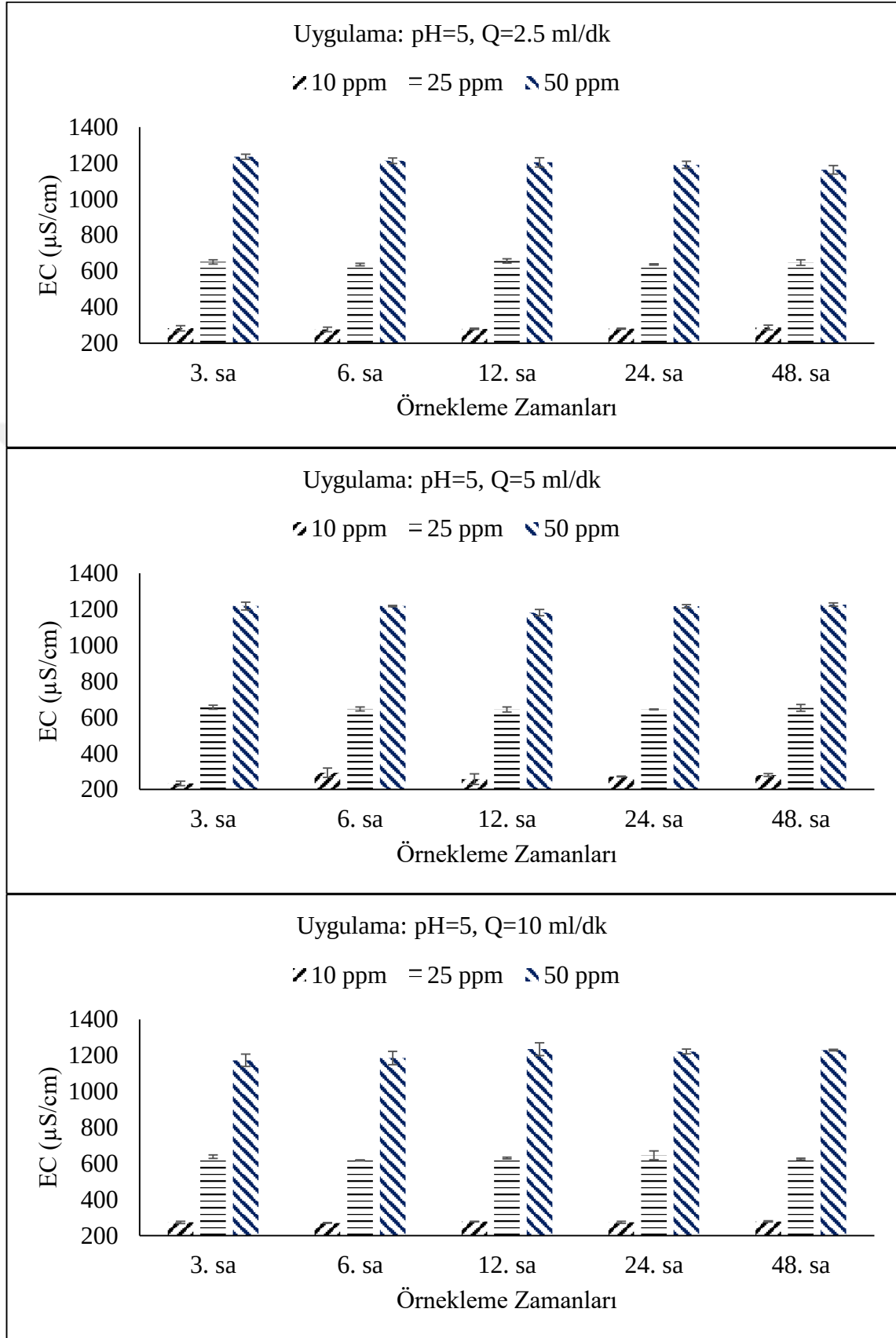
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	255.6	237.5	227.4	223.2	250.2
		25	523.5	499.9	483.9	493.3	529.2
		50	974.6	927.8	892.3	966.5	1009.3
	5	10	229.7	227.3	234.0	221.7	235.3
		25	519.3	497.3	478.7	498.3	492.3
		50	960.7	925.3	903.0	949.7	941.0
	10	10	254.4	242.76	248.8	251.9	-
		25	548.3	540.5	534.9	538.8	-
		50	1016.3	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	202.0	225.5	237.2	227.0	208.4
		25	458.9	445.3	440.7	438.7	428.0
		50	834.8	840.5	833.3	821.6	657.3
	5	10	203.1	209.7	213.8	209.2	217.9
		25	437.6	411.9	435.6	429.0	-
		50	873.7	880.9	-	-	-
	10	10	210.7	222.1	208.3	229.8	-
		25	430.3	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



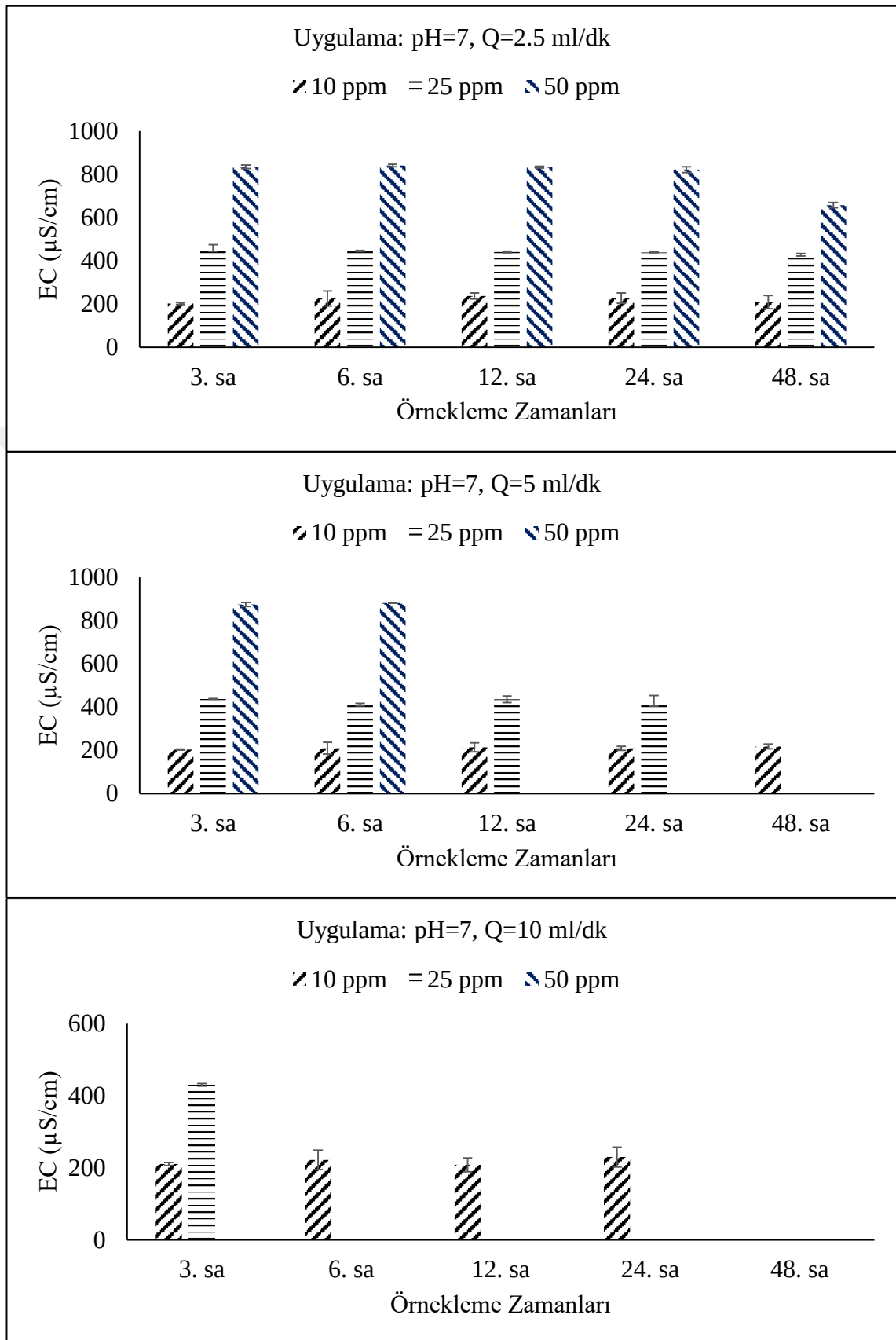
Şekil 3.5. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı EC değişimi



Şekil 3.6. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı EC değişimi



Şekil 3.7. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı EC değişimi



Şekil 3.8. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı EC değişimi

3.3. Ağır Metallerin Arıtma İşlemi Esnasında Uğradığı Değişim

Laboratuvar koşullarında hazırlanan 10, 25 ve 50 ppm ağır metal içeren sentetik atık sular, kolonlarda bulunan filtre materyalleri üzerine uygulanmıştır. Arıtma işlemi esnasında farklı zamanlarda örneklemeler yapılmıştır. Alınan örnekler ICP-OES cihazında analize tabi tutulmuş olup ihtiyaç duyulan sonuçlar elde edilmiştir.

Tüm ağır metallerde her iki materyal ve pH koşullarında, düşük derişimlerde ve düşük akış hızlarında yüksek başarı oranına ulaşılmıştır. Doğrusal olarak yüksek derişim ve yüksek akış hızlarında filtre materyalinin doygunluğa erken ulaştığı gözlemlenmiştir. Yüksek pH koşullarında ve akış hızlarında filtre materyallerinde tıkanmalar meydana gelerek sistem görevini yerine getirememiştir. Bunun sebebi olarak ise metallerin oksitlendiği düşünülmektedir.

Arıtılan atık suların alıcı ortamlara deşarj limitleri ülkemizde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2004 yılında yayınladığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirlenmiştir. Her bir metal için ilgili yönetmelikte belirlenen kriterler ayrı ayrı incelenecektir.

3.3.1. Kadmiyum (Cd)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait kadmiyum içerikleri yapılan analizler neticesinde 0.07 ve 0.05 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki kadmiyum içerikleri Tablo 3.5 ile Tablo 3.6'da ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.7 ile Tablo 3.8'de görülmektedir. Kadmiyum elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Cd uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.73 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 48. saat sonunda %0.29 olarak belirlenmiştir. Zeolit materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 3. saat sonunda %99.94 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %35.01 olarak belirlenmiştir.

Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Cd uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.96 olarak

belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 12. saat sonunda %11.73 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 3. saat sonunda %96.37 olarak belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 12. saat sonunda %23.37 olarak belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre kadmiyum metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 2 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanamadığı görölmektedir. Bu kriterlerin sağlandığı en üst seviyeye pumis materyalinde 2.5 ml/dk akış hızında 50 ppm derişime sahip uygulamada 12. saatte alınan örnekte erişilmiştir.

Baker ve ark. (2009) atık sulardan kadmiyum giderimi için filtre materyali olarak zeolit kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimde çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 2 saat süre ile uygulayarak %100 giderim sağlamışlardır. Li ve Champagne (2009) turba ve yumuşakça kabuğu kullandıkları çalışmada, 209 ppm derişimde çözeltiyi 3.4 ml/dk akış hızında 24 saat süre ile uygulamışlar ve %47.9 giderim sağlamışlardır. Viggi ve ark. (2010) kompost kullandıkları çalışmada 0.5 ml/dk akış hızı ve 0.1 mM derişimde çözelti kullanarak 18 saat süre sonucunda %30 giderim etkinliği belirlemişlerdir. Liu ve ark. (2013) kitosan kullanarak 15 ppm derişimdeki çözeltiyi 1 ml/dk akış hızında 5 saat süre ile uygulamışlar ve %100 başarı sağladıklarını belirtmişlerdir. Fan ve ark. (2018) farklı materyallerin karışımlarını kullanarak 0.5 ppm derişimdeki çözeltiyi 6 ml/dk akış hızında 5 saat süre ile uygulamışlar ve %97 giderim sağlamışlardır. Barragán-Peña ve ark. (2021) zeolit kullandıkları çalışmada 31 ppm derişimdeki çözeltiyi 1 ml/dk akış hızında 1800 dk süre ile uygulamışlar ve %34.17 başarı sağladıklarını belirtmişlerdir. Egbosiuba ve ark. (2022) gazlı bez ve pamuk yünü kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 5 ml/dk akış hızında 1600 dk süre ile uygulamışlar ve %99.96 giderim sağladıklarını bildirmişlerdir. Cheng ve ark. (2022) krofton otundan elde edilen biyokömür kullandıkları çalışmada ise 2 ppm derişime sahip çözeltiyi 2 ml/dk akış hızında 1050 dk süre ile uygulamışlar ve %95 giderim etkinliği sağladıklarını belirtmişlerdir.

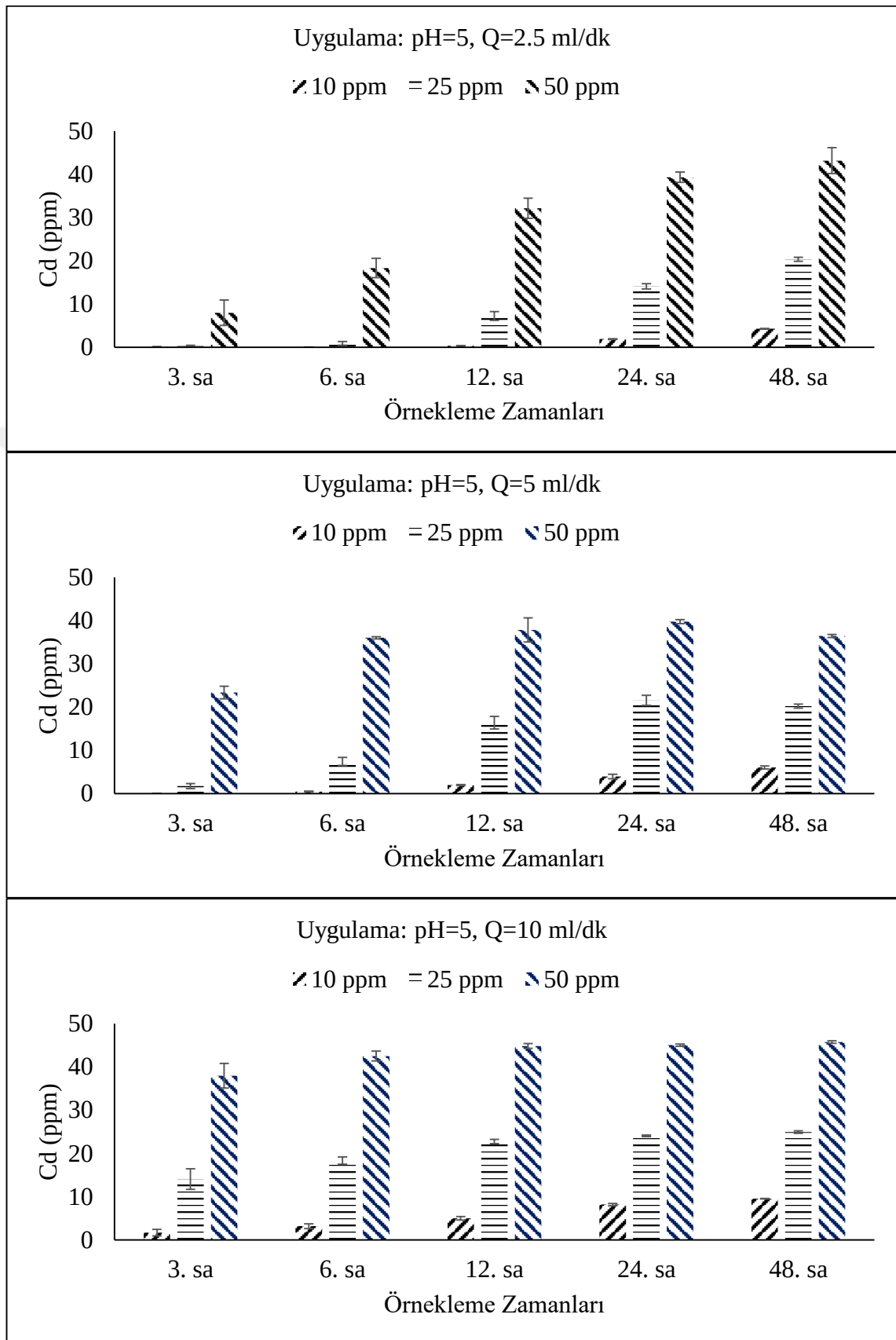
Yürütölen çalışma ve benzer çalışmaların sonuçlarından da anlaşılacağı üzere zeolit materyalinin kadmiyum gideriminde oldukça başarılı sonuçlar sergilediği görölmüşür.

Tablo 3.5. Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

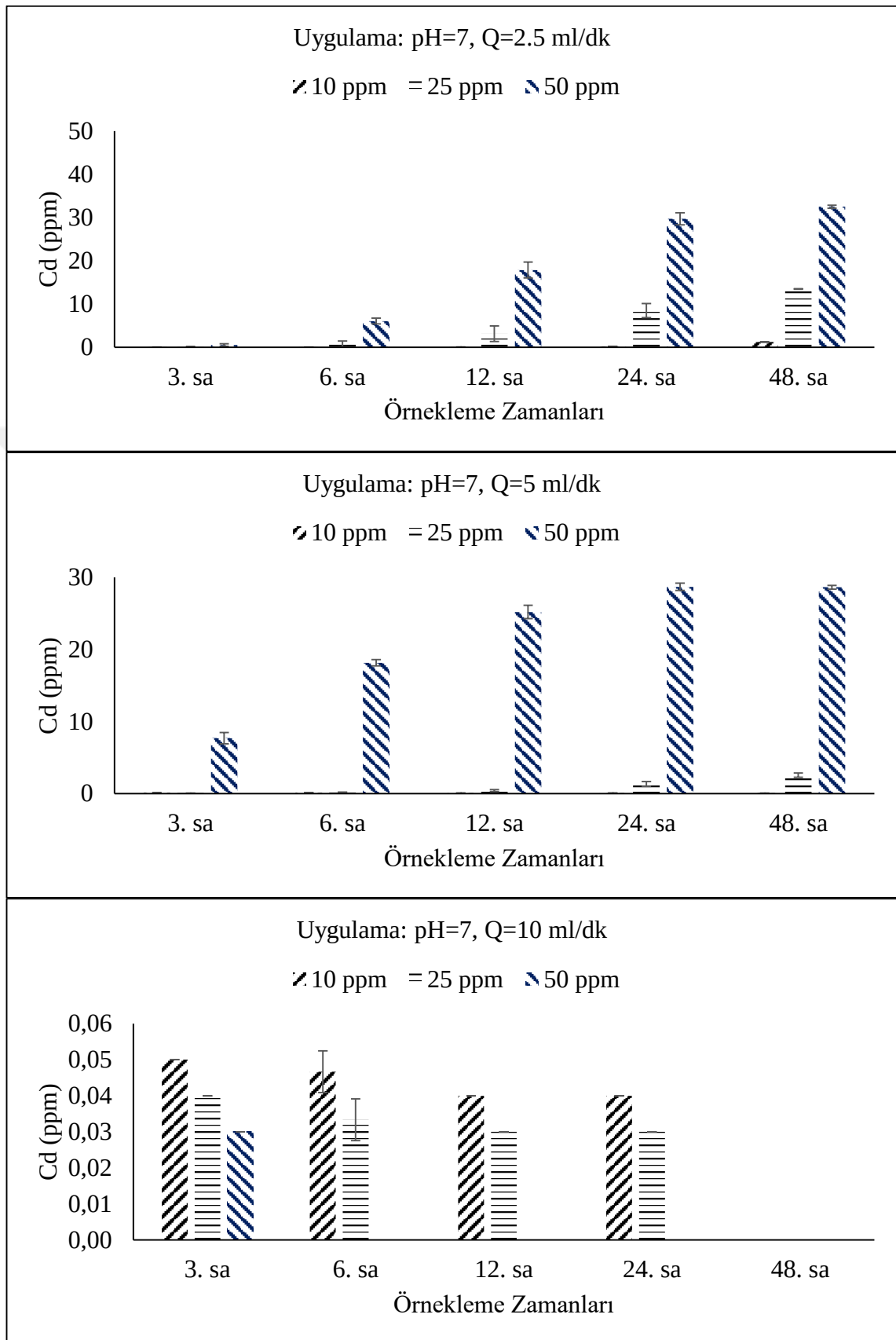
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.07	0.03	0.35	1.89	4.29
		25	0.31	0.90	7.26	14.10	20.34
		50	7.98	18.33	32.13	39.31	43.15
	5	10	0.03	0.49	1.95	3.95	6.05
		25	1.74	7.45	16.38	21.58	20.24
		50	23.38	36.02	37.84	39.76	36.44
	10	10	1.69	3.18	5.00	8.17	9.53
		25	14.06	18.32	22.77	24.07	24.93
		50	37.94	42.51	44.83	45.02	45.74
Pumis	2.5	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		25	0.0	0.0	0.0	0.03	0.03
		50	0.03	0.02	1.59	40.87	40.40
	5	10	4.96	7.71	8.83	8.67	8.45
		25	20.29	21.58	21.69	21.49	21.44
		50	39.31	39.37	39.14	38.87	39.24
	10	10	7.67	8.70	8.19	8.16	8.10
		25	21.31	21.44	21.12	20.95	20.63
		50	38.63	38.99	40.39	39.94	39.94

Tablo 3.6. Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

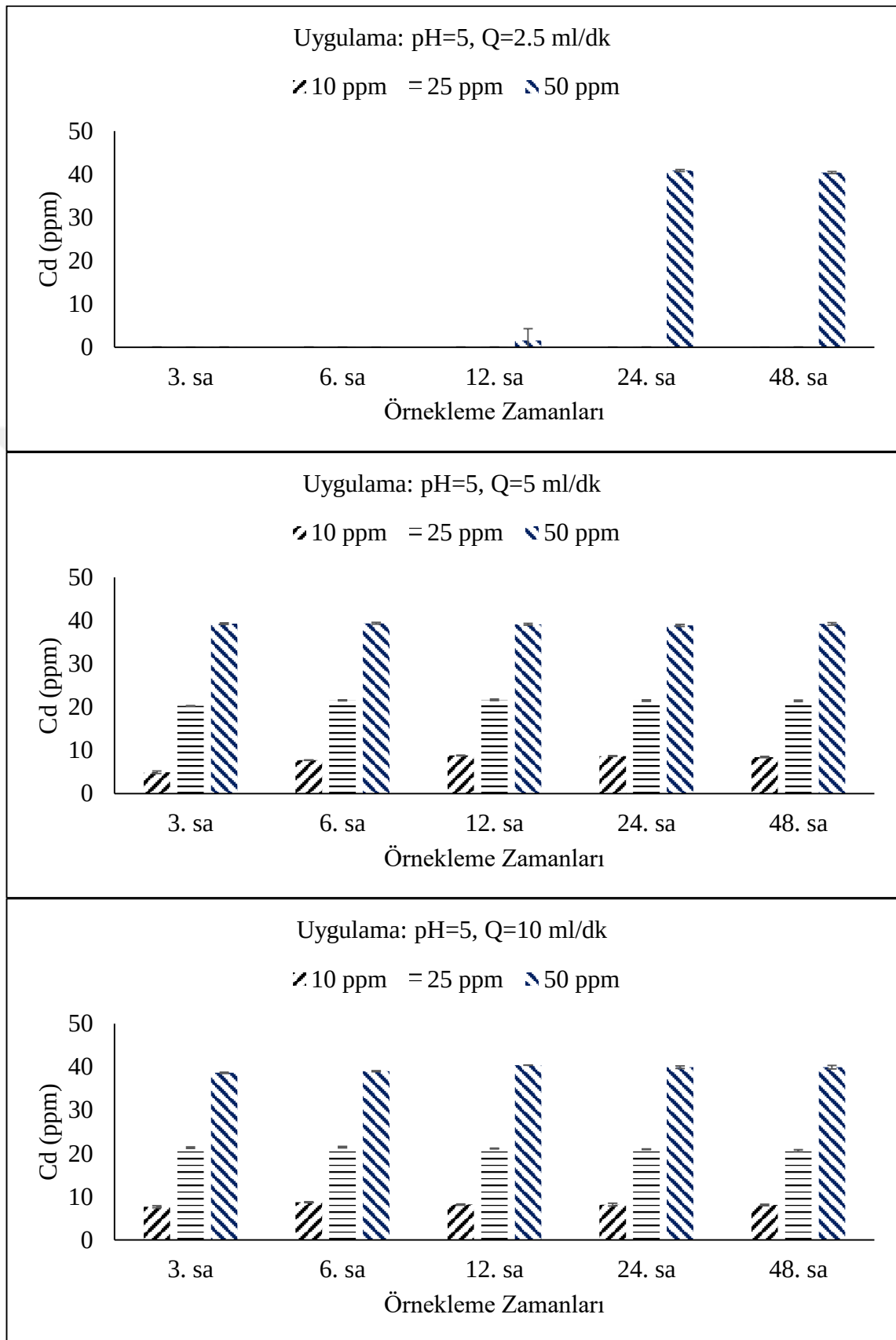
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.03	0.02	0.04	0.18	1.23
		25	0.13	0.80	3.15	8.49	13.47
		50	0.54	6.06	17.86	29.70	32.50
	5	10	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05
		25	0.06	0.13	0.42	1.34	2.56
		50	7.70	18.15	25.19	28.68	28.62
	10	10	0.05	0.05	0.04	0.04	-
		25	0.04	0.03	0.03	0.03	-
		50	0.03	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	0.36	0.96	2.51	4.83	6.73
		25	6.08	10.24	16.20	18.68	20.29
		50	25.64	32.72	36.39	38.06	37.72
	5	10	0.57	2.71	4.91	5.20	5.77
		25	8.51	16.50	19.16	18.62	-
		50	23.09	33.63	-	-	-
	10	10	3.57	5.30	5.77	6.42	-
		25	16.85	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



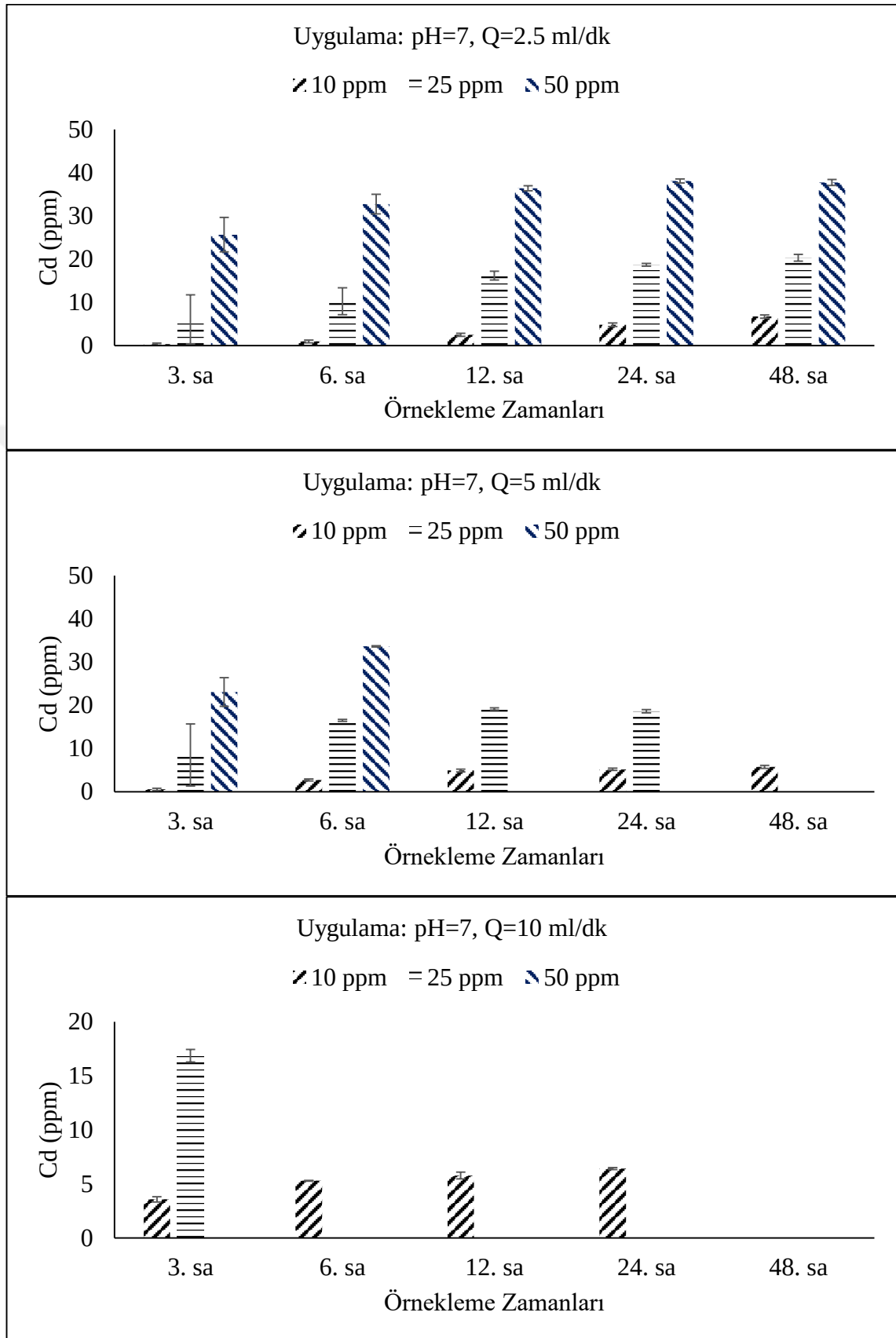
Şekil 3.9. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cd değişimi



Şekil 3.10. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cd değişimi



Şekil 3.11. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cd değişimi



Şekil 3.12. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cd değişimi

Tablo 3.7. Farklı uygulamalarla Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.27	99.73	96.47	81.07	57.13
		25	98.77	96.39	70.97	43.60	18.65
		50	84.04	63.33	35.75	21.38	13.69
	5	10	99.67	95.07	80.47	60.47	39.50
		25	93.05	70.19	34.49	13.67	19.05
		50	53.24	27.96	24.32	20.48	27.11
	10	10	83.13	68.20	50.03	18.30	4.67
		25	43.76	26.73	8.93	3.73	0.29
		50	24.11	14.97	10.33	9.96	8.51
Pumis	2.5	10	99.70	99.70	99.70	99.77	99.80
		25	99.92	99.89	99.88	99.88	99.88
		50	99.94	99.96	96.82	18.25	19.21
	5	10	50.37	22.87	11.73	13.27	15.47
		25	18.84	13.69	13.24	14.03	14.25
		50	21.38	21.25	21.71	22.26	21.52
	10	10	23.27	13.00	18.10	18.40	19.00
		25	14.76	14.23	15.53	16.21	17.48
		50	22.73	22.01	19.21	20.11	20.12

Tablo 3.8. Farklı uygulamalarla Kadmiyum (Cd) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.73	99.80	99.60	98.23	87.67
		25	99.49	96.80	87.40	66.05	46.11
		50	98.93	87.87	64.29	40.59	35.01
	5	10	99.00	99.10	99.27	99.37	99.47
		25	99.75	99.47	98.31	94.63	89.75
		50	84.61	63.71	49.61	42.64	42.77
	10	10	99.50	99.53	99.60	99.60	-
		25	99.84	99.87	99.88	99.88	-
		50	99.94	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	96.37	90.40	74.87	51.73	32.67
		25	75.68	59.03	35.21	25.27	18.83
		50	48.71	34.57	27.22	23.89	24.57
	5	10	94.30	72.93	50.87	48.03	42.30
		25	65.97	33.99	23.37	25.51	-
		50	53.82	32.75	-	-	-
	10	10	64.30	47.03	42.27	35.77	-
		25	32.59	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-

3.3.2. Kobalt (Co)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait kobalt içerikleri yapılan analizler neticesinde 2.24 ve 3.27 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki kobalt içerikleri Tablo 3.9 ile Tablo 3.10’da ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.11 ile Tablo 3.12’de görülmektedir. Kobalt elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Co uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.50 olarak belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %1.86 olarak belirlenmiştir. Zeolit materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 3. saat sonunda %99.90 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %4.74 olarak belirlenmiştir.

Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Co uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.94 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %1.69 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 3. saat sonunda %91.03 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 48. saat sonunda %3.99 olarak belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre kobalt metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için herhangi bir limit belirtilmemiştir (SKKY, 2004). Düşük pH, akış hızı ve derişimlerde yüksek performanslar elde edilirken belirtilen şartların arttığı koşullarda performanslarda düşüşler gözlemlenmiştir.

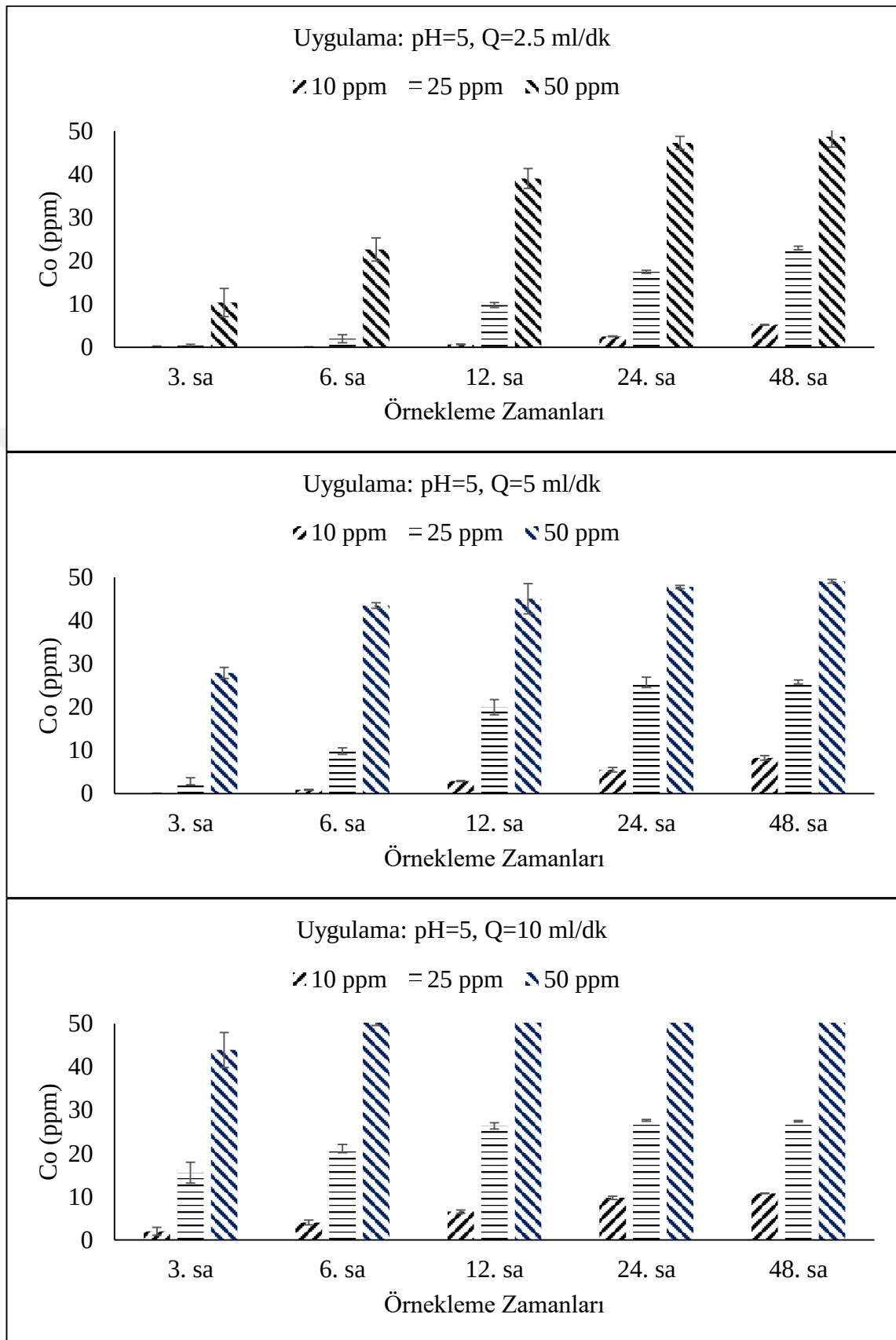
Tofan ve ark., (2013) atık sulardan kobalt giderimi için filtre materyali olarak kenevir lifi kullandıkları çalışmada 25 ppm derişimdeki çözeltiyi 550 dk süre ile uyguladıklarında materyalin doygunluğa ulaştığını tespit etmişlerdir. Yürütülen çalışmada hem zeolit hem de pumis materyalinde 10 ml/dk akış hızı dışında 48 saat süre sonunda dahi materyallerin doygunluğa ulaşmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.9. Kobalt (Co) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

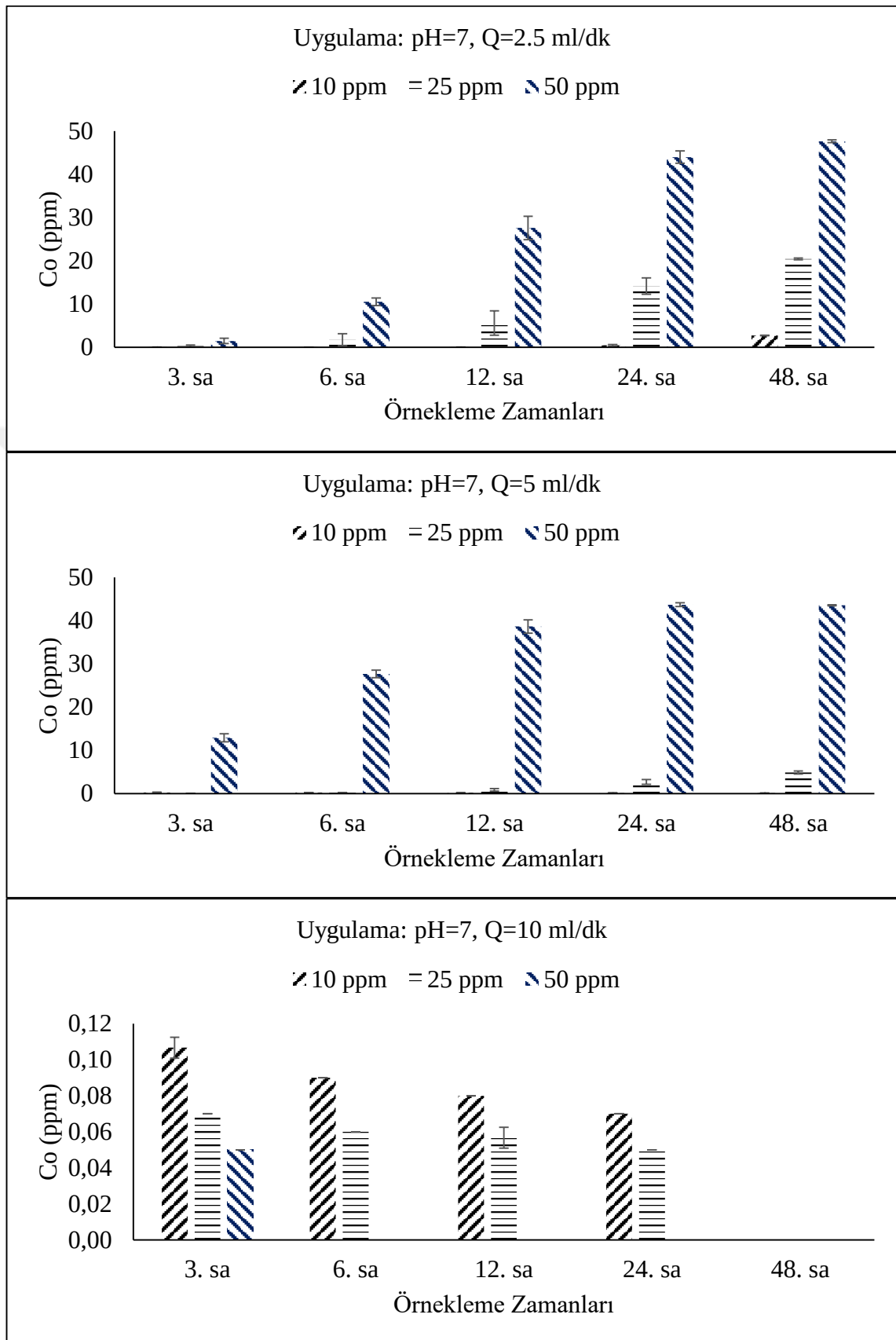
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.13	0.05	0.65	2.52	5.21
		25	0.41	1.96	9.75	17.44	22.97
		50	10.34	22.61	39.03	47.26	48.72
	5	10	0.07	0.86	2.89	5.50	8.26
		25	2.85	9.81	19.97	25.73	25.82
		50	27.91	43.47	45.03	47.76	49.07
	10	10	1.98	4.03	6.54	9.74	10.75
		25	15.54	21.13	26.37	27.63	27.42
		50	43.93	51.42	54.21	54.19	54.41
Pumis	2.5	10	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
		25	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
		50	0.04	0.03	2.06	49.11	49.15
	5	10	6.11	8.31	8.97	8.79	9.25
		25	21.46	22.68	22.79	22.53	24.04
		50	44.24	44.60	44.47	44.12	47.14
	10	10	8.68	9.45	9.00	9.03	8.89
		25	23.95	24.22	24.00	23.83	23.41
		50	47.24	47.48	49.07	49.02	48.64

Tablo 3.10. Kobalt (Co) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

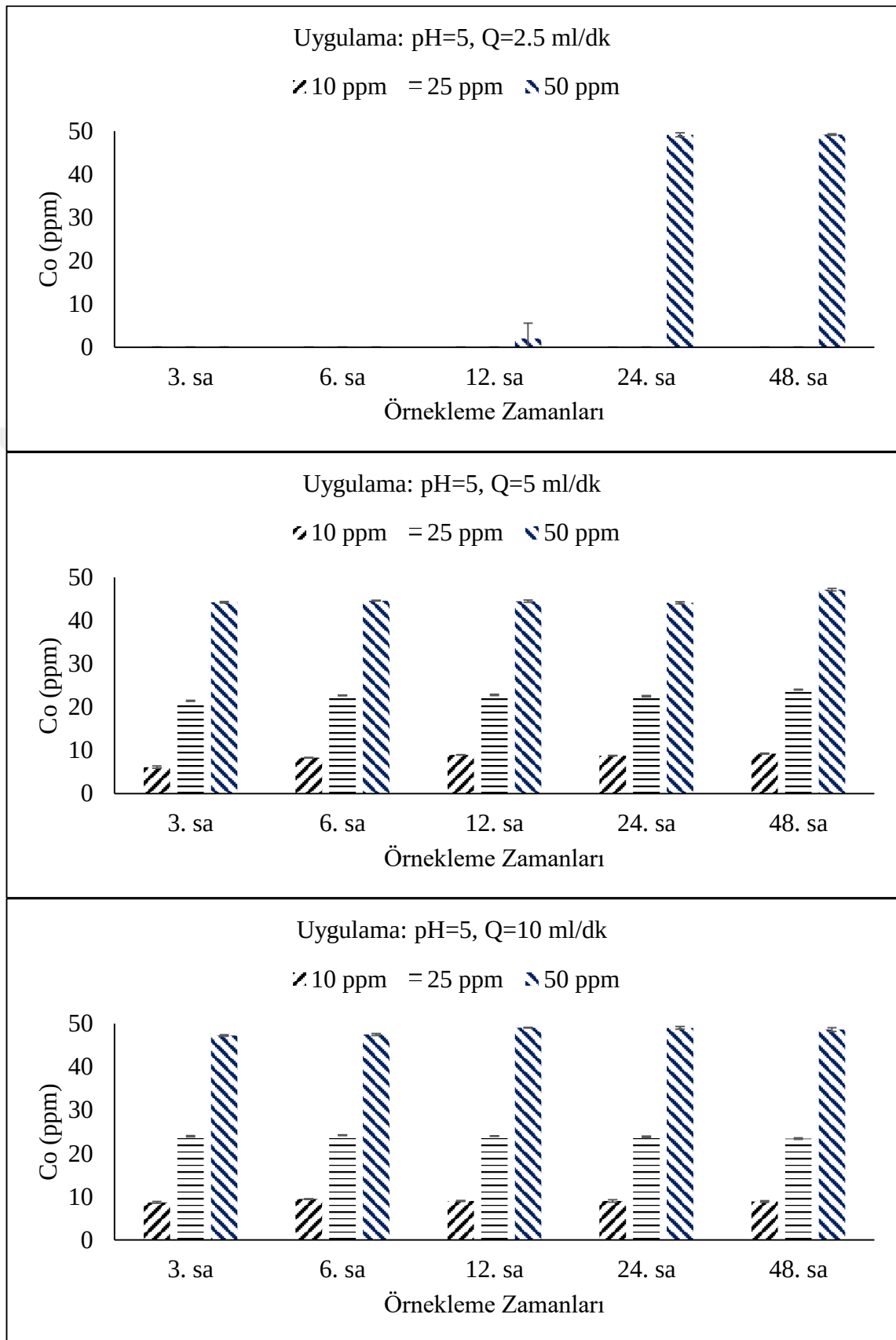
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.04	0.02	0.03	0.45	2.73
		25	0.30	1.74	5.61	14.15	20.41
		50	1.46	10.51	27.60	43.95	47.63
	5	10	0.26	0.21	0.17	0.14	0.12
		25	0.05	0.15	0.89	2.70	4.88
		50	12.91	27.65	38.64	43.65	43.51
	10	10	0.11	0.09	0.08	0.07	-
		25	0.07	0.06	0.06	0.05	-
		50	0.05	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	0.90	2.45	4.57	6.84	8.21
		25	9.44	15.81	21.05	22.68	24.00
		50	35.70	43.49	46.52	47.37	47.50
	5	10	1.58	4.75	6.72	6.82	7.21
		25	11.53	20.75	22.78	22.20	-
		50	34.71	43.76	-	-	-
	10	10	5.55	7.07	7.31	7.84	-
		25	20.94	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



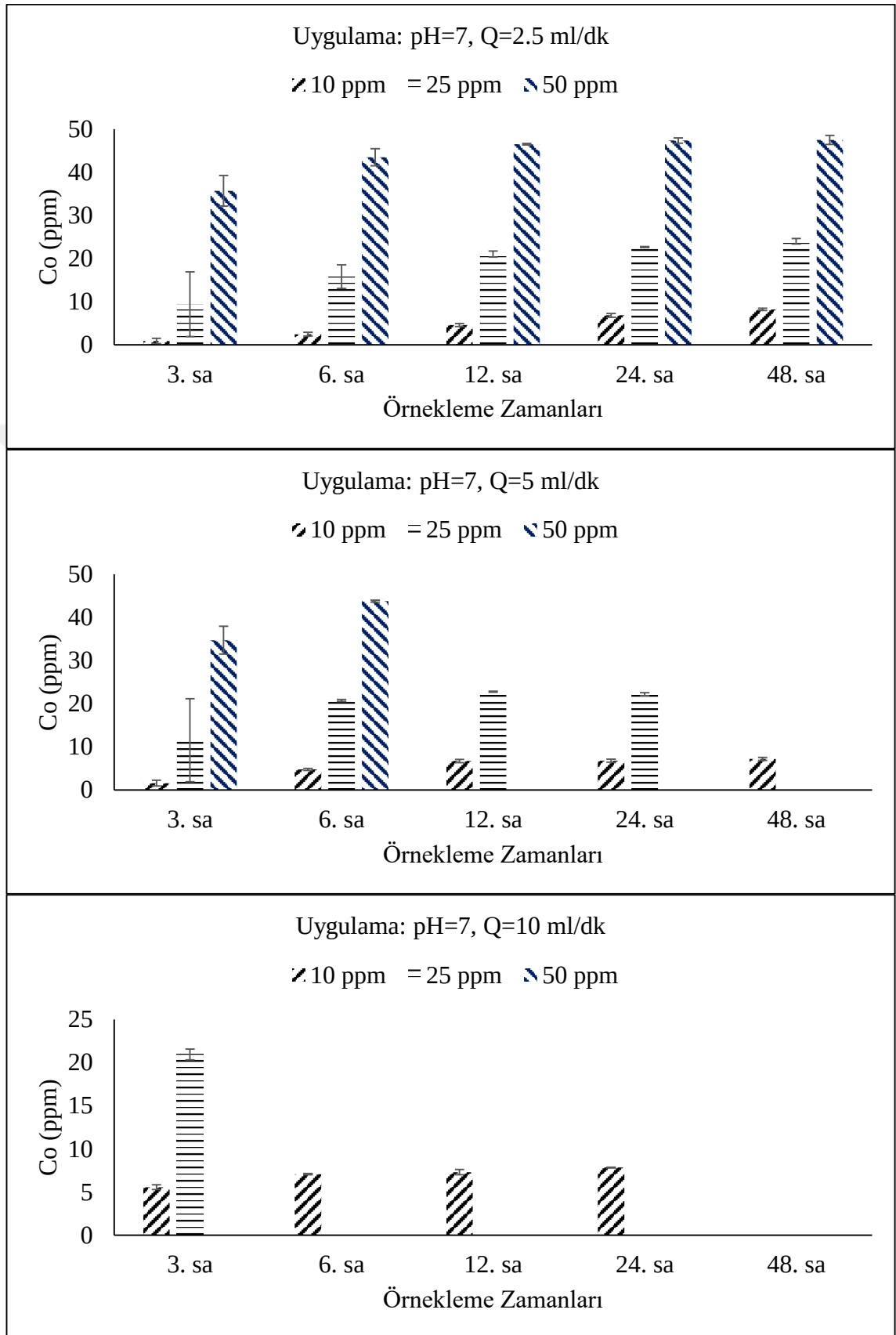
Şekil 3.13. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Co değişimi



Şekil 3.14. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Co değişimi



Şekil 3.15. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Co değişimi



Şekil 3.16. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Co değişimi

Tablo 3.11. Farklı uygulamalarla Kobalt (Co) metalinin pH derecesinin 5 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	98.70	99.50	93.53	74.83	47.87
		25	98.36	92.15	60.99	30.23	8.11
		50	79.32	54.79	21.95	5.47	2.56
	5	10	99.33	91.37	71.10	45.00	17.40
		25	88.59	60.77	20.13	-2.91	-3.29
		50	44.17	13.05	9.95	4.48	1.86
	10	10	80.17	59.67	34.60	2.60	-7.53
		25	37.84	15.47	-5.48	-10.51	-9.67
		50	12.14	-2.83	-8.42	-8.39	-8.81
Pumis	2.5	10	99.57	99.60	99.60	99.67	99.70
		25	99.88	99.84	99.84	99.84	99.84
		50	99.93	99.94	95.88	1.77	1.69
	5	10	38.93	16.87	10.30	12.13	7.50
		25	14.17	9.28	8.83	9.87	3.83
		50	11.51	10.81	11.07	11.76	5.71
	10	10	13.23	5.53	10.03	9.70	11.10
		25	4.19	3.13	4.01	4.67	6.36
		50	5.53	5.05	1.87	1.95	2.71

Tablo 3.12. Farklı uygulamalarla Kobalt (Co) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.60	99.83	99.67	95.50	72.73
		25	98.79	93.04	77.55	43.40	18.36
		50	97.07	78.97	44.80	12.09	4.74
	5	10	97.40	97.90	98.30	98.60	98.83
		25	99.81	99.39	96.45	89.20	80.47
		50	74.19	44.71	22.71	12.69	12.97
	10	10	98.93	99.10	99.20	99.30	-
		25	99.72	99.76	99.77	99.80	-
		50	99.90	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	91.03	75.50	54.27	31.57	17.90
		25	62.25	36.76	15.80	9.28	3.99
		50	28.60	13.01	6.96	5.27	5.00
	5	10	84.17	52.50	32.80	31.83	27.87
		25	53.87	17.01	8.87	11.20	-
		50	30.58	12.48	-	-	-
	10	10	44.47	29.27	26.93	21.63	-
		25	16.24	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-

3.3.3. Krom (Cr)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait krom içerikleri yapılan analizler neticesinde 7.56 ve 2.90 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki krom içerikleri Tablo 3.13'te ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.14'te görülmektedir. Krom elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Cr uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 3. saat sonunda %99.95 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %21.27 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Cr uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızında 10 ve 25 ppm derişimde 48. saat boyunca %100.00 olarak belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %18.01 olarak belirlenmiştir.

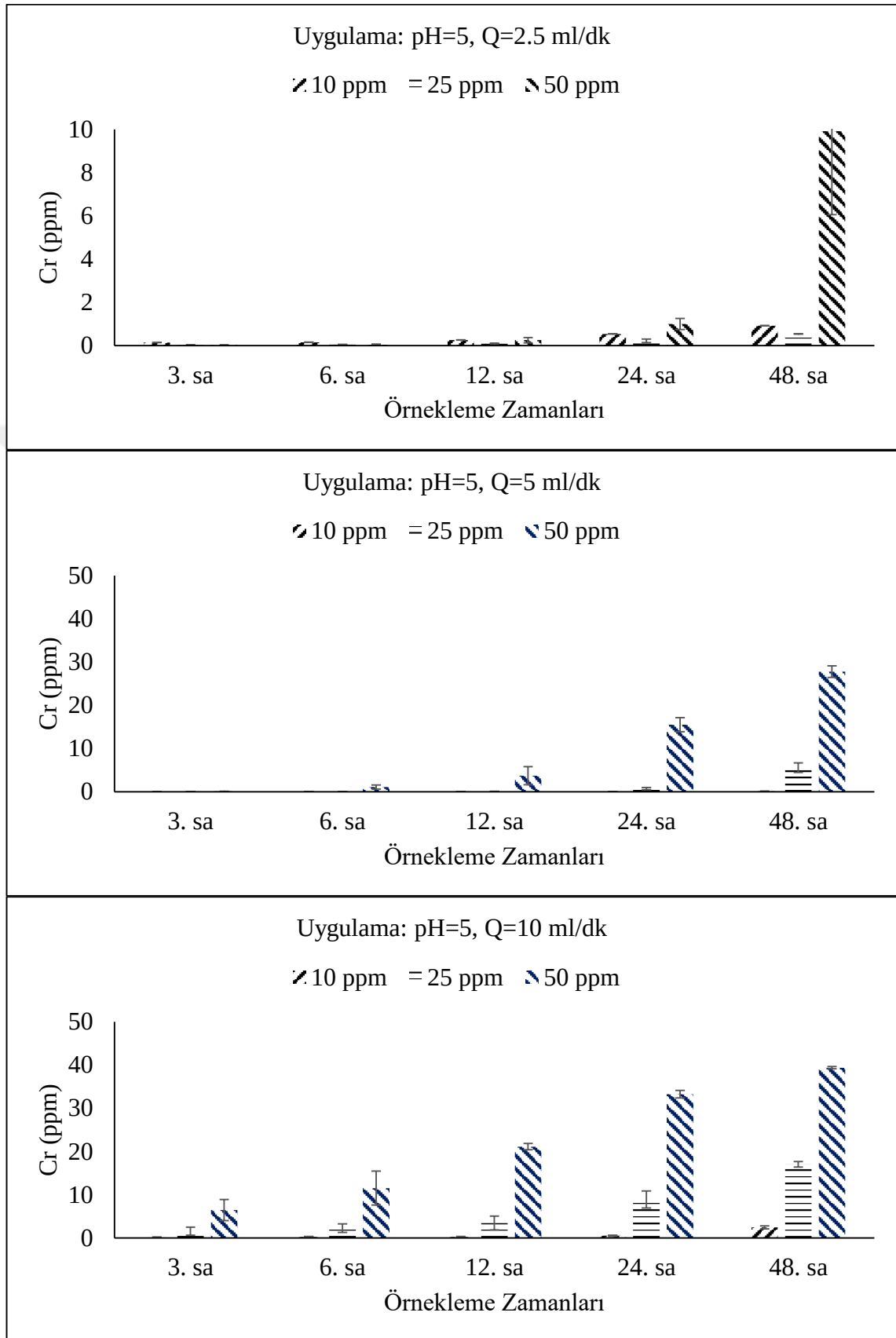
Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre krom metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 5 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanamadığı görülmektedir.

Baral ve ark. (2009) atık sulardan krom gidermeyi amaçladıkları çalışmada filtre materyali olarak eğrelti otu kömürü kullanarak 500 ppm derişimdeki çözeltiyi 60 ml/dk akış hızında 620 dk süre ile uygulamışlar ve %75.1 giderim sağlamışlardır. Viggi ve ark. (2010) kompost kullandıkları çalışmada 0.1 mM'lık çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 18 ay süre ile uygulamışlar ve %20 giderim sağladıklarını belirtmişlerdir. Liu ve ark. (2013) kitosan kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 1 ml/dk akış hızında 5 saat süre ile uygulamışlar ve %100 giderim sağladıklarını belirtmişlerdir. Zanin ve ark. (2017) zeolit kullandıkları çalışmada 10 ppm derişimdeki çözeltiyi 480 dk süre ile uygulamışlar ve %85 giderim sağlamışlardır. Mthombeni ve ark. (2018) zeolit kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 1.5 ml/dk akış hızında 2500 dk süre ile uygulamışlar ve %90 başarı sağlamışlardır. Yahya ve ark. (2020) deniz kabuğu kullandıkları çalışmada 67.5 ppm derişimdeki çözeltiyi 3 ml/dk akış hızında 2640 dk süre ile uygulamışlar ve %65.88 giderim sağlamışlardır. Guo ve ark. (2022) demirle kaplanmış linyit kullandıkları çalışmada 100 ppm derişimdeki çözeltiyi 0.27 ml/dk akış hızında 96 saat süre ile uygulamışlar ve %90 giderim sağladıklarını belirtmişlerdir.

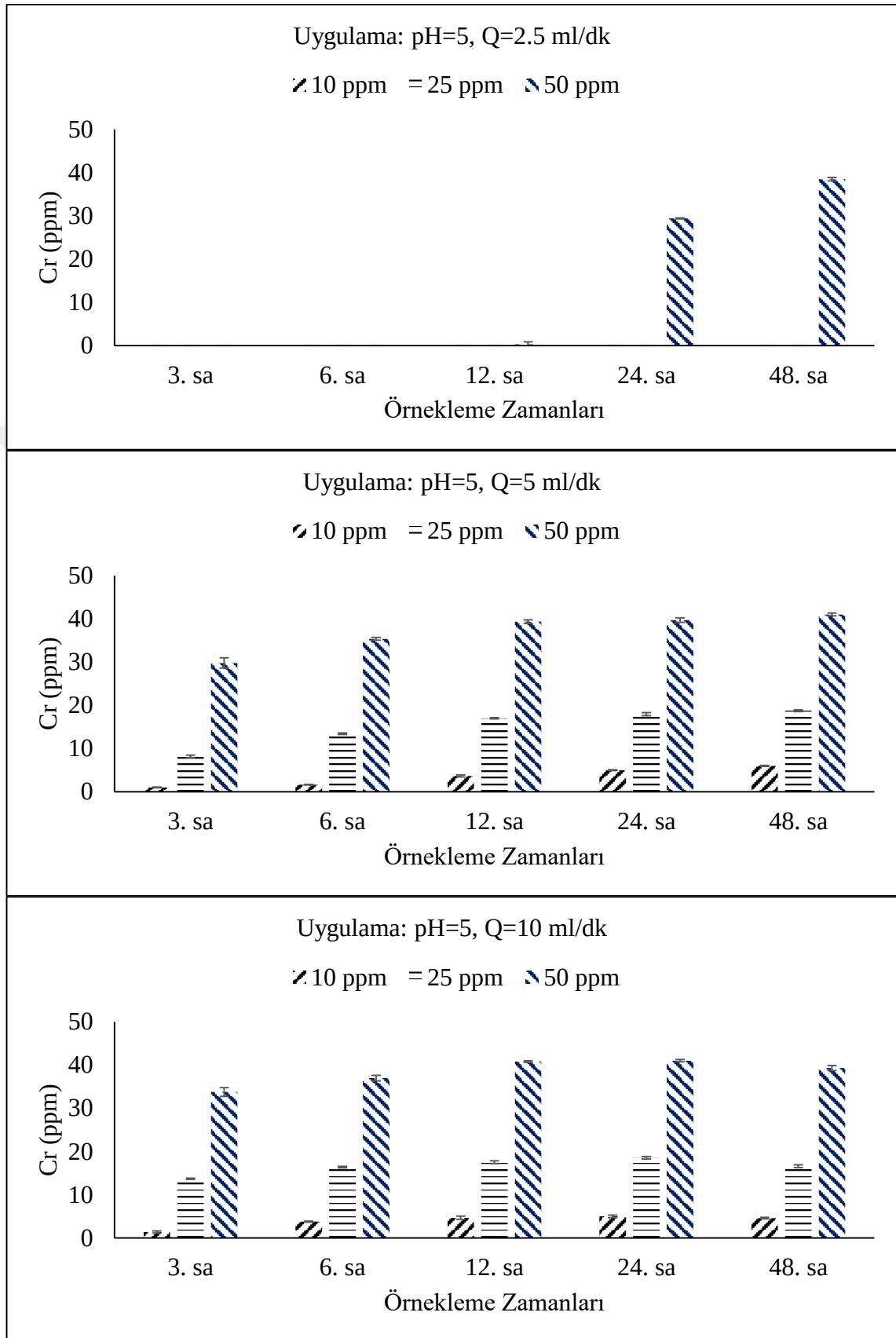
Benzer koşullarda yürütülen çalışmamızda ise pumis materyalinin diğer materyallere göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.13. Krom (Cr) metalinin arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.14	0.16	0.26	0.54	0.92
		25	0.03	0.04	0.09	0.22	0.54
		50	0.02	0.04	0.25	1.00	9.92
	5	10	0.01	0.03	0.03	0.04	0.10
		25	0.03	0.03	0.08	0.74	5.57
		50	0.10	1.09	3.71	15.52	27.77
	10	10	0.14	0.26	0.25	0.52	2.46
		25	1.58	2.27	3.46	8.88	17.03
		50	6.46	11.53	21.11	33.25	39.37
Pumis	2.5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		50	0.00	0.00	0.31	29.40	38.48
	5	10	1.02	1.63	3.66	5.00	5.98
		25	8.18	13.44	16.99	17.98	18.77
		50	29.77	35.34	39.36	39.70	40.99
	10	10	1.40	3.77	4.68	4.99	4.59
		25	13.69	16.37	17.54	18.54	16.61
		50	33.75	36.98	40.78	41.00	39.28



Şekil 3.17. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cr değişimi



Şekil 3.18. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cr değişimi

Tablo 3.14. Farklı uygulamalarla Krom (Cr) metalinin giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	98.57	98.43	97.40	94.63	90.77
		25	99.89	99.83	99.63	99.13	97.84
		50	99.95	99.92	99.49	97.99	80.16
	5	10	99.90	99.70	99.70	99.57	99.03
		25	99.88	99.88	99.69	97.04	77.71
		50	99.79	97.81	92.57	68.95	44.46
	10	10	98.57	97.43	97.50	94.83	75.40
		25	93.68	90.93	86.17	64.47	31.88
		50	87.09	76.94	57.78	33.49	21.27
Pumis	2.5	10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		50	100.00	100.00	99.37	41.19	23.03
	5	10	89.83	83.70	63.43	49.97	40.23
		25	67.28	46.24	32.04	28.08	24.93
		50	40.46	29.31	21.28	20.59	18.01
	10	10	86.00	62.30	53.23	50.13	54.10
		25	45.23	34.53	29.83	25.85	33.57
		50	32.51	26.03	18.45	18.01	21.45

3.3.4. Bakır (Cu)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait bakır içerikleri yapılan analizler neticesinde 6.22 ve 8.33 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki bakır içerikleri Tablo 3.15 ile Tablo 3.16’da ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.17 ile Tablo 3.18’de görülmektedir. Bakır elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Cu uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 12. saat sonunda %99.80 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %0.22 olarak belirlenmiştir. Zeolit materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 10 ml/dk akış hızında 10 ppm derişimde 48 saat boyunca %100.00 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 24. saat sonunda %83.29 olarak belirlenmiştir.

Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Cu uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.98 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 24. saat sonunda %6.53 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 12. saat sonunda %96.40 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 24. saat sonunda %78.12 olarak belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre bakır metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 2 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanamadığı görülmektedir.

Baker ve ark. (2009) atık sulardan bakır gidermeyi amaçladıkları çalışmada filtre materyali olarak zeolit kullanmışlar ve 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 2 saat süre ile uygulayarak %97 giderim sağlamışlardır. Viggi ve ark. (2010) kompost kullandıkları çalışmada 0.1 mM derişimdeki çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 18 ay süre uygulamışlar ve %70 başarı sağlamışlardır. Liu ve ark. (2013) kitosan kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 1 ml/dk akış hızında 5 saat süre ile uygulamışlar ve %100 giderim etkinliği belirlediklerini bildirmişlerdir. Zanin ve ark. (2017) zeolit kullandıkları çalışmada 10 ppm derişimdeki çözeltiyi 240 dk süre ile uygulamışlar ve %98 giderim sağlamışlardır. Dlugosz ve Banach (2018) vermikülit kullandıkları çalışmada 5000 ppm derişimdeki çözeltiyi 3 ml/dk akış hızında 140 dk süre ile uygulamışlar ve %69 giderim etkinliği tespit etmişlerdir. da Costa Racha ve ark. (2020) zeolit kullandıkları çalışmada 2 mmol/L derişimdeki çözeltiyi 3 ml/dk akış hızında 600 dk süre ile uygulamışlar ve %92.5 giderim belirlemişlerdir. Yahya ve ark. (2020)

deniz kabuğu kullandıkları çalışmada 7 ppm derişimdeki çözeltiyi 3 ml/dk akış hızında 2640 dk süre ile uygulamışlar ve %70 giderim etkinliği tespit etmişlerdir.

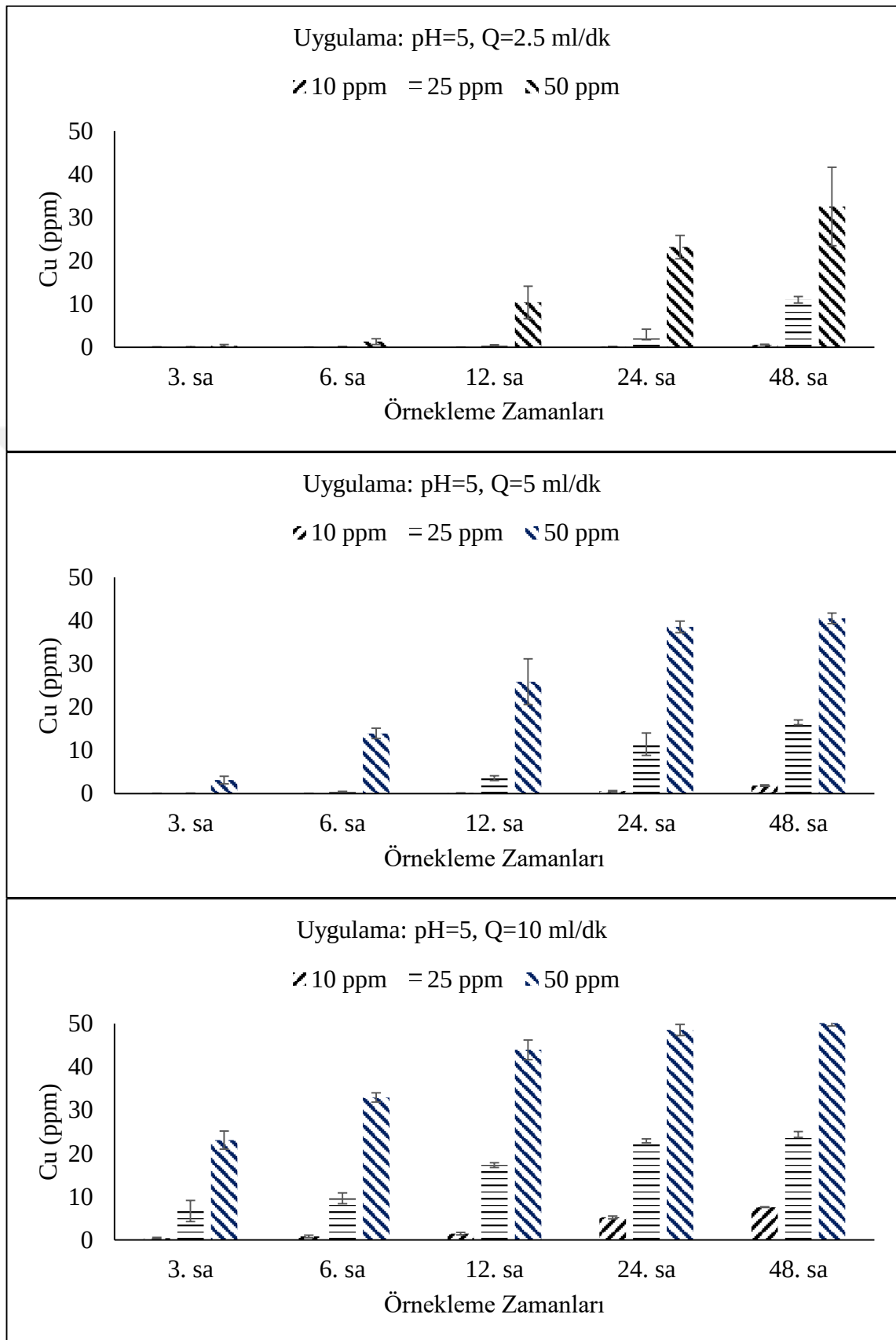
Benzer koşullarda yürütölen çalışmamızla ortak sonuçlar elde edildiğı görölmüş olup genel anlamda zeolit materyalinin atık sulardan bakır gideriminde kullanılmasının daha etkili sonuçlar sağlayacağı tespit edilmiştir.

Tablo 3.15. Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değışimleri

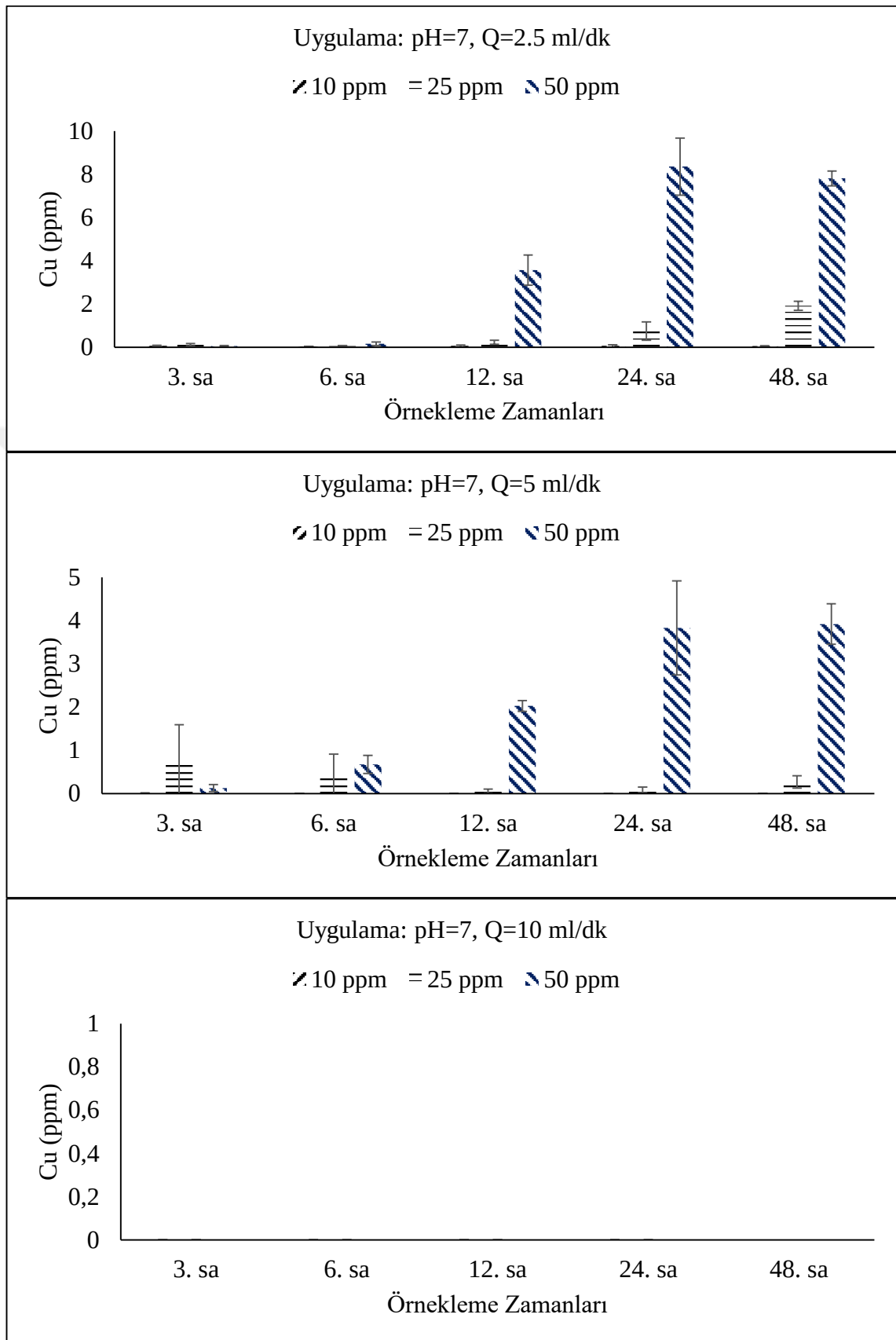
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.06	0.03	0.02	0.15	0.61
		25	0.09	0.11	0.33	2.97	10.98
		50	0.37	1.32	10.38	23.18	32.55
	5	10	0.06	0.03	0.11	0.50	1.85
		25	0.06	0.36	3.58	11.42	16.46
		50	3.14	13.91	25.85	38.53	40.53
	10	10	0.41	0.80	1.45	5.21	7.58
		25	6.66	9.61	17.31	22.88	24.40
		50	23.06	32.90	43.94	48.55	50.11
Pumis	2.5	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
		25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
		50	0.01	0.01	0.73	46.74	44.18
	5	10	1.83	6.46	8.11	7.97	7.06
		25	19.20	22.06	21.78	21.61	20.69
		50	43.82	44.37	43.86	42.33	43.19
	10	10	4.91	7.39	6.14	6.44	6.13
		25	21.01	22.35	21.25	20.09	20.10
		50	43.71	45.25	42.29	42.49	41.82

Tablo 3.16. Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

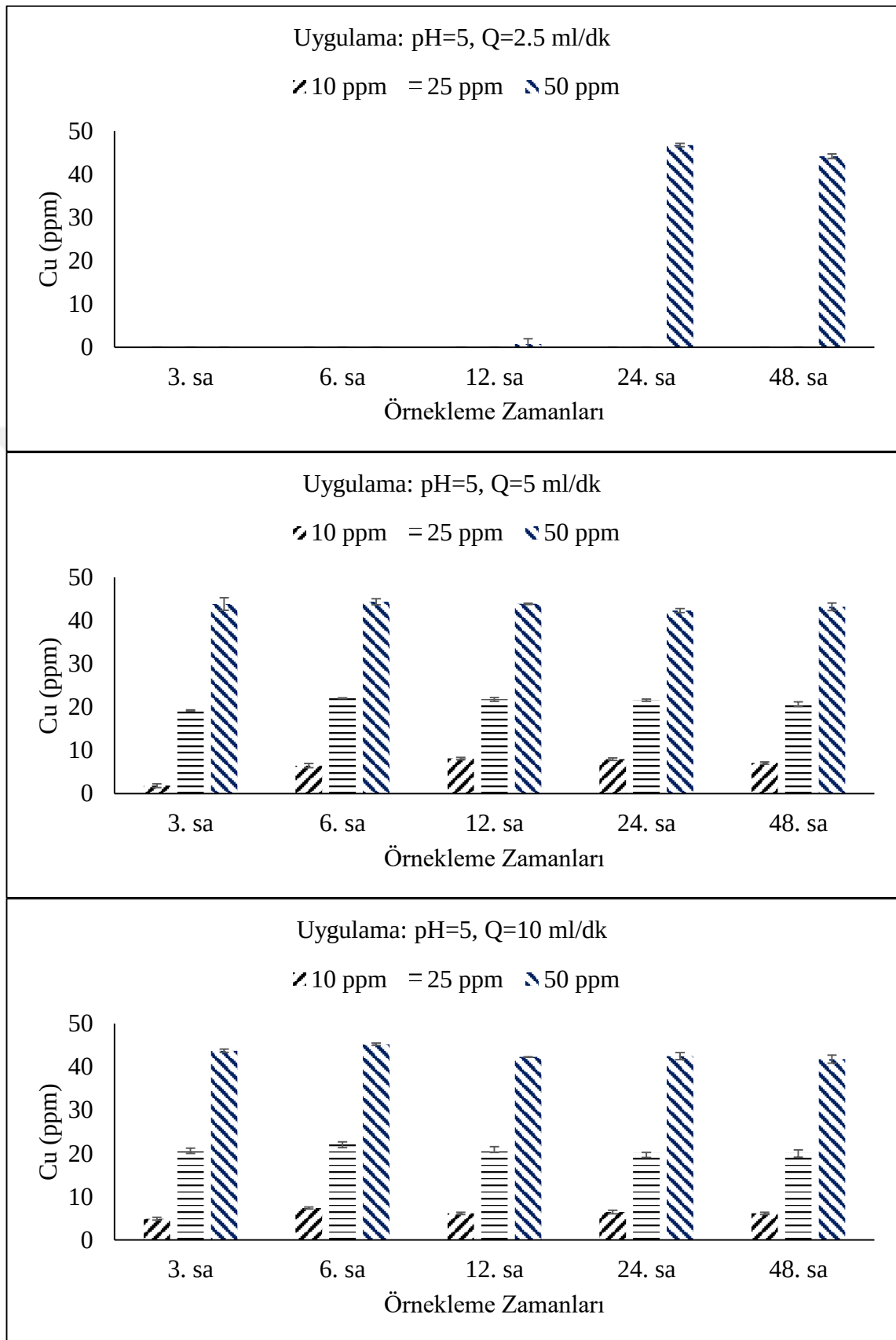
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.07	0.03	0.07	0.07	0.06
		25	0.11	0.06	0.23	0.75	1.92
		50	0.05	0.16	3.57	8.35	7.81
	5	10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		25	0.71	0.36	0.06	0.09	0.27
		50	0.13	0.67	2.03	3.83	3.92
	10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	-
		25	0.00	0.00	0.00	0.00	-
		50	0.00	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	0.09	0.08	0.06	0.09	0.43
		25	0.25	0.30	0.45	1.58	2.83
		50	0.90	1.57	3.64	10.94	3.46
	5	10	0.10	0.11	0.15	0.24	0.50
		25	0.50	1.29	2.37	4.67	-
		50	0.65	2.63	-	-	-
	10	10	0.25	0.35	0.72	1.31	-
		25	2.27	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



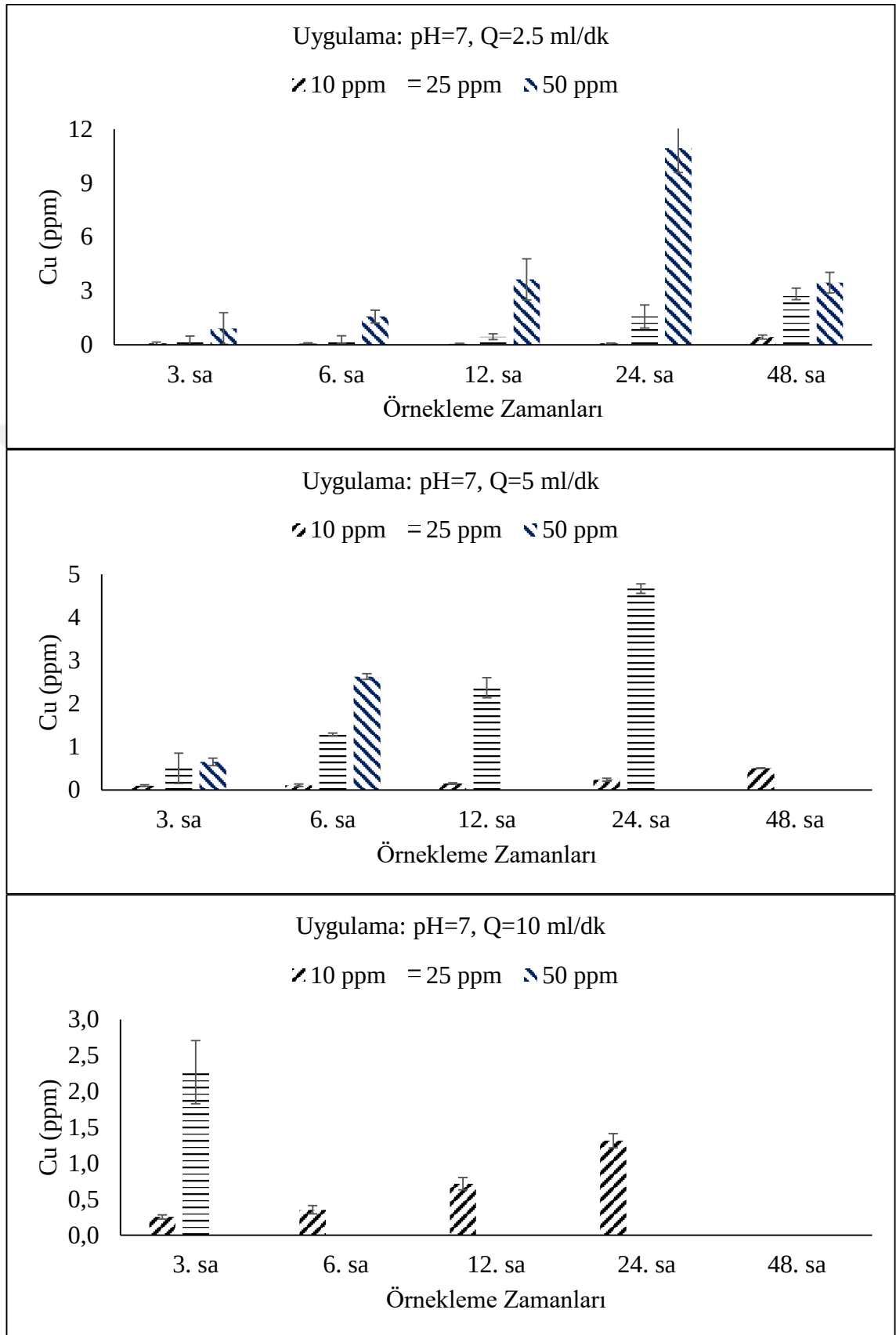
Şekil 3.19. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cu değişimi



Şekil 3.20. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Cu değişimi



Şekil 3.21. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cu değişimi



Şekil 3.22. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Cu değişimi

Tablo 3.17. Farklı uygulamalarla Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.43	99.70	99.80	98.53	93.90
		25	99.64	99.55	98.67	88.13	56.07
		50	99.27	97.35	79.24	53.65	34.90
	5	10	99.40	99.70	98.87	95.00	81.47
		25	99.77	98.56	85.67	54.32	34.16
		50	93.73	72.18	48.29	22.94	18.94
	10	10	95.93	92.03	85.53	47.93	24.20
		25	73.35	61.55	30.76	8.49	2.41
		50	53.87	34.19	12.12	2.89	-0.22
Pumis	2.5	10	99.90	99.90	99.90	99.90	99.90
		25	99.96	99.96	99.96	99.96	99.96
		50	99.98	99.98	98.54	6.53	11.63
	5	10	81.67	35.37	18.90	20.33	29.37
		25	23.19	11.77	12.87	13.56	17.25
		50	12.37	11.27	12.28	15.34	13.61
	10	10	50.90	26.10	38.63	35.57	38.67
		25	15.96	10.60	14.99	19.63	19.59
		50	12.57	9.51	15.42	15.01	16.37

Tablo 3.18. Farklı uygulamalarla Bakır (Cu) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.27	99.67	99.33	99.33	99.37
		25	99.55	99.75	99.07	97.00	92.32
		50	99.89	99.67	92.87	83.29	84.39
	5	10	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00
		25	97.16	98.55	99.76	99.65	98.92
		50	99.75	98.65	95.95	92.34	92.16
	10	10	100.00	100.00	100.00	100.00	-
		25	100.00	100.00	100.00	100.00	-
		50	100.00	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	99.13	99.23	99.40	99.13	95.70
		25	99.00	98.79	98.19	93.69	88.68
		50	98.19	96.85	92.72	78.12	93.08
	5	10	99.00	98.90	98.50	97.60	94.97
		25	97.99	94.85	90.52	81.33	-
		50	98.70	94.74	-	-	-
	10	10	97.47	96.47	92.83	86.87	-
		25	90.93	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-

3.3.5. Mangan (Mn)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait mangan içerikleri yapılan analizler neticesinde 122.32 ve 111.62 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki mangan içerikleri Tablo 3.19’da ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.20’de görülmektedir. Mangan elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’te açıkça görülebilmektedir.

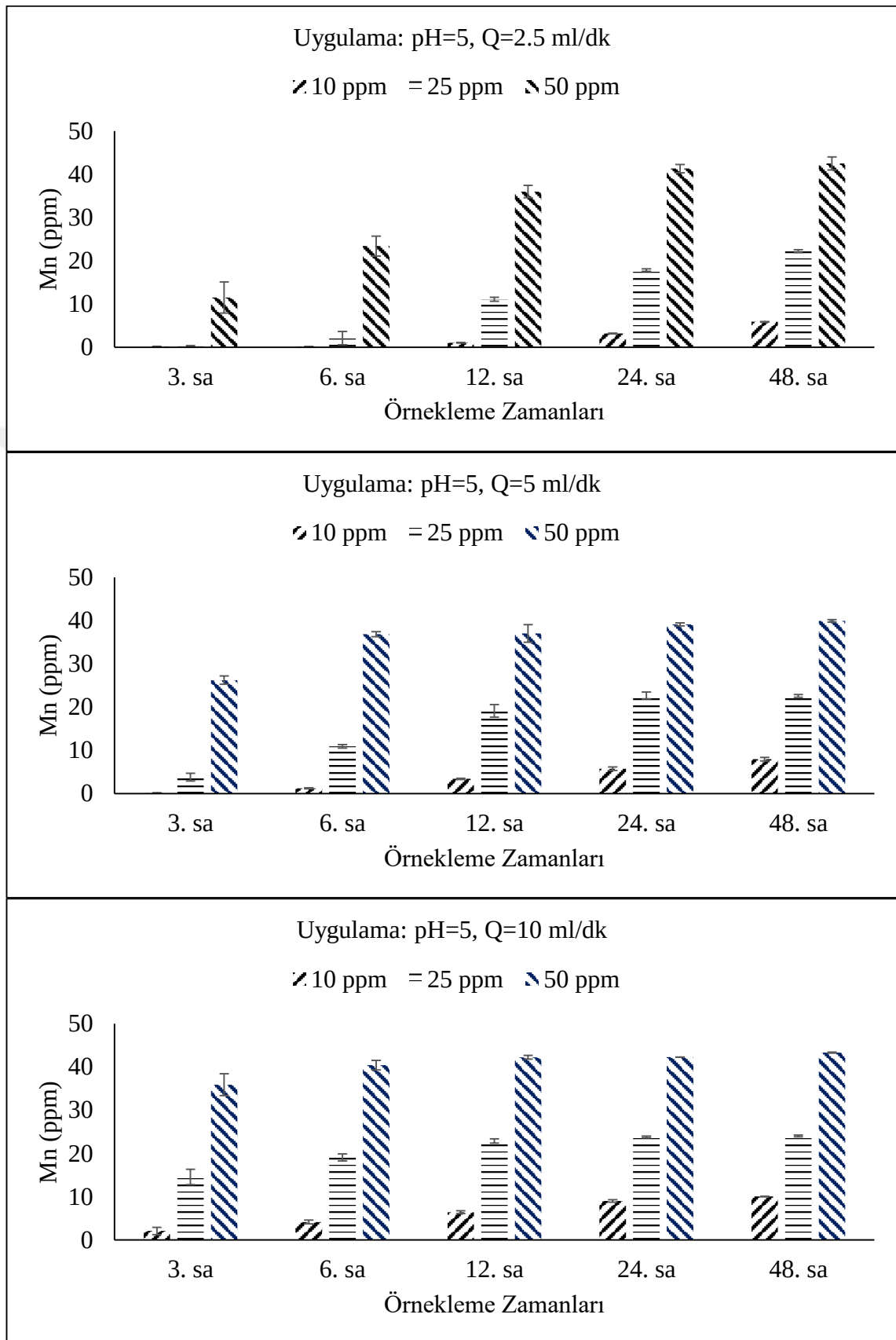
Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Mn uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 3. saat sonunda %99.07 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 48. saat sonunda %0.50 olarak belirlenmiştir Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Mn uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızında 10 ve 25 ppm derişimde 48 saat boyunca %100.00 olarak belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 48. saat sonunda %9.27 olarak belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre mangan metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 3 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanamadığı görülmektedir.

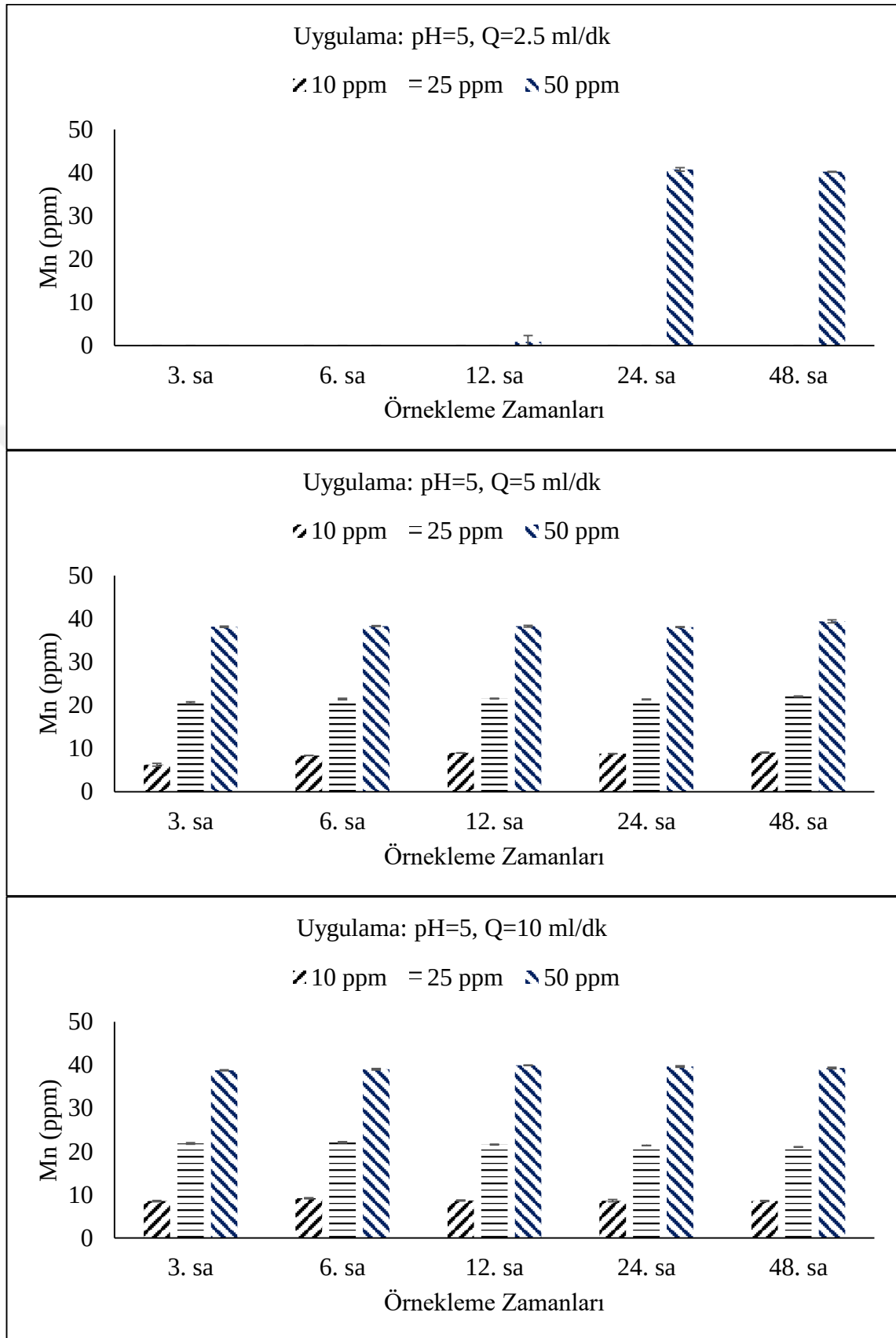
Siabi ve ark. (2021) atık sulardan mangan gidermeyi amaçladıkları çalışmada filtre materyali olarak biyokömür kullanmışlar ve 4 ppm derişimde çözeltiyi 400 ml/dk akış hızında 400 dk süre ile uygulayarak %100 başarı sağlamışlardır. Mubarak ve ark. (2022) ise zeolit kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 4 ml/dk akış hızında 40 dk süre ile uygulmuşlar ve %84.3 başarı sağlamışlardır. Benzer koşullarında bulunduğu çalışmamıza istinaden pumis matertyalinin atık sulardan mangan gidermede daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.19. Mangan (Mn) metalinin arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.11	0.11	1.05	3.21	5.92
		25	0.23	2.13	11.11	17.84	22.24
		50	11.52	23.40	36.01	41.30	42.49
	5	10	0.13	1.24	3.41	5.76	7.96
		25	3.80	10.94	19.12	22.67	22.59
		50	26.23	36.85	37.03	39.13	39.92
	10	10	2.08	4.15	6.40	9.00	10.05
		25	14.56	19.05	22.87	23.81	24.03
		50	35.89	40.40	42.20	42.26	43.30
Pumis	2.5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		50	0.00	0.00	0.86	40.74	40.19
	5	10	6.25	8.40	8.98	8.82	9.07
		25	20.60	21.46	21.55	21.35	22.05
		50	38.18	38.31	38.29	38.09	39.42
	10	10	8.52	9.17	8.64	8.63	8.53
		25	21.85	22.10	21.60	21.39	21.07
		50	38.78	39.01	39.95	39.62	39.30



Şekil 3.23. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Mn değişimi



Şekil 3.24. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Mn değişimi

Tablo 3.20. Farklı uygulamalarla Mangan (Mn) metalinin giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	98.87	98.93	89.53	67.90	40.83
		25	99.07	91.48	55.55	28.63	11.04
		50	76.97	53.21	27.99	17.40	15.03
	5	10	98.73	87.63	65.90	42.40	20.37
		25	84.80	56.24	23.53	9.31	9.63
		50	47.55	26.30	25.94	21.73	20.15
	10	10	79.23	58.47	35.97	9.97	-0.50
		25	41.77	23.81	8.52	4.75	3.88
		50	28.22	19.19	15.60	15.47	13.39
Pumis	2.5	10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		50	100.00	100.00	98.28	18.52	19.61
	5	10	37.50	16.03	10.17	11.83	9.27
		25	17.60	14.15	13.79	14.60	11.79
		50	23.65	23.38	23.41	23.82	21.15
	10	10	14.77	8.33	13.63	13.70	14.73
		25	12.61	11.59	13.60	14.45	15.73
		50	22.43	21.99	20.11	20.75	21.39

3.3.6. Nikel (Ni)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait nikel içerikleri yapılan analizler neticesinde 6.03 ve 7.06 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki nikel içerikleri Tablo 3.21 ile Tablo 3.22’de ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.23 ile Tablo 3.24’te görülmektedir. Nikel elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Ni uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.33 olarak belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 24. saat sonunda %0.16 olarak belirlenmiştir. Zeolit materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.83 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %10.02 olarak belirlenmiştir.

Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Ni uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.94 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 12. saat sonunda %7.15 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 3. saat sonunda %91.53 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 48. saat sonunda %11.43 olarak belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre nikel metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 3 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanmadığı görülmektedir.

Borba ve ark. (2006) atık sulardan nikeli gidermek amacıyla filtre materyali olarak deniz yosunu kullandıkları çalışmada 2.27 meq/L derişimdeki çözeltiyi 8 ml/dk akış hızında uygulamışlar ve 1500 dk sonucunda materyalin doygunluğa ulaştığını tespit etmişlerdir. Li ve Champagne (2009) ise turba ve yumuşakça kabuğu kullandıkları çalışmada 105 ppm derişimdeki çözeltiyi 3.4 ml/dk akış hızında 24 saat süre ile uygulamışlar ve %57.1 giderim sağladıklarını belirtmişlerdir. Benzer koşulların bulunduğu çalışmamızda ise pH

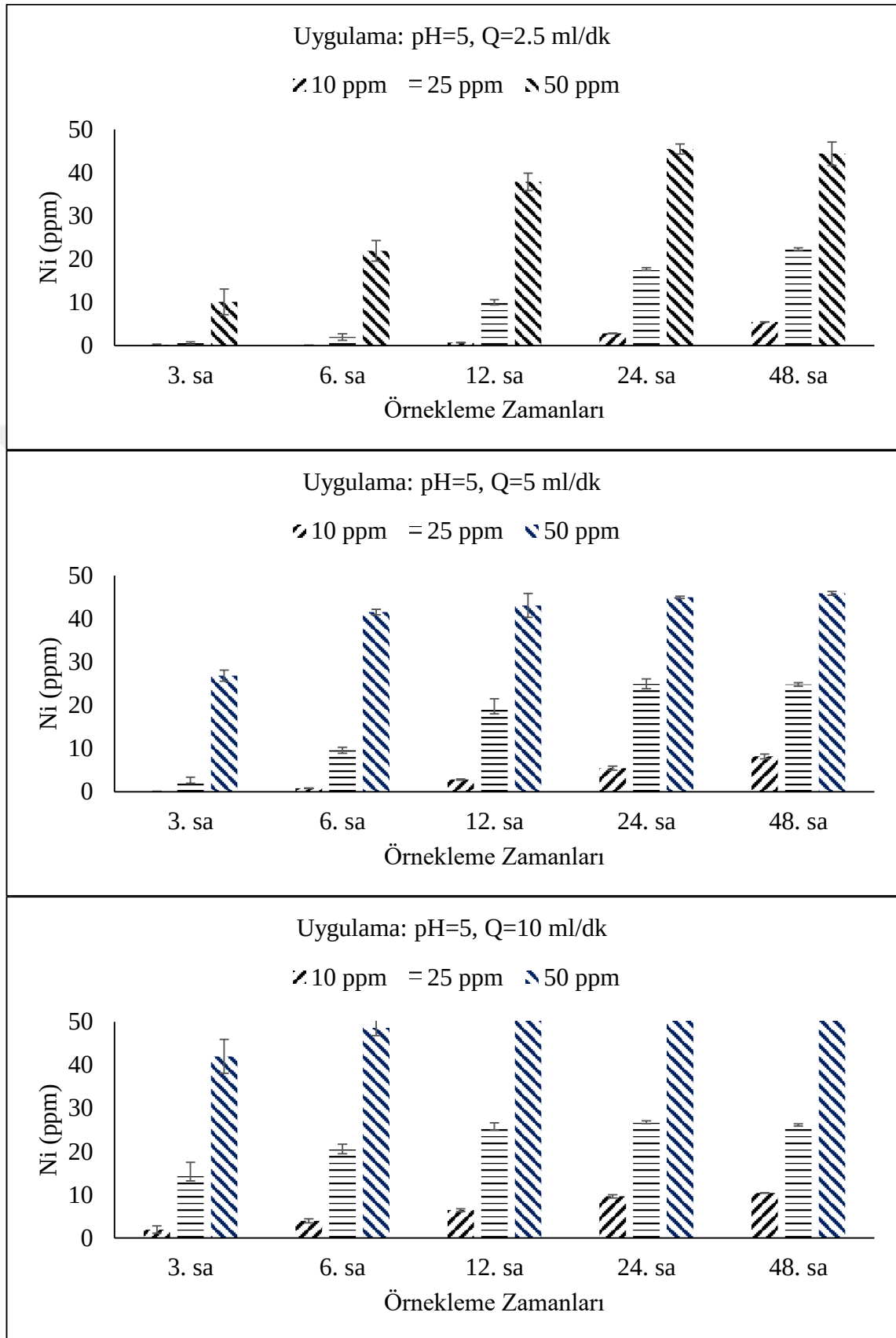
derecesi düşük atık sularda pumis materyalinin, yüksek pH koşullarında ise zeolit materyalinin yapılan diğer çalışmalara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.21. Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

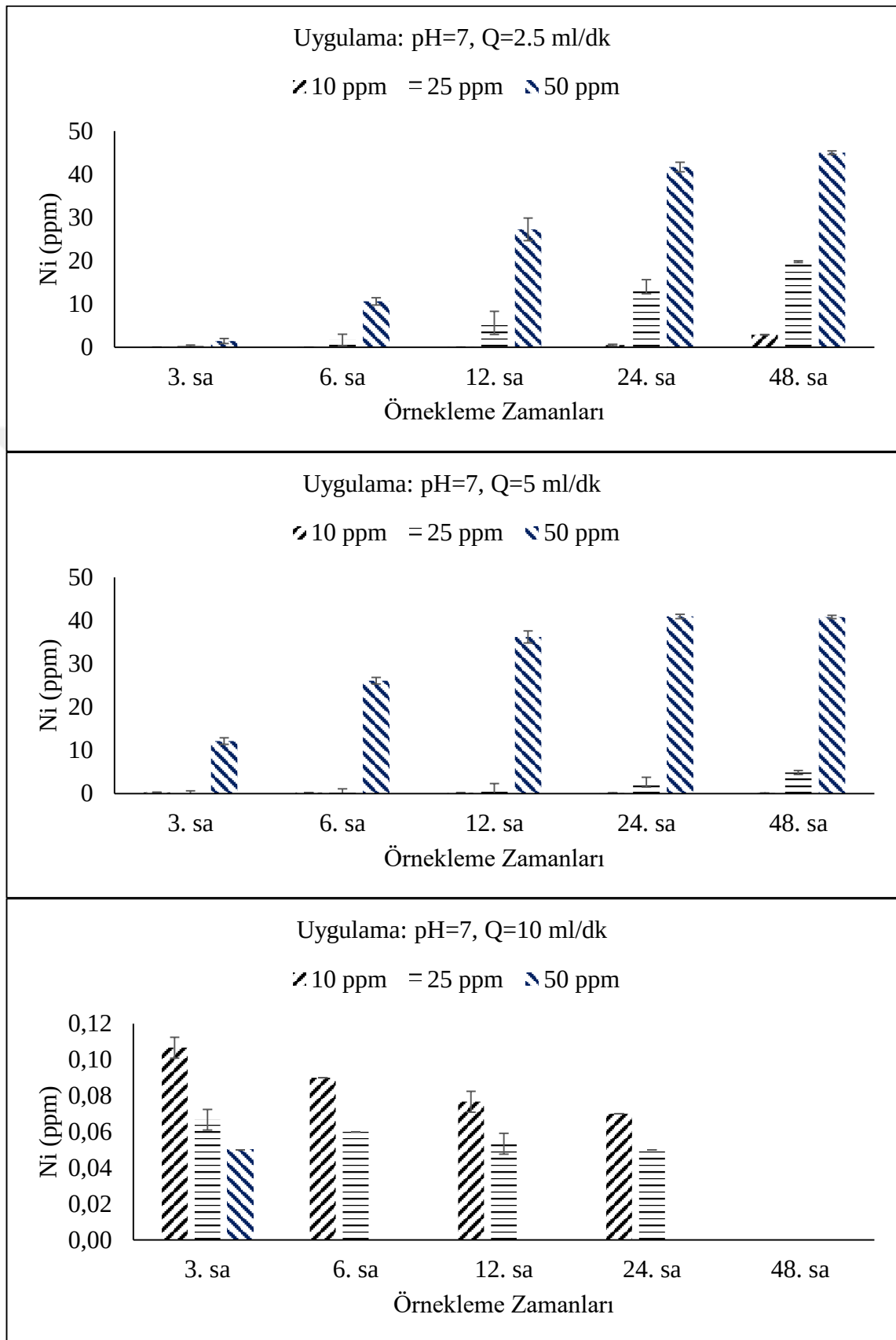
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.15	0.07	0.69	2.83	5.48
		25	0.57	2.00	10.02	17.73	22.33
		50	10.09	21.92	37.89	45.46	44.38
	5	10	0.07	0.81	2.83	5.47	8.17
		25	2.69	9.61	19.74	24.96	24.81
		50	26.84	41.54	43.08	44.98	45.89
	10	10	1.94	3.97	6.42	9.63	10.39
		25	15.35	20.56	25.78	26.79	26.13
		50	41.99	48.59	51.07	50.95	51.04
Pumis	2.5	10	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
		25	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
		50	0.04	0.03	1.96	45.42	45.68
	5	10	6.34	8.58	9.17	8.93	8.77
		25	21.92	22.98	23.12	22.91	22.93
		50	44.46	44.74	44.60	44.16	44.68
	10	10	8.25	8.93	8.42	8.44	8.39
		25	22.54	22.78	22.40	22.26	22.09
		50	43.75	44.08	46.42	46.05	46.25

Tablo 3.22. Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

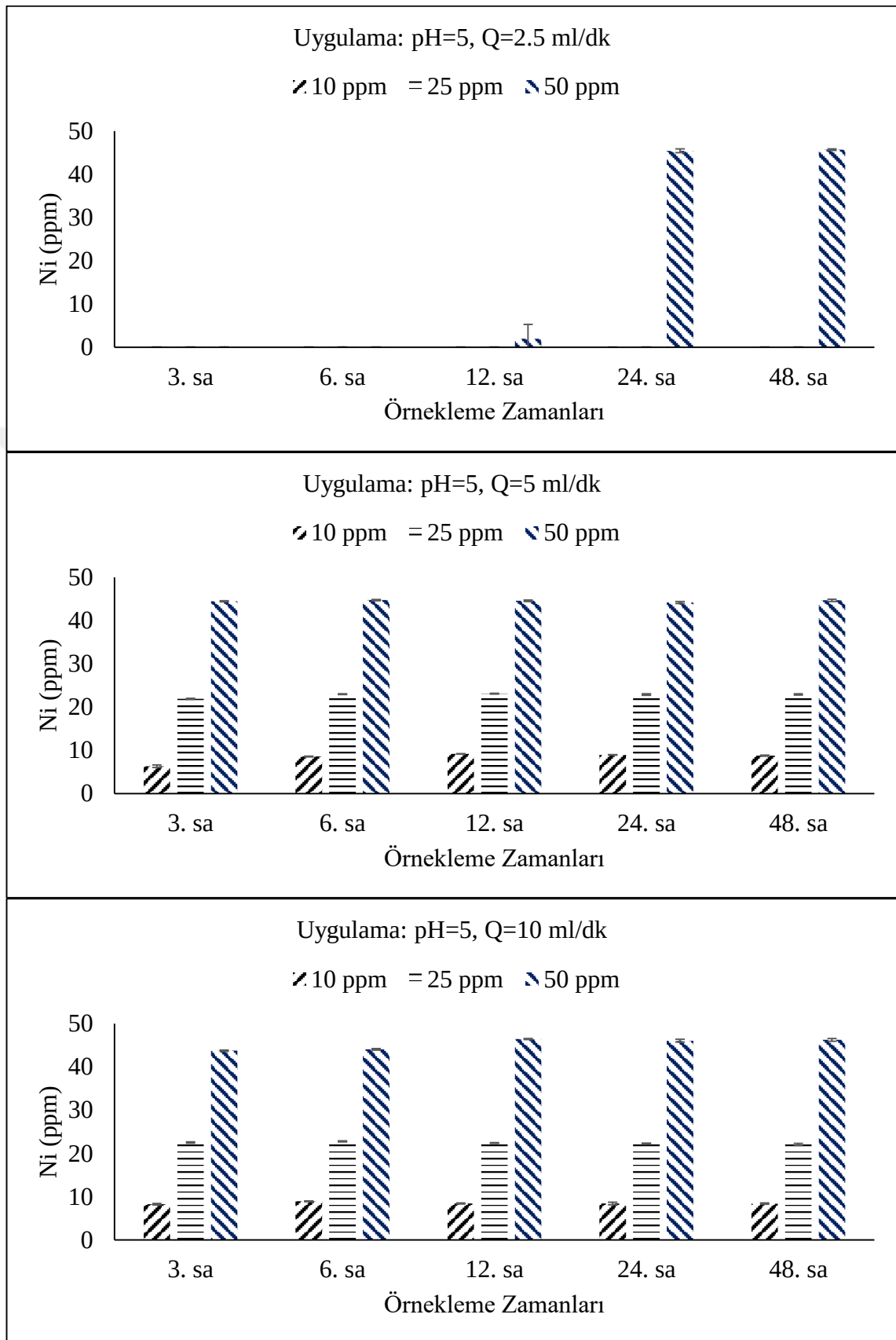
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.03	0.02	0.04	0.50	2.89
		25	0.28	1.70	5.62	14.02	19.81
		50	1.46	10.61	27.26	41.68	44.99
	5	10	0.27	0.21	0.17	0.14	0.12
		25	0.06	0.17	0.88	2.64	4.89
		50	12.17	26.09	36.21	40.96	40.83
	10	10	0.11	0.09	0.08	0.07	-
		25	0.07	0.06	0.05	0.05	-
		50	0.05	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	0.85	2.29	4.03	5.94	7.30
		25	8.94	14.91	19.32	20.77	22.14
		50	33.31	40.12	42.68	43.90	43.00
	5	10	1.52	4.42	6.10	6.00	6.47
		25	10.96	19.39	21.13	20.64	-
		50	31.74	39.62	-	-	-
	10	10	5.19	6.55	6.73	7.28	-
		25	19.81	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



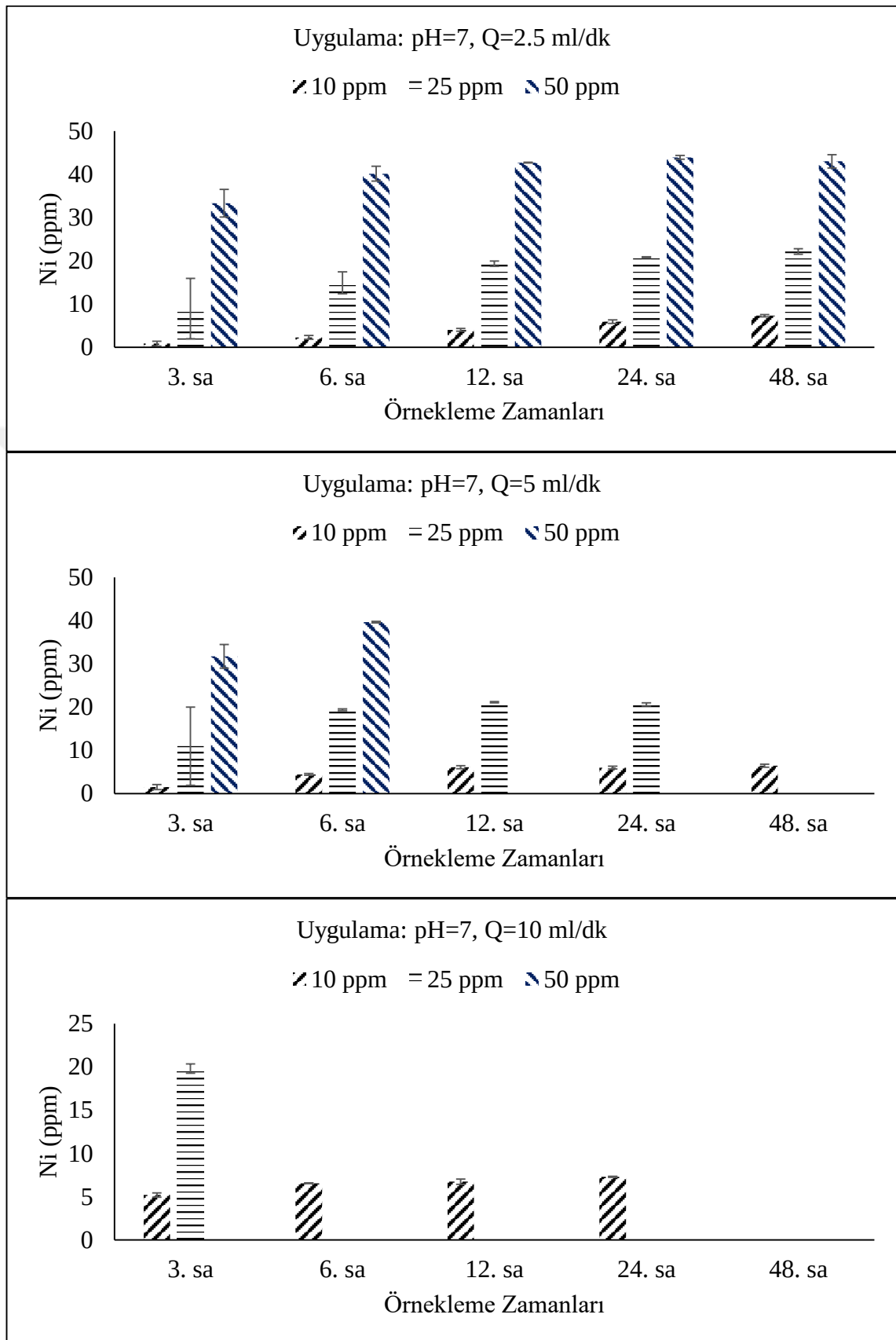
Şekil 3.25. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Ni değişimi



Şekil 3.26. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Ni değişimi



Şekil 3.27. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Ni değişimi



Şekil 3.28. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Ni değişimi

Tablo 3.23. Farklı uygulamalarla Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	98.53	99.33	93.10	71.70	45.17
		25	97.73	92.01	59.91	29.08	10.67
		50	79.81	56.16	24.22	9.09	11.23
	5	10	99.33	91.90	71.67	45.30	18.33
		25	89.25	61.55	21.04	0.16	0.75
		50	46.31	16.92	13.85	10.04	8.22
	10	10	80.60	60.33	35.77	3.70	-3.93
		25	38.59	17.75	-3.12	-7.16	-4.51
		50	16.02	2.82	-2.15	-1.90	-2.08
Pumis	2.5	10	99.60	99.60	99.60	99.67	99.70
		25	99.88	99.85	99.84	99.84	99.84
		50	99.93	99.94	96.07	9.15	8.63
	5	10	36.63	14.23	8.33	10.70	12.33
		25	12.33	8.07	7.53	8.36	8.29
		50	11.08	10.52	10.80	11.68	10.63
	10	10	17.50	10.67	15.83	15.63	16.13
		25	9.85	8.89	10.40	10.97	11.65
		50	12.49	11.84	7.15	7.91	7.51

Tablo 3.24. Farklı uygulamalarla Nikel (Ni) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.73	99.83	99.60	94.97	71.10
		25	98.88	93.19	77.53	43.93	20.77
		50	97.09	78.78	45.49	16.64	10.02
	5	10	97.30	97.87	98.30	98.60	98.83
		25	99.77	99.33	96.47	89.43	80.44
		50	75.66	47.81	27.57	18.08	18.35
	10	10	98.93	99.10	99.23	99.30	-
		25	99.73	99.76	99.79	99.80	-
		50	99.90	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	91.53	77.13	59.67	40.60	26.97
		25	64.23	40.36	22.71	16.91	11.43
		50	33.38	19.75	14.64	12.21	13.99
	5	10	84.83	55.77	39.00	40.00	35.27
		25	56.16	22.44	15.49	17.45	-
		50	36.52	20.76	-	-	-
	10	10	48.10	34.47	32.70	27.17	-
		25	20.75	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-

3.3.7. Kurşun (Pb)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait kurşun içerikleri yapılan analizler neticesinde 12.17 ve 1.75 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki kurşun içerikleri Tablo 3.25'te ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.26'da görülmektedir. Kurşun elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Pb uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ve 5 ml/dk akış hızlarında ve 10 ppm derişimde 48 saat boyunca %100.00 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %63.29 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Pb uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızında 10 ve 25 ppm derişimlerde 48 saat boyunca %100.00 olarak belirlenirken en düşük performans 10 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 6. saat sonunda %33.01 olarak belirlenmiştir.

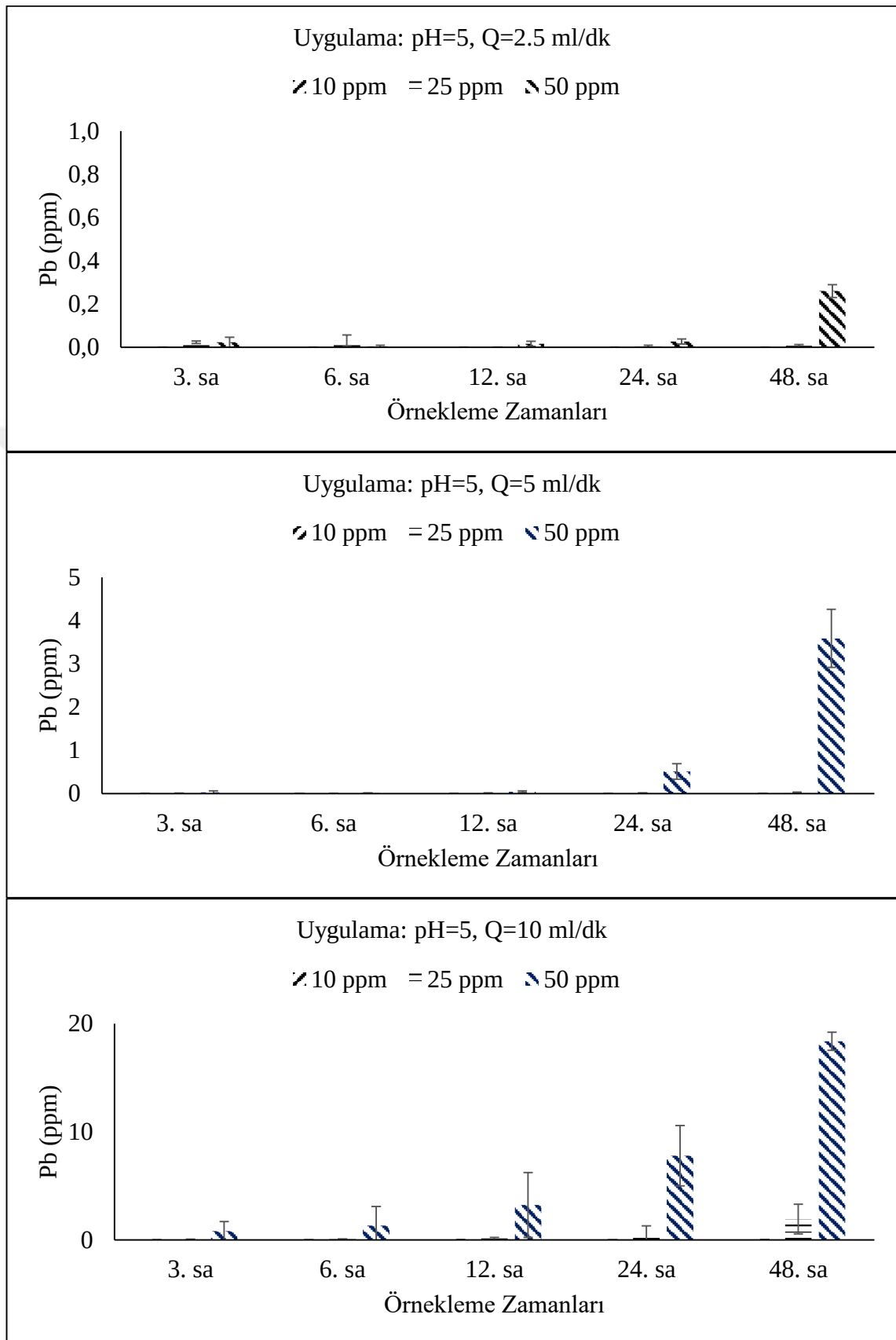
Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre kurşun metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 3 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanamadığı görülmektedir.

Baker ve ark. (2009) atık sulardan kurşun giderimi üzerine yürüttükleri çalışmada filtre materyali olarak zeolit kullanarak 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 2 saat süre ile uygulamışlar ve %99.5 giderim sağlamışlardır. Liu ve ark. (2013) kitosan kullandıkları çalışmada 10 ppm derişimdeki çözeltiyi 1 ml/dk akış hızında 5 saat süre ile uygulayarak %100 giderim sağlamışlardır. Ranjbar ve ark. (2017) pumis, kireç ve perlit karışımı kullandıkları çalışmada 100 ppm derişimde çözeltiyi 2.4 ml/dk akış hızında 210 dk süre ile uygulamışlar ve %99.9 giderim sağlamışlardır. Fan ve ark. (2018) farklı materyallerin karışımlarını kullandıkları çalışmada 5 ppm derişimdeki çözeltiyi 6 ml/dk akış hızında 5 saat süre ile uygulamışlar ve %99 giderim etkinliği tespit etmişlerdir. Cheng ve ark. (2022) krofton otundan elde edilen biyokömürü kullandıkları çalışmada 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 2 ml/dk akış hızında 1500 dk süre ile uygulamışlar ve %95 başarı sağladıklarını belirtmişlerdir. Egbousiba ve ark. (2022) gazlı bez ile pamuk yünü kullandıkları çalışmada 100 ppm derişimdeki çözeltiyi 5 ml/dk akış hızında 480 dk süre ile uygulamışlar ve %99.8 giderim sağlamışlardır. Jayalakshmi ve ark. (2022) ise kobalt

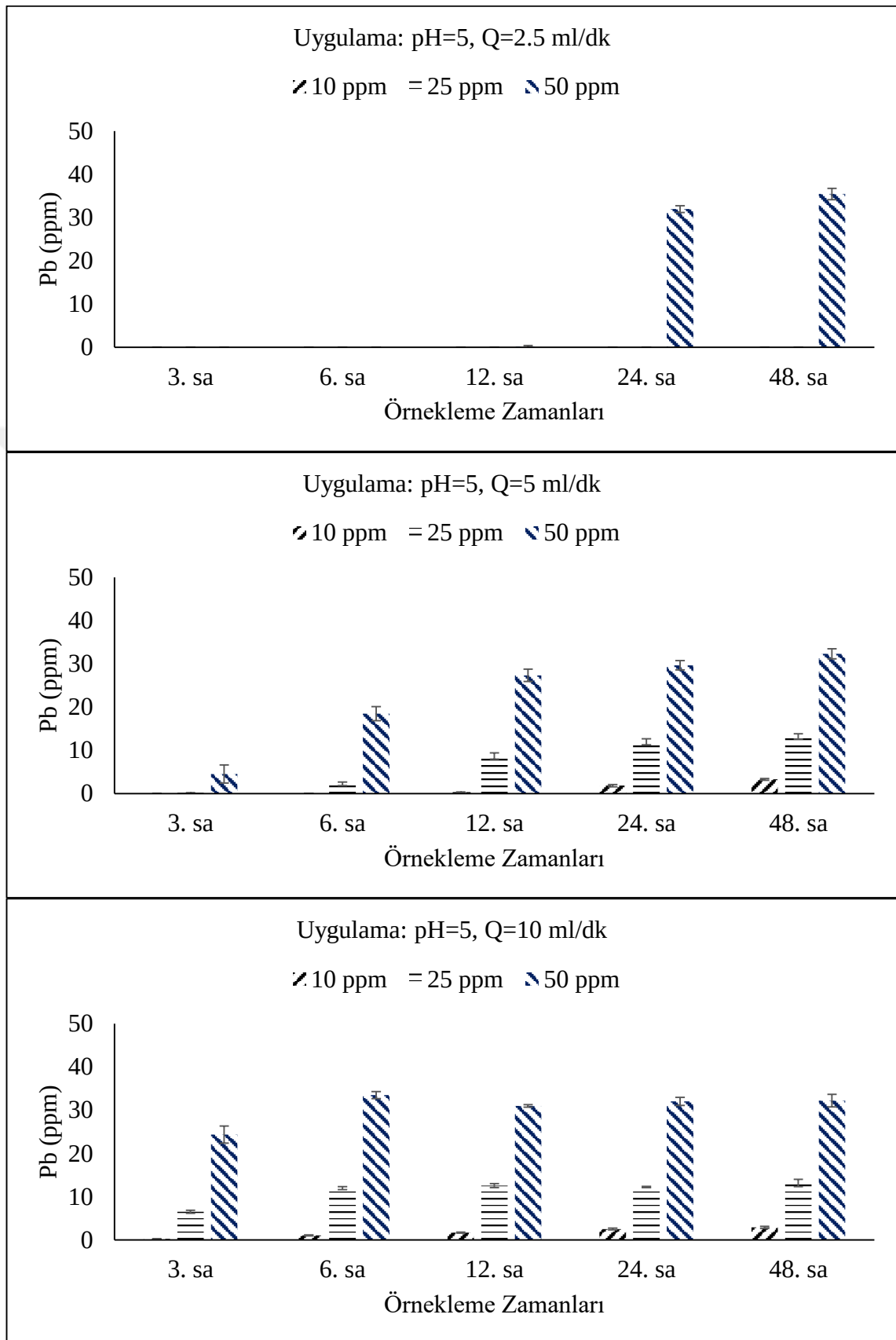
ferrit nano parçaçık kullandıkları çalışmada 50 ppm derişimdeki çözeltiyi 5 ml/dk akış hızında 50 dk süre ile uygulamışlar ve %98.2 giderim sağlamışlardır. Benzer koşullarında bulunduğu çalışmamızda hem zeolit hemde pumis materyalinin daha yüksek derişimlerde, daha uzun sürelerde ve daha yüksek akış hızlarında dahi yüksek giderim performansı sergilediği tespit edilmiştir.

Tablo 3.25. Kurşun (Pb) metalinin arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0	0	0	0	0
		25	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01
		50	0.02	0.00	0.02	0.03	0.26
	5	10	0	0	0	0	0
		25	0.00	0	0.01	0.01	0.02
		50	0.03	0.01	0.04	0.51	3.59
	10	10	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05
		25	0.03	0.07	0.13	0.54	1.93
		50	0.81	1.33	3.23	7.78	18.36
Pumis	2.5	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		50	0.00	0.00	0.14	31.94	35.43
	5	10	0.01	0.03	0.32	1.85	3.30
		25	0.16	2.26	8.68	11.97	13.22
		50	4.53	18.48	27.34	29.66	32.33
	10	10	0.22	1.03	1.67	2.53	2.88
		25	6.52	11.96	12.56	12.24	13.15
		50	24.36	33.49	30.96	32.02	32.19



Şekil 3.29. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Pb değişimi



Şekil 3.30. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Pb değişimi

Tablo 3.26. Farklı uygulamalarla Kurşun (Pb) metalinin giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		25	99.91	99.88	100.00	99.99	99.97
		50	99.95	99.99	99.97	99.95	99.48
	5	10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		25	99.99	100.00	99.96	99.96	99.92
		50	99.94	99.97	99.91	98.97	92.83
	10	10	100.00	100.00	99.93	99.90	99.53
		25	99.87	99.72	99.48	97.85	92.29
		50	98.37	97.34	93.53	84.43	63.29
Pumis	2.5	10	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		25	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		50	100.00	100.00	99.71	36.12	29.15
	5	10	99.93	99.67	96.77	81.50	67.00
		25	99.36	90.96	65.29	52.13	47.11
		50	90.93	63.03	45.32	40.68	35.34
	10	10	97.83	89.67	83.27	74.73	71.17
		25	73.92	52.17	49.75	51.05	47.39
		50	51.29	33.01	38.07	35.95	35.62

3.3.8. Çinko (Zn)

Çalışmada kullanılan zeolit ve pumise ait çinko içerikleri yapılan analizler neticesinde 19.17 ve 6.37 ppm olarak tespit edilmiştir. Arıtma işlemi farklı zamanlardaki çinko içerikleri Tablo 3.27 ile Tablo 3.28’de ve materyallerin giderim performansları Tablo 3.29 ile Tablo 3.30’da görülmektedir. Çinko elementinin arıtma işlemi sürecinde zamana bağlı değişimleri ise Şekil 3.31, Şekil 3.32, Şekil 3.33 ve Şekil 3.34’te açıkça görülebilmektedir.

Yapılan analizler neticesinde zeolit materyaline pH değerinin 5 olduğu Zn uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 6. saat sonunda %99.80 olarak belirlenirken en düşük performans 5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 48. saat sonunda %0.44 olarak belirlenmiştir. Zeolit materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 10 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 24. saat sonunda %100.00 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %11.46 olarak belirlenmiştir.

Pumis materyaline pH değerinin 5 olduğu Zn uygulamasında en yüksek giderim performansı 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 3. saat sonunda %99.98 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 50 ppm derişimde 48. saat sonunda %7.35 olarak belirlenmiştir. Pumis materyaline pH değerinin 7 olduğu uygulamada ise en yüksek performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 10 ppm derişimde 3. saat sonunda %96.90 olarak belirlenirken en düşük performans 2.5 ml/dk akış hızı ve 25 ppm derişimde 48. saat sonunda %11.32 olarak belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ne göre çinko metalinin arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için 10 ppm düzeyinin altında olması gerekmektedir (SKKY, 2004). Düşük akış hızına sahip ve düşük derişimli uygulamalarda bu kriter sağlanırken yüksek derişimli uygulamalarda bu kriterin sağlanmadığı görülmektedir.

Baker ve ark. (2009) atık sulardan çinko gidermek amacıyla yürüttükleri çalışmada filtre materyali olarak zeolit kullanmış olup 20 ppm derişimdeki çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 2 saat süre ile uygulamışlar ve %99 giderim sağlamışlardır. Viggi ve ark. (2010) kompost kullandıkları çalışmada 0.1 mM derişimdeki çözeltiyi 0.5 ml/dk akış hızında 18 ay süre ile uygulamışlar ve %30 giderim sağladıklarını belirtmişlerdir. Jayalakshmi ve ark. (2022) kobalt ferrit nano parçacık kullandıkları çalışmada 50 ppm derişimdeki

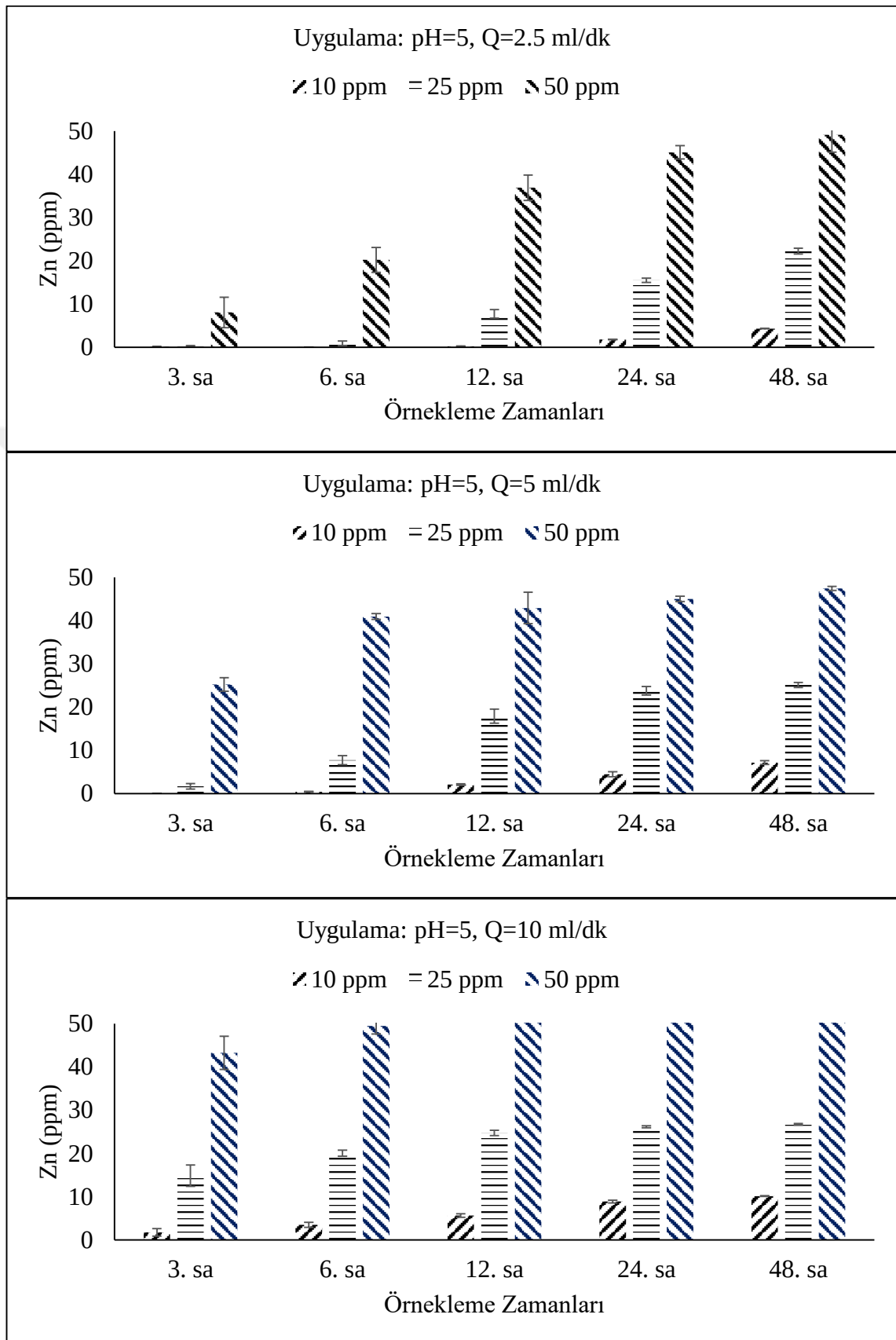
çözeltiyi 5 ml/dk akış hızında 40 dk süre ile uygulamışlar ve %82.4 giderim sağlamışlardır. Benzer koşullarında bulunduğu çalışmamızda ise her iki materyalinde yapılan diğer çalışmalardan daha iyi performans sergilediği görülürken düşük pH koşullarında pumisin yüksek pH koşullarında ise zeolitin daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.27. Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 5 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

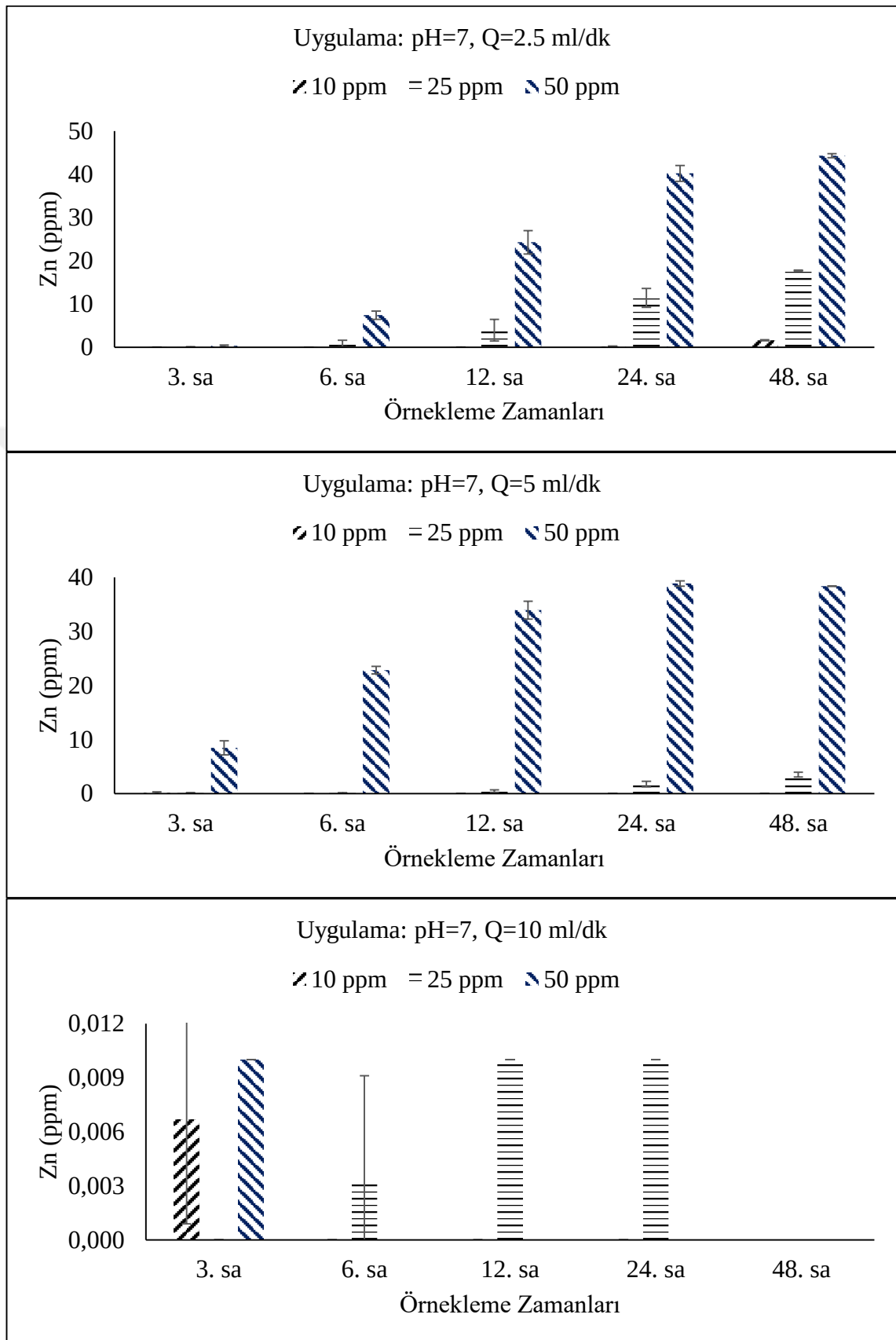
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.09	0.02	0.26	1.79	4.31
		25	0.26	0.94	7.73	15.49	22.23
		50	8.05	20.21	36.88	45.06	49.09
	5	10	0.03	0.43	2.09	4.46	7.16
		25	1.68	7.73	17.90	23.78	25.11
		50	25.23	40.94	42.92	45.01	47.41
	10	10	1.75	3.48	5.63	8.88	10.13
		25	14.86	20.05	24.72	26.14	26.72
		50	43.24	49.49	52.03	52.00	52.58
Pumis	2.5	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
		25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
		50	0.01	0.01	0.06	46.91	46.32
	5	10	6.29	8.87	9.53	9.09	8.86
		25	22.75	23.68	23.42	23.14	22.98
		50	46.04	45.89	44.88	44.77	45.10
	10	10	8.28	9.11	8.52	8.45	8.31
		25	22.92	23.12	22.37	22.37	21.94
		50	44.51	44.72	45.07	45.03	45.10

Tablo 3.28. Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 7 iken arıtma işlemi esnasındaki değişimleri

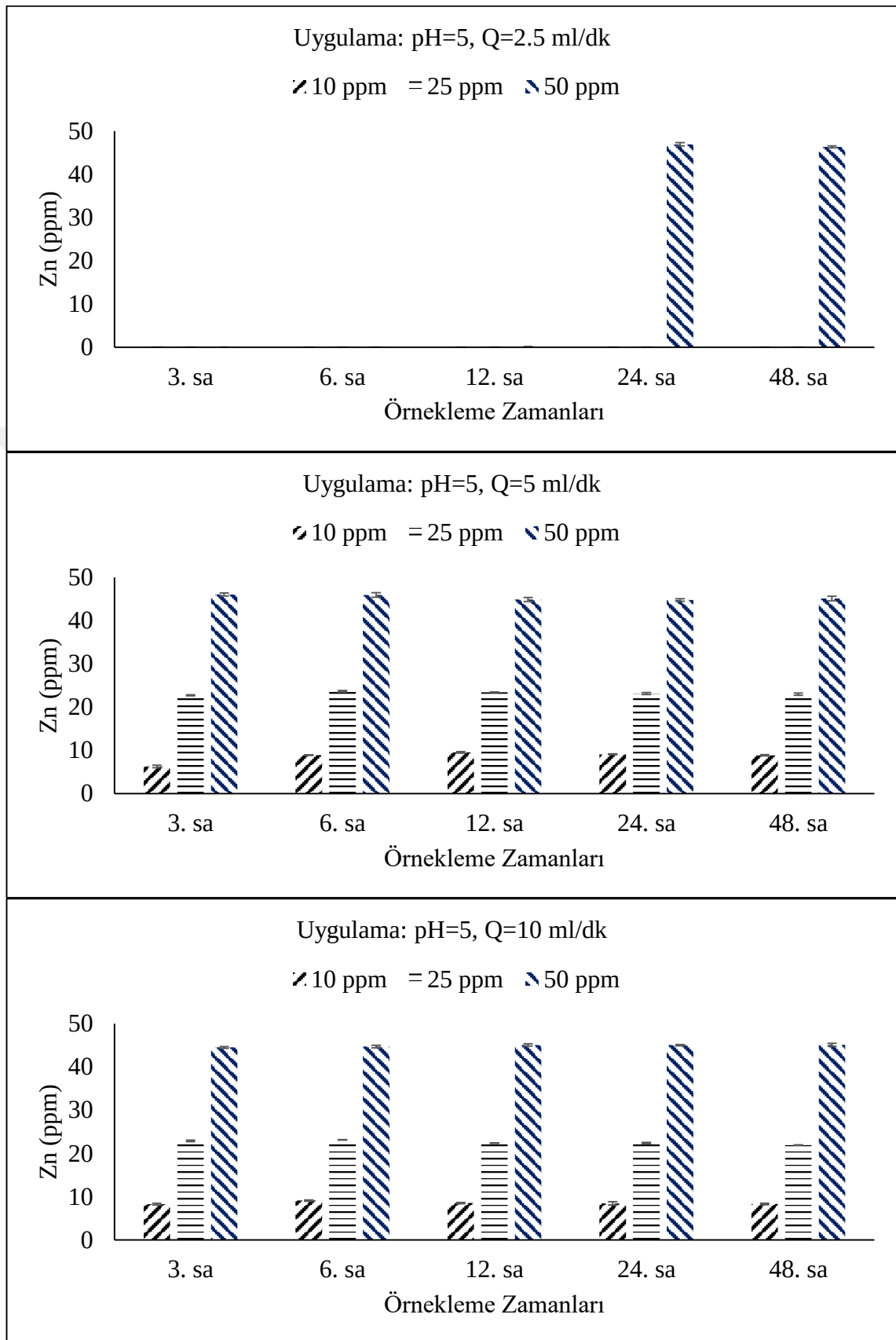
Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	0.02	0.01	0.04	0.18	1.63
		25	0.08	0.87	3.96	11.42	17.77
		50	0.32	7.42	24.27	40.20	44.27
	5	10	0.13	0.04	0.02	0.02	0.01
		25	0.08	0.11	0.45	1.76	3.51
		50	8.48	22.81	33.92	38.86	38.37
	10	10	0.01	0.00	0.00	0.00	-
		25	0.00	0.00	0.01	0.01	-
		50	0.01	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	0.31	0.87	2.67	5.05	7.54
		25	6.62	11.72	18.61	20.67	22.17
		50	28.67	38.57	42.67	43.90	39.50
	5	10	0.57	3.14	5.48	5.48	6.25
		25	9.53	18.83	20.90	20.20	-
		50	24.00	36.02	-	-	-
	10	10	4.04	5.89	6.35	6.87	-
		25	18.35	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-



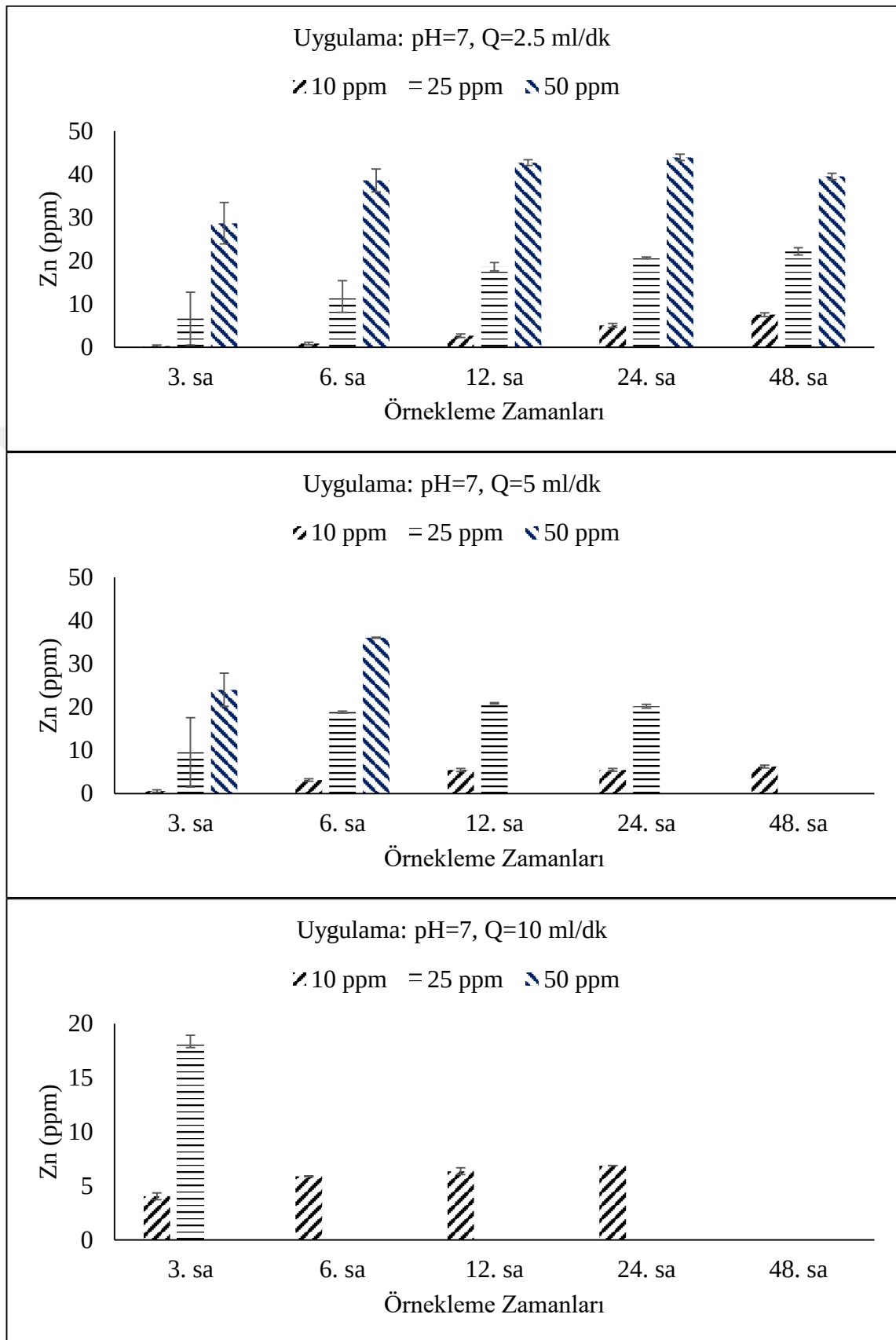
Şekil 3.31. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Zn değişimi



Şekil 3.32. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda zeolit materyalinde zamana bağlı Zn değişimi



Şekil 3.33. Kullanılan atık suların pH derecesinin 5 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Zn değişimi



Şekil 3.34. Kullanılan atık suların pH derecesinin 7 olduğu koşullarda pumis materyalinde zamana bağlı Zn değişimi

Tablo 3.29. Farklı uygulamalarla Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 5 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 5 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.07	99.80	97.40	82.07	56.87
		25	98.96	96.25	69.07	38.03	11.08
		50	83.89	59.58	26.24	9.88	1.81
	5	10	99.73	95.67	79.13	55.40	28.40
		25	93.29	69.08	28.41	4.87	-0.44
		50	49.55	18.13	14.16	9.98	5.17
	10	10	82.47	65.17	43.67	11.17	-1.27
		25	40.55	19.81	1.11	-4.57	-6.88
		50	13.51	1.03	-4.06	-4.01	-5.15
Pumis	2.5	10	99.90	99.87	99.90	99.90	99.90
		25	99.96	99.96	99.96	99.96	99.96
		50	99.98	99.98	99.87	6.17	7.35
	5	10	37.13	11.33	4.67	9.10	11.43
		25	9.01	5.28	6.31	7.44	8.09
		50	7.92	8.21	10.25	10.47	9.79
	10	10	17.23	8.93	14.80	15.47	16.87
		25	8.33	7.53	10.52	10.53	12.24
		50	10.97	10.57	9.85	9.95	9.79

Tablo 3.30. Farklı uygulamalarla Çinko (Zn) metalinin pH derecesi 7 iken giderim performansı (%)

Materyal	Akış Hızı (ml/dk)	Derişim (ppm)	pH derecesi 7 olan uygulama				
			Örnekleme Zamanları (saat)				
			3	6	12	24	48
Zeolit	2.5	10	99.77	99.87	99.60	98.23	83.67
		25	99.67	96.51	84.15	54.32	28.91
		50	99.35	85.15	51.45	19.59	11.46
	5	10	98.70	99.60	99.77	99.83	99.90
		25	99.67	99.56	98.19	92.97	85.96
		50	83.05	54.37	32.15	22.29	23.25
	10	10	99.93	100.00	100.00	100.00	-
		25	100.00	99.99	99.96	99.96	-
		50	99.98	-	-	-	-
Pumis	2.5	10	96.90	91.27	73.33	49.53	24.63
		25	73.51	53.11	25.57	17.33	11.32
		50	42.66	22.87	14.67	12.20	21.00
	5	10	94.27	68.60	45.23	45.17	37.47
		25	61.88	24.68	16.41	19.21	-
		50	52.00	27.95	-	-	-
	10	10	59.63	41.13	36.47	31.33	-
		25	26.60	-	-	-	-
		50	-	-	-	-	-

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Laboratuvar koşullarında kolon denemeleri şeklinde yürütülen bu çalışmada zeolit ve pumis atık sulardan ağır metal gidermek amacıyla filtre materyali olarak kullanılmıştır. Çalışma 3 farklı akış hızı (2.5, 5.0 ve 10.0 ml/dk), 3 farklı konsantrasyon (10, 25 ve 50 ppm), 5 farklı örnekleme zamanı (3., 6., 12., 24. ve 48. saat) ve 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışma neticesinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2004 yılında yayınlamış olduğu Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen atık suların arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara deşarj edilebilmesi için gerekli kriterlere göre, pH değerlerinin 6-10 aralığında olması gerektiği belirtilmiş olup çalışmanın pH değeri 5 olarak sürdürülen aşamalarında sağlanamadığı ve 7 olarak sürdürülen aşamalarında bu koşulların sağlandığı belirlenmiştir. Aynı yönetmelikte atık suların arıtıldıktan sonra EC değerlerinin 2 mS/cm değerinin altında olması gerektiği belirtilmektedir ve çalışmanın tamamında belirtilen kriterler sağlandığı görülmüştür. Ağır metallerde ise deşarj limitleri kadmiyum metali için 2 ppm, krom metali için 5 ppm, bakır metali için 2 ppm, mangan metali için 3 ppm, nikel metali için 5 ppm, kurşun metali için 3 ppm, çinko metali için 10 ppm olarak belirlenmiştir. Kobalt metali için ise herhangi bir limit belirtilmemiştir. Çalışmamız neticesinde tüm metaller için pH değerinin 5 olduğu koşullarda düşük akış hızı, düşük derişimlerde ve erken örnekleme zamanlarında tüm kriterlerin sağlandığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan parametrelerin yüksek olduğu koşullarda ise ilgili yönetmelikte belirtilen şartları sağlayamadığı tespit edilmiştir.

4.2. Öneriler

Yapay sulak alanlarda, düşük pH koşullarına sahip atık suların arıtılabilmeleri için yüksek debi mevcutsa filtre materyali olarak pumis tercih edilmelidir. Aynı şekilde düşük pH koşullarında debi düşük ise zeolit materyalinin daha etkin olduğu bilinerek tercih edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında atık sular karakteristik olarak 7 pH koşullarında ise

pumisten ziyade zeolit materyalinin daha etkin olduğu tüm tablo ve grafiklerde açıkça görölmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre yapay sulak alanlarda atık sulardan ağır metal giderimi için zeolit ve pumis materyalleri ya tek başlarına ya da belirli oranlarda karıştırılarak kullanıldıklarında ağır metalleri atık sulardan arındırma işlemlerinde kullanılabileceği görölmüştür. Filtre materyali olarak kullanılan bu malzemeler hem kolay elde edilebilirlikleri hem de maliyetlerinin düşüklüğü göz önünde bulundurulduklarında oldukça avantajlıdırlar. Sonraki dönemlerde yapılması planlanan yapay sulak alanlarda atık sulardan ağır metal giderimi için her iki materyalinde filtre malzemesi olarak belirtilen şartlarda kullanılabileceği önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelhay, A., Abunaser, S. G., 2021. Modeling and economic analysis of greywater treatment in rural areas in Jordan using a novel vertical-flow constructed wetland. **Environmental Management**, 67(3), 477-488.
- Akın, G., Akın, M., 2013. Pomzanın Özellikleri, Kullanım Alanları ve Üretiminde Yaşanan Sorunlar. II. Uluslararası Ahlat-Avrasya Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu.
- Altan, A., Altan, Ö., Alçiçek, A., Nalbant, M., Akbaş, Y., 1998. Tavukçulukta doğal zeolit kullanımı I. **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 35(1-2), 3.
- Anonim, 2021. Zeolit. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Zeolit>. (Erişim Tarihi: 30.10.2021).
- Anonim, 2022a. Kadmiyum. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kadmiyum>. (Erişim Tarihi: 15.02.2022).
- Anonim, 2022b. Kobalt. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kobalt>. (Erişim Tarihi: 16.02.2022).
- Anonim, 2022c. Krom. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Krom>. (Erişim Tarihi: 17.02.2022).
- Anonim, 2022d. Bakır. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bak%C4%B1r>. (Erişim Tarihi: 18.02.2022).
- Anonim, 2022e. Mangan. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Manganez>. (Erişim Tarihi: 19.02.2022).
- Anonim, 2022f. Nikel. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nikel>. (Erişim Tarihi: 15.02.2022).
- Anonim, 2022g. Kurşun. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kur%C5%9Fun>. (Erişim Tarihi: 20.02.2022).
- Anonim, 2022h. Çinko. <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87inko>. (Erişim Tarihi: 21.02.2022).
- Ayvaz, Z., 2005. Doğal Zenginlik Müzeleri Sulak Alanlar, Ekoloji Magazin Nisan-Haziran, Sayı 6

- Baker, H.M., Massadeh, A.M., Younes, H.A., 2009. Natural Jordanian zeolite: removal of heavy metal ions from water samples using column and batch methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, **157**, 319–330.
- Baral, S.S., Das, N., Ramulu, T.S., Sahoo, S.K., Das, S.N., Chaudhury, G.R., 2009. Removal of Cr (VI) by thermally activated weed *Salvinia cucullata* in a fixed-bed column. **Journal of Hazardous Materials**, **161**(2-3), 1427-1435.
- Barragán-Peña, P., Macedo-Miranda, M.G., Olguin, M.T., 2021. Cadmium removal from wastewater in a fixed-bed column system with modified-natural clinoptilolite-rich tuff. **Chemical Papers**, **75**(2), 485-491.
- Borba, C.E., Guirardello, R., Silva, E.A., Veit, M.T., Tavares, C.R.G., 2006. Removal of nickel (II) ions from aqueous solution by biosorption in a fixed bed column: experimental and theoretical breakthrough curves. **Biochemical Engineering Journal**, **30**(2), 184-191.
- Bulut, A. P., 2021. Artan Su İhtiyacı için Deniz Suyu Kullanımı ve Arıtma Teknolojileri. **Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi**, **14**(2), 124-137.
- Canpolat, A., 2019. Şanlıurfa Konvansiyonel İçme Suyu Arıtma Tesisinin Toplam Organik Karbon Bakımından Arıtma Veriminin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- Cheng, S., Zhao, S., Guo, H., Xing, B., Liu, Y., Zhang, C., Ma, M., 2022. High-efficiency removal of lead/cadmium from wastewater by MgO modified biochar derived from crofton weed. **Bioresource Technology**, **343**, 126081.
- Coombs, D. S., Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., ..., Vezzalini, G., 1998. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. **Mineralogical Magazine**, **62**(4), 533-571.
- Çağın, V., İmamoğlu, İ., 2005 “Atıksulardan Ağır Metal Gideriminde Klinoptilolit Kullanımı”, VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul.

ÇŞİDB, 2022. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.

da Costa Rocha, A.C., Scaratti, G., Moura-Nickel, C.D., da Silva, T.L., Gurgel Adeodato Vieira, M., Peralta, R.M., ... Peralta Muniz Moreira, R.D.F., 2020. Economical and technological aspects of copper removal from water using a geopolymer and natural zeolite. **Water, Air, & Soil Pollution**, **231**(7), 1-15.

Delgado-González, L., Prost-Boucle, S., Troesch, S., Molle, P., 2021. Granulated apatite filters for phosphorous retention in treatment wetlands: Experience from full-scale applications. **Journal of Water Process Engineering**, **40**, 101927.

Dinçer, İ., Orhan, A., Çoban, S., 2015. Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu.

Długosz, O., Banach, M., 2018. Sorption of Ag⁺ and Cu²⁺ by vermiculite in a fixed-bed column: Design, process optimization and dynamics investigations. **Applied Sciences**, **8**(11), 2221.

DSİ, 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

Egbosiuba, T.C., Egwunyenga, M.C., Tijani, J.O., Mustapha, S., Abdulkareem, A.S., Kovo, A.S., ... Lisak, G., 2022. Activated multi-walled carbon nanotubes decorated with zero valent nickel nanoparticles for arsenic, cadmium and lead adsorption from wastewater in a batch and continuous flow modes. **Journal of Hazardous Materials**, **423**, 126993.

EPA, 1993. Constructed wetlands for waste water treatment and wild life habitat: 17 Case Studies. EPA 832-R-93-005

EPA, 1995. A Handbook of Constructed Wetlands, Volume 1:General Considerations, USEPA Region III with USDA, NRCS, ISBN 0-16-052999-9

EPA, 1999. Design Manual: Onsite wastewater treatment and disposal systems, 625/1-80-012, Environmental Protection Agency, USA.

Fan, C., Gao, Y., Zhang, Y., Dong, W., Lai, M., 2018. Remediation of lead and cadmium from simulated groundwater in loess region in northwestern China using permeable

reactive barrier filled with environmentally friendly mixed adsorbents. **Environmental Science and Pollution Research**, 25(2), 1486-1496.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019a. Atık Su Arıtmada Filtre Malzemesi Olarak Pumis Kullanımı. **Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi**, 2 (3), 18-22.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019b. Potential Use of Zeolite as a Substrate Material in Constructed Wetlands, 728-733. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference, 24-27 April, Kayseri, Turkey.

Gökalp, Z., Çakmak, B., 2015. Atık Su Arıtmada Yapay Sulak Alan Teknolojileri ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar. 1. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi, 9-11.

Guo, X., Gao, X., Fu, S., Jiang, G., Dong, Y., Hu, Z., 2022. Dynamic experiment on the treatment of acidic chromium-containing wastewater by lignite loaded nano FeS. **RSC Advances**, 12(10), 6054-6062.

Jayalakshmi, R., Jeyanthi, J., Sidhaarth, K.A., 2022. Versatile application of cobalt ferrite nanoparticles for the removal of heavy metals and dyes from aqueous solution. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, 17, 100659.

Kadlec, H.R., Knight, R.L., 1996. Treatment Wetlands. Lewis, Boca Raton, New York, London, Tokyo, p. 893.

Kanarya, F.O., 2018. Yapay Sulak Alanlarda Performans Değerlendirilmesi: Kayseri Salur Örneği. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.

Knight, R.L., Mc Kim, T.W., Kohl, H.R., 1987. Performance of natural wetland treatment system for wastewater management. **J. Water Pollut. Control Fed** 59, 746-754.

Langergraber, G., Weissenbacher, N., 2017. Survey on number and size distribution of treatment wetlands in Austria. **Water Science and Technology**, 75(10), 2309-2315.

Li, C., Champagne, P., 2009. Fixed-bed column study for the removal of cadmium (II) and nickel (II) ions from aqueous solutions using peat and mollusk shells. **Journal of hazardous materials**, 171(1-3), 872-878.

- Liu, T., Yang, X., Wang, Z.L., Yan, X., 2013. Enhanced chitosan beads-supported FeO-nanoparticles for removal of heavy metals from electroplating wastewater in permeable reactive barriers. **Water research**, **47**(17), 6691-6700.
- Mander, Ü., Mäuring, T., 1997. Constructed wetlands for wastewater treatment in Estonia. **Water Science and Technology**, **35**(5), 323-330.
- Masi, F., 2005. Training Course Notes on Constructed Wetlands, MRC-Gebze, Kocaeli, Turkey, 01-04 July.
- MTA, 2021. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/zeolit>. (Erişim Tarihi: 30.10.2021)
- Mthombeni, N.H., Mbakop, S., Ray, S.C., Leswifi, T., Ochieng, A., Onyango, M.S., 2018. Highly efficient removal of chromium (VI) through adsorption and reduction: a column dynamic study using magnetized natural zeolite-polypyrrole composite. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, **6**(4), 4008-4017.
- Mubarak, M.F., Mohamed, A.M.G., Keshawy, M., Abd elMoghny, T., Shehata, N., 2022. Adsorption of heavy metals and hardness ions from groundwater onto modified zeolite: Batch and column studies. **Alexandria Engineering Journal**, **61**(6), 4189-4207.
- MTA, 2022a. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/zeolit.jpg (Erişim Tarihi: 15.01.2022)
- MTA, 2022b. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/perlit_pomza.jpg (Erişim Tarihi: 15.01.2022)
- Özen, Ö., 2006. S.Ü. kampüsü atıksularının ekilmiş sulak alanda *Miscanthus X Giganteus* ile arıtımı ve bitkinin hasat sonrasında adsorban özelliği, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ranjbar, E., Ghiassi, R., Akbary, Z., 2017. Lead removal from groundwater by granular mixtures of pumice, perlite and lime using permeable reactive barriers. **Water and Environment Journal**, **31**(1), 39-46.

- Shutes, R.B.E., Revitt, M., Forshaw, M. and Winter, B. 2002. Constructed Wetland Monitoring and Management for Urban Runoff Management. In : Editors : Mansor, M., Eng, L.P. and Shutes R.B.E. Constructed Wetlands : Design, management and Education. Universiti Sains Malaysia Publisher, Malaysia.
- Siabi, W.K., Owusu-Ansah, E.D.J., Essandoh, H.M.K., Asiedu, N.Y., 2021. Modelling the adsorption of iron and manganese by activated carbon from teak and shea charcoal for continuous low flow. **Water-Energy Nexus**, **4**, 88-94.
- SKKY, 2004. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, (Erişim Tarihi: 27.10.2021).
- Søvik, A. K., Kløve, B., 2007. Emission of N₂O and CH₄ from a constructed wetland in southeastern Norway, **Science of the Total Environment**, **380**, 28–37.
- Suliman, F., Futsaether, C., Oxaal, U., Haugen, L.E., Jenssen, P., 2006. Effect of the inlet–outlet positions on the hydraulic performance of horizontal subsurface-flow wetlands constructed with heterogeneous porous media, **Journal of Contaminant Hydrology**, **87**, 22-36.
- Tofan, L., Teodosiu, C., Paduraru, C., Wenkert, R., 2013. Cobalt (II) removal from aqueous solutions by natural hemp fibers: batch and fixed-bed column studies. **Applied Surface Science**, **285**, 33-39.
- Trademap, 2022. <https://www.trademap.org/> (Erişim Tarihi: 17.01.2022)
- TÜİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu, Su ve Atık Su İstatistikleri.
- Uzun, O., Gokalp, Z., Irik, H.A., Varol, I.S., & Kanarya, F.O., 2021. Zeolite and pumice-amended mixtures to improve phosphorus removal efficiency of substrate materials from wastewaters. **Journal of Cleaner Production**, **317**, 128444.
- Viggi, C.C., Pagnanelli, F., Cibati, A., Uccelletti, D., Palleschi, C., Toro, L., 2010. Biotreatment and bioassessment of heavy metal removal by sulphate reducing bacteria in fixed bed reactors. **Water research**, **44**(1), 151-158.
- Vymazal, J., (Ed.), 1998. Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe. Backhuys Publ..

- Vymazal, J., 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment, **Ecological Engineering**, **25**, 5, 478-490.
- Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands, **Science of The Total Environment**, **380**, 48-65.
- Yahya, M.D., Abubakar, H., Obayomi, K.S., Iyaka, Y.A., Suleiman, B., 2020. Simultaneous and continuous biosorption of Cr and Cu (II) ions from industrial tannery effluent using almond shell in a fixed bed column. **Results in Engineering**, **6**, 100113.
- Zanin, E., Scapinello, J., de Oliveira, M., Rambo, C.L., Franscescon, F., Freitas, L., ... Dal Magro, J., 2017. Adsorption of heavy metals from wastewater graphic industry using clinoptilolite zeolite as adsorbent. **Process Safety and Environmental Protection**, **105**, 194-200.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan Ömer KANARYA

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm / Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Ziraat Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	Biyosistem Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2018
Doktora	Biyosistem Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2022

Yüksek Lisans Tez Başlığı ve Tez Danışmanı:

“Yapay Sulak Alanlarda Performans Değerlendirmesi: Kayseri Salur Örneği” - 2018

Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Proje Görevleri:

- Öğrenci, BAP Tez Projesi

“Farklı Filtre Malzemelerinin Evsel Atık Sulardan Besin Elementi ve Ağır Metal Giderim Performansı”

- Araştırmacı, BAP Normal Araştırma Projesi, 2019

“Farklı Filtre Malzemelerinin Atık Sulardan Fosfor Giderim Etkinliğinin Belirlenmesi”

Yayınlar

Uzun, O., Gokalp, Z., Irik, H.A., Varol, I.S., Kanarya, F.O., 2021. Zeolite and pumice-amended mixtures to improve phosphorus removal efficiency of substrate materials from wastewaters. *Journal of Cleaner Production*, 128444.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019. Atık Su Arıtmada Filtre Malzemesi Olarak Pumis Kullanımı. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 2 (3), 18-22.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019. Constructed Wetland Systems to Remove Nutrients from Wastewaters. *Current Trends in Natural Sciences*, 8(16), 166-173.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019. Researches on Constructed Wetland Systems of Turkey. Current Trends in Natural Sciences, 8(16), 174-180.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2018 Performance Assessment for Constructed Wetlands of Kayseri Province of Turkey. Current Trends in Natural Sciences, 7(14), 81-87.

Hakemli Kongre / Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar:

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., Uzun, E.E., 2020. Phosphorus Removal Performance of Sand-Pumice Mixtures from Wastewater. International Symposium Current Trends in Natural Sciences, 49. May 7 – 9, 2020 University of Pitesti, Romania

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., Kose, U., 2020. Phosphorus Removal Performance of Sand-Zeolite Mixtures from Wastewaters. International Symposium Current Trends in Natural Sciences, 50. May 7 – 9, 2020 University of Pitesti, Romania

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019. Doğal Arıtma Sistemlerinin Genel Durumu: Kayseri – Türkiye Örneği, 720-727. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference, 24-27 April, Kayseri, Turkey.

Gokalp, Z., Kanarya, F.O., 2019. Potential Use of Zeolite as a Substrate Material in Constructed Wetlands, 728-733. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference, 24-27 April, Kayseri, Turkey.

Gökalp, Z., Kanarya, F.O., 2018. A Case Study on Natural Waste Water Treatment Systems of Kayseri Province of Turkey, 1203-1210. I. Uluslararası Iğdır Muıltidisipliner Çalışmaları Kongresi, 6-7 Kasım, Iğdır, Türkiye.

Gökalp, Z., Kanarya, F.O., 2018. Phosphorus Removal from Waste Waters with Different Substrate Materials, 2032-2039. I. Uluslararası Iğdır Muıltidisipliner Çalışmaları Kongresi, 6-7 Kasım, Iğdır, Türkiye.