

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

**ZEOLİT-PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDA
AZOT GİDERİM PERFORMANSI**

**Hazırlayan
Adya KUMAK**

**Danışman
Prof. Dr. Zeki GÖKALP**

Yüksek Lisans Tezi

**Mart 2022
KAYSERİ**

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

**ZEOLİT-PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDA
AZOT GİDERİM PERFORMANSI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Adya KUMAK**

**Danışman
Prof. Dr. Zeki GÖKALP**

**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.

Adya KUMAK

İmza

“Zeolit-Pumis Karışımlarının Atık Sularda Azot Giderim Performansı” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Adya KUMAK

Danışman

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan öncelikle annem Leyla KUMAK’a, danışmanım Prof. Dr. Zeki GÖKALP’e, laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN hocama, arkadaşım Furkan KANARYA’ya ve tez yazımı sürecinde desteğini esirgemeyen arkadaşım Elmas ERCAN’a teşekkürlerimi ve minnetimi sunarım.

Adya KUMAK

Mart 2022, KAYSERİ

ZEOLİT-PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDA AZOT GİDERİM PERFORMANSI

Adya KUMAK

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

ÖZET

Yapay sulak alanlar evsel atık suların arıtılmasında pahalı konvansiyonel arıtma sistemlerine alternatif sistemler olarak kullanılmaktadır. Yapay sulak alanlarda kullanılan filtre malzemeleri sistem performansını önemli düzeyde etkilemektedir. Yapılan tez çalışmasında atık sulardan özellikler azot giderimi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla yalın halde (%100) ve farklı oranlarda karıştırılmış (%25-75, %50-50, %75-25) pumis-zeolit karışımları kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında filtre malzemeleri ile doldurulmuş PVC-kolonlara farklı kontrasyonlarda (10-20-40 ppm) azot çözeltileri uygulanıp farklı hidrolik bekletme sürelerinde numuneler alınmıştır. Alınan numuneler pH, elektiksel iletkenlik ve toplan azot (TN) analizlerine tabi tutularak filtre malzemelerinin azot giderim performansı araştırılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde filtre materyali olarak kullanılan pumis ve zeolit materyallerinin yalın hallerinden ziyade %50 Pumis + %50 Zeolit karışımının daha etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle nitrat kirliliğinin yüksek olduğu bölgelerde yapay sulak alanların inşalarında her iki materyalden de aynı oranda kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Azot kirliliği, Arıtma, Kolon denemesi, Filtre malzemesi

NITROGEN REMOVAL PERFORMANCE OF ZEOLIT-PUMICE MIXTURES FROM WASTEWATERS

Adya KUMAK

Erciyes University, Graduate School of Applied and Natural Sciences

Master's Thesis, March 2022

Supervisor: Prof. Dr. Zeki GÖKALP

ABSTRACT

Constructed wetlands are used as alternative systems to expensive conventional treatment systems in treatment of domestic wastewater. Filter materials used in constructed wetlands significantly affect system performance. In present thesis, nitrogen removal from wastewaters were focused on. For this purpose, pure (100%) and mixed (25-75%, 50-50%, 75-25%) pumis-zeolite materials were used. Different concentrations of nitrogen solutions (10-20-40 ppm) were applied to PVC-columns filled with filter materials in the laboratory and samples were taken at different hydraulic retention times. Samples were subjected to pH, electrical conductivity (EC) and total nitrogen (TN) analyses to investigate nitrogen removal performance of filter materials.

As a result of the analyzes made, it was concluded that 50% Pumis + 50% Zeolite mixture was found to be more effective than the pure forms of pumis and zeolite materials used as filter materials. Therefore, it is recommended to use the same amount of both materials in the construction of constructed wetlands in regions with high nitrate pollution.

Keywords: Nitrogenpollution, Treatment, Columntests, Filtermaterial.

İÇİNDEKİLER

ZEOLİT-PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDA AZOT GİDERİM PERFORMANSI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
KABUL ve ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Doğal Arıtma Sistemleri	6
1.2. Doğal Sulak Alanlar	6
1.3. Yapay Sulak Alanlar	9
1.3.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alanlar	10
1.3.2. Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alanlar	12
1.4. Yapay Sulak Alanların Tasarım Kriterleri	13
1.4.1. Topoğrafya	13
1.4.2. Temel Boyutlandırma Parametreleri.....	14
1.4.3. Ön Arıtma İhtiyacı.....	14
1.4.4. Dolgu Malzemesi	14
1.4.5. BOİ Yükleme Hızı.....	15
1.4.6. Hidrolik Yükleme Hızı	15

1.4.7. Bekletme Süresi.....	15
1.4.8. Havuz Alanı ve Geometrisi	15
1.5. Yapay Sulak Alanlarda Kirlilik Giderim Mekanizmaları	16
1.5.1. Askıda Katı Madde (AKM) Giderimi.....	16
1.5.2. Azot Giderimi.....	16
1.5.3. BOİ Giderimi.....	17
1.5.4. Fosfor Giderimi.....	17
1.6. Azot.....	17

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	20
2.1.1. Deney Düzenekleri	20
2.1.2. Malzeme Karışım Oranları ve Boyutları.....	22
2.2. Yöntem	26
2.2.1. Hidrolik Bekletme Süreci.....	26
2.2.2. pH ve Elektriksel İletkenlik (EC) Ölçümleri.....	27
2.2.3. Toplam Azot Analizi.....	29

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. EC Değişimi	30
3.2. pH Değişimi	35
3.3. Toplam Azot Sonuçları.....	40

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	47
KAYNAKÇA	48
ÖZGEÇMİŞ.....	51

KISALTMALAR

km	: Kilometre
mm	:Milimetre
m	: Metre
%	: Yüzde
PVC	: PoliVinilKlorür
Ppm	: Milyonda Bir
AKM	: Askıda Katı Madde Miktarı
YSA	: Yapay Sulak Alan
SYS	: Serbest Yüzey Akışlı Sulak Alan
YAS	: Yüzey Altı Akışlı Sulak Alan
BOİ	: Biyolojik Oksijen Miktarı
EPA	: Amerikan Birleşik Devleti Çevre Koruma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
N	: Azot
EC	: Elektriksel İletkenlik

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Çalışmada kullanılan malzemelerin tane boyutları.....	23
Tablo 2.2.	Zeolit malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri	23
Tablo 2.3.	Pumis malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	24
Tablo 2.4.	Malzeme karışım oranları	25
Tablo 3.1.	%100 zeolit karışımına ait EC analiz sonuçları	30
Tablo 3.2.	%25 zeolit + %75 pumis karışımına ait EC analiz sonuçları.....	31
Tablo 3.3.	%50 zeolit + %50 pumis karışımına ait EC analiz sonuçları	32
Tablo 3.4.	%75 zeolit + %25 pumis karışımına ait EC analiz sonuçları.....	33
Tablo 3.5.	%100 pumis karışımına ait EC analiz sonuçları	36
Tablo 3.6.	%100 zeolit karışımına ait 10 günlük pHölçüm sonuçları.....	36
Tablo 3.7.	%25 zeolit + %75 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları.....	37
Tablo 3.8.	%50zeolit + %50 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları.....	37
Tablo 3.9.	%75 zeolit + %25 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları.....	40
Tablo 3.10.	%100 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları.....	41
Tablo 3.11.	%100 zeolit materyalinde elde edilen toplam azot miktarı (ppm).....	41
Tablo 3.12.	%25 zeolit + %75 pumis karışımlarından elde edilen toplam azot miktarı.....	42
Tablo3.13.	%50zeolit + %50 pumis karışımlarından elde edilen toplam azot miktarı	43
Tablo 3.14.	%75 zeolit + %25 pumis karışımlarından elde edilen toplam azot miktarı	44
Tablo 3.15.	%100 pumis materyalinden elde edilentoplam azot miktarı.....	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Su kirliliği etmenleri	5
Şekil 1.2.	Sulak alanın üç temel bileşeni	8
Şekil 1.3.	Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda etkin arıtım mekanizmaları	12
Şekil 1.4.	Azot bileşikleri	18
Şekil 2.1.	Kolon test düzenekleri	21
Şekil 2.2.	Filtre kolonlarına at çıkış vanaları	21
Şekil 2.3.	Zeolit malzemesi.....	22
Şekil 2.4.	Pumis malzemesi	22
Şekil 2.5.	Çakıl malzemesi.....	23
Şekil 2.6.	Pumis elemanının elektron mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü.....	25
Şekil 2.7.	Kolonların beslenmesini	26
Şekil 2.8.	Alınan numunelere ait görseller.....	27
Şekil 2.9.	pH ölçümlerine ait bir görsel	28
Şekil 2.10.	EC ölçümlerine ait bir görsel	28
Şekil 2.11.	(a) Spektrofotometre (b) Azot analizi çözeltilerinde renk değişimi	30
Şekil 3.1.	Zeolit materyalinde EC değişimi	34
Şekil 3.2.	%25 zeolit + %75 pumis karışımlarında EC değişimi.....	33
Şekil 3.3.	%50 zeolit + %50 pumis karışımlarında EC değişimi.....	34
Şekil 3.4.	%75 zeolit + %25 pumis karışımlarında EC değişimi.....	35
Şekil 3.5.	%100 pumis karışımlarında EC değişimi	36
Şekil 3.6.	%100 zeolit materyalinin farklı konsantrasyonlarda pH'ya etkisi.....	37
Şekil 3.7.	%25 zeolit + %75 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri.....	38
Şekil 3.8.	%50 zeolit + %50 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri.....	39
Şekil 3.9.	%75 zeolit + %25 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri.....	40

Şekil 3.10. %100 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri	41
Şekil 3.11. Zeolit materyallerinden elde edilen toplam azot miktarındaki değişimi ..	42
Şekil 3.12. %25 zeolit + %75 pumis karışımlarından elde edilen toplam azot	43
Şekil 3.13. %50 zeolit + %50 pumis karışımlarından elde edilen toplam azot	44
Şekil 3.14. %75 zeolit + %25 pumis karışımlarından elde edilen toplam azot	45
Şekil 3.15. %100 pumis materyalinden elde edilen toplam azot	46



GİRİŞ

Su, tüm canlıların yaşamlarını devam ettirebilmesi için vazgeçilmez bir ögedir. Dolayısıyla, yeterli ve kaliteli suyun varlığı tatlı su sistemlerinin ve sürdürülebilir kalkınmanın temel unsurlarından birisidir. Günümüzde doğal kaynaklar ve en önemlisi de su kaynakları giderek azalmaktadır. Bunun nedeni ise artan nüfus, küresel ısınma, iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik, aşırı ve bilinçsiz su kullanımıdır. Bu nedenle sınırlı su kaynaklarının doğa ile uyumlu bir şekilde devinimli kullanılması gerekmektedir.

Su kaynakları yönetimi, doğal kaynaklar içerisinde hem nicelik hem de nitelik olarak en verimli şekilde sistematik olarak faydalar sağlayan sürekli olan bir yönetim biçimidir.

Dünyadaki toplam su miktarı 1.4 milyar km³'tür. Bu suların %98'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2'si ise göl ve nehirlerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Tatlı su kaynaklarının %90'ı kutuplarda buzul şeklinde ve yer altında bulunmaktadır. Bu nedenle tatlı su kaynaklarına ulaşılmasının insanlar açısından ne kadar zor olduğu görülmektedir (DSİ, 2020). Dünyada kişi başına düşen kaliteli su miktarı günden güne azalmakta ve suyun yönetiminde rekabet artmaktadır.

Ülkemiz, su kaynakları bakımından zengin olduğu düşünülse de dünyada su sıkıntısı çeken ülkeler arasındadır. Türkiye'nin artan nüfusunun su kaynağı üzerinde iki farklı etkisi bulunmaktadır. Birincisi, gıda talebinin artmasıyla suya olan talep artmakta, ikincisi gelişen teknolojiyle birlikte sanayi alanındaki kullanımı artmakta dolayısıyla kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı azalmaktadır. DSİ istatistiklerine göre kişi başına düşen yıllık su miktarı yaklaşık 1519 m³'tür. Ülkemiz nüfusunun 2030 yılında 100 milyon olacağı düşünülürse kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1120 m³ olacaktır (DKM, 2014).

Günümüzde, özellikle sanayileşme ve artan nüfusla birlikte çevre kirliliği de artmaktadır. Artan çevre kirliliğinin bir kısmını atık sular oluşturmaktadır. Atık suların

arıtılmadan alıcı ortamlaradeşarj edilmesi ile temiz su kaynakları da kirletilmektedir. Artan nüfus ile birlikte gıda sektörüne olan talebinde doğru orantılı artması su kullanımına olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu doğrultuda evsel ve endüstriyel atık su arıtımında dünyada farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin kullanılması en çok tarım sektöründe etkili olmaktadır. Arıtılan suların tarım sektöründe kullanılması hem su tasarrufu sağlamakta hem de çevre kirliliğini azaltmaktadır. Atık su arıtımında, arıtma tesisinin maliyet ve yapısına göre kimyasal, fiziksel, biyolojik ve ileri arıtma süreçlerine yer verilmektedir (İspirli, 2006).

Fiziksel arıtma: Biyolojik, kimyasal ve ileri arıtmadan önce yapılan arıtmadır. Kum tutucu, ön çökelme, ızgara, yağ tutucu, dengeleme havuzları bu amaçla kullanılmaktadır.

Kimyasal arıtma: Bazı kimyasal maddeler eklenerek atık sudaki istenmeyen maddelerin çöktürölüp temiz suyun elde edilmesi işlemidir. Bu kimyasal aşamalar koagölasyon, flokülasyon ve oksidasyondur.

Biyolojik arıtma: Atık suda bulunan ve askıda kalan maddelerin bakteriler tarafından parçalanması işlemidir.

İleri arıtma: Klasik arıtma sistemleri uygulanan arıtılmış atık suda kalan çözünmüş madde, organik maddeler ve benzeri kirleticilerin arıtılmasının yanı sıra ek arıtma sistemleri de gerekmektedir. Bu ek arıtma sistemlerine ileri arıtma sistemleri denilmektedir. Yapay sulak alanlar doğal olarak gerçekleşen arıtma sürecini bir sistem içerisinde tarımsal, evsel ve endüstriyel alanda oluşan atık sularda kirlilik parametrelerinin giderimi için yapılan inşalardır. Genellikle nüfusla orantılı inşalar yapılır ve yaygın olarak kullanılır (Gökalp ve Çakmak, 2015). Bu arıtma sisteminde geçirimsiz tabaka da korunan hacim içinde kullanılan kum, çakıl ve taş gibi geçirgen filtre malzemeleri ile birlikte sucul bitkilerin yardımıyla kirlilik parametrelerini oluşturan unsurların arıtılmasıdır. Belirli derinlikler de yapılan havuzlaradeşarj edilen atık suyun su kontrol seviyesi bekletme süreci ve tekrar ortamadeşarj sağlayan sistemlerdir (Cop, 2017).

Yapay sulak alanlarda filtre malzemesi olarak genellikle kum ve çakıl kullanılmaktadır. Bitki besin elementleri içerisinde en hızlı azot elementinin eksikliği belli olur. Azot

noksanlığı bitki de büyüme, gelişme ve yeşil renk pigmentinde eksiklik yaşanır ve bitki küçük kalır. Bitkide azot ağırlığı %1-2 gibi bir kısmı oluşturan önemli bir elementtir. Azot solunum enzimlerinde ko – enzim olarak görev yapmakta, vitaminlerin nükleik asitlerin bileşimini sağlamakta, en çok da proteinlerin yapısında yer almaktadır.

Azotun uzaklaştırılmasında biyolojik olarak iki mekanizma bulunmaktadır. Nitrifikasyon-denitrifikasyon ve asimilasyondur. Arıtılmış sularda azotun %90'ı amonyak şeklindedir. Azot aynı zamanda bir besin maddesi olduğu için arıtma sürecinde yer alan mikroorganizmalar amonyak azotunu yok ederek hücre kütlesine dönüştürmektedir. Amonyak azotunun belirli bir kısmı hücrelerin parçalanması ile atık suya geri dönecektir. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon azotun uzaklaştırılmasında kullanılan iki farklı işlemdir. İlk işlem olan nitrifikasyonda amonyak nitrata indirgenir ancak azot sadece form değişikliğine uğrar ve uzaklaştırılmaz. İkinci işlemde ise nitrat gaz şekline çevrilerek uzaklaştırılır (Shelknanloymılan, 2013).

Bu çalışmada zeolit ve pumis materyallerinin yalın hallerinin yanı sıra farklı oranlardaki karışımlarının atık sulardan azot giderim etkinliğilaboratuvar koşullarında kolon deneyleri ile belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan pumis ve zeolit madenleri ülkemizde bolca bulunmaktadır. Zeolit materyali Manisa-Gördes bölgesinden temin edilirken pumis materyali ise Kayseri-Develi bölgesinden temin edilmiştir. Bu materyaller hem yalın hallerinde kullanılmış hem de %25-75, %50-50 ve %75-25 karışım oranlarında kullanılmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Su, tüm canlıların yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan en temel ihtiyaçtır. Sonsuz kaynak olarak görülse de nüfus artışı, sanayileşme, tarımsal sulama, iklim değişiklikleri ve su kirliliği ile 20–40 yıl içerisinde su krizlerinin yaşanacağını öngörülmesi sebebi ile su yönetimine dair ciddi çalışmalar başlatılmıştır.

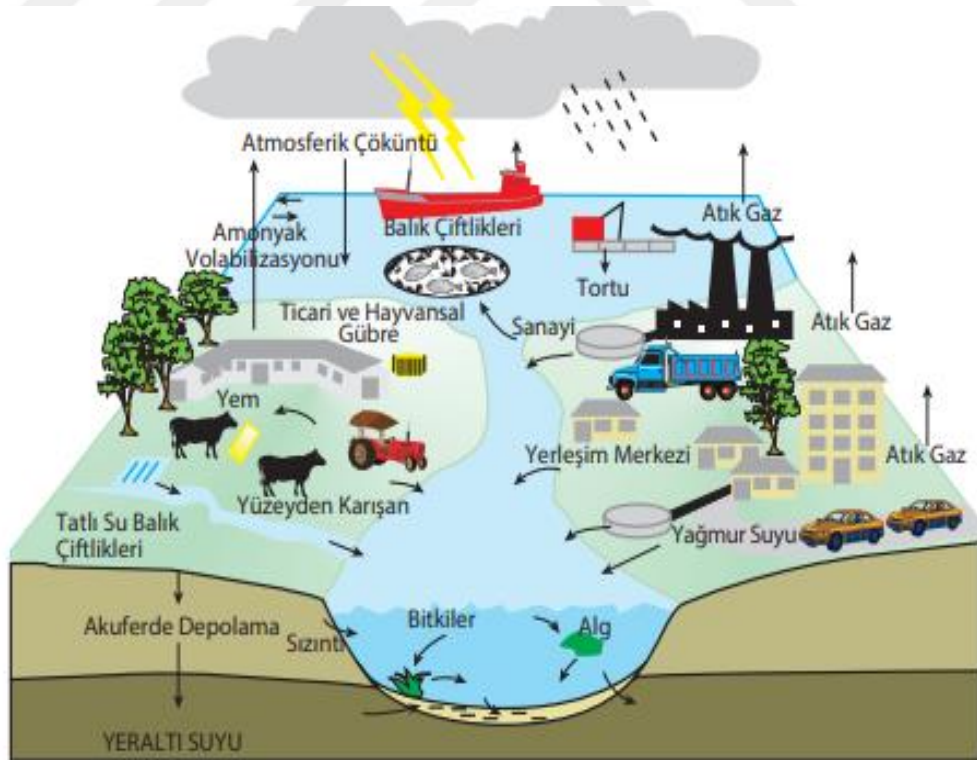
Yeryüzündeki su kaynaklarının %3'ünü tatlı su kaynakları oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının büyük bölümü buzullarda bulunmaktadır. Çevresel ve iklimsel faktörlerin etkisi ile kuraklık artmaktadır ve mevcut tatlı su kaynakları da artış göstermemektedir. Ülkemizde dünyada olduğu gibi su kıtlığı problemi tehdidi altındadır. Bu nedenle dünyada her ülke nitelikli suya ulaşamamaktadır.

Su kullanımı aynı zamanda ülkelerin gelişmişliğinin de bir göstergesidir. Avrupa Birliği'nde yıllık kullanılabilir su miktarının %35'i tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Ülkemizde ise yıllık kullanılabilir su miktarının %75'i tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Güney Avrupa'da da durum çok farksız değildir. Ülkemizde olduğu gibi yıllık kullanılabilir su miktarının %75'ini tarımsal sulamada kullanmaktadırlar. Batı Avrupa ve Orta Avrupa'da mevcut suyun yarısından fazlası enerji üretimi ve insan ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Türkiye'de ve AB'de tarımsal sulamada harcanan suyun iyi yönetilememesi ve sulama teknolojilerinin aktif şekilde kullanılamamasından dolayı ekonomik ve çevresel problemler ortaya çıkmaktadır (Aksungur ve Firidin, 2008).

Kullanılabilir doğal su kaynakları ile su ihtiyacı arasındaki fark giderek artmaktadır. Bu doğrultuda atık suların uygun teknolojiler kullanılarak arıtılması sağlanmaktadır. Dolayısıyla tarımsal sulama ve enerji gibi çeşitli alanlarda tekrar kullanılmaktadır. Ayrıca atık suların yeniden kullanılması ekonomik açıdan sürdürülebilir kalkınmada

girdi oluşturarak önemli bir role sahiptir. Birleşmiş Milletler, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda 2030 yılına kadar küresel çerçevede atık su oranı yarıya indirilerek geri kullanımının teşvik edilmesi hedeflenmektedir. Atık suların sağlıklı şekilde yeniden kullanılması AB tarafından benimsenen döngüsel ekonomi yaklaşımı hedefleri arasındadır. Günümüz de su problemi nedeni ile ikinci kalite ve arıtılmış atık sularda tarımda kullanılmaya başlanmıştır.

Atık su arıtımında, alıcı ortama deşarj edildikten sonra alıcı ortamın yapısı bozulmayacak şekilde fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma ile kirleticilerin atık sudan uzaklaştırılarak tekrar kullanımı amaçlanır. Su kirliliği oluşturan ve arıtılması gereken unsurlar Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Konvansiyonel arıtma sistemleri yanında doğal arıtma sistemleri de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.1. Su kirliliği etmenleri

1.1. Doğal Arıtma Sistemleri

Doğal arıtma; tabiatta bulunan suyun, toprak, mikroorganizmalar, bitkiler ve atmosfer ile etkileşime girerek kendi kendini temizleme durumudur. Bu sistemlerde eş zamanlı olarak bir ekosistem içerisinde arıtım sağlanmaktadır. Mekanik sistemlerde arıtım ise hem farklı reaktörler hem de devamlı bir enerji girdisi ile çalıştırıldığından çok hızlı yürütülmektedir (Tchobanoglous ve Burton, 1991).

Doğal arıtma sistemleri genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1) Stabilizasyon Havuzları

- Aerobik havuzlar
- Anaerobik havuzlar
- Fakültatif havuzlar
- Olgunlaştırma havuzları

2) Arazide Arıtma Sistemleri

- Yavaş infiltrasyon
- Hızlı infiltrasyon
- Arazi üzerinden akıtma

3) Yapay Sulak Alan Sistemleri

- Serbest yüzey akışlı (Yüzücü ve Köklü Bitkiler)
- Yüzey altı akışlı (Yatay ve Düşey akışlı)

1.2. Doğal Sulak Alanlar

Doğal sulak alanlar suyun belirli alanlarda topoğrafik şartlara bağımlı olarak birikmesiyle meydana gelen jeolojik yapılardır. Yerküre üzerinde yalnızca %3'lük bir alana sahip olmalarına rağmen, doğal zenginlikleri ile çevre için büyük öneme sahiptir. Bu özel alanlar toprak ve su kütleleri arasındaki geçiş bölgeleridir ve yüksek su düzeyleri ile yüksek organik madde içeriğine sahiptir. Bu özellikleri ile zengin flora ve fauna için yaşam alanı sağlarlar. Ortamdaki kirletici maddeleri veya besinleri bileşenindeki bitkileri kullanarak suları arıtır. Bölgenin nemini yükseltir ve temel olarak

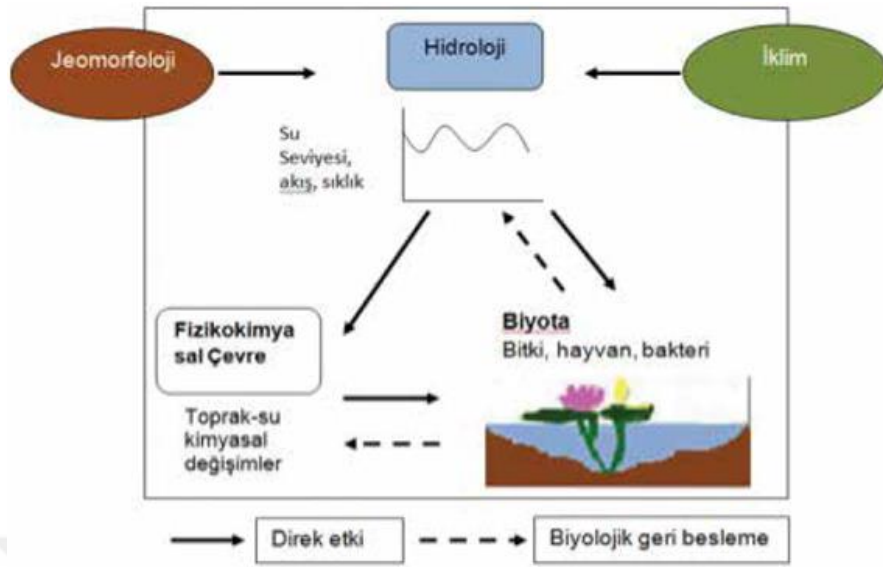
iklim etmenleri üzerinde olumlu etkilere sahiptirler. Fakat sulak alanların üzerindeki baskılar onları yok olma tehlikesiyle karşı karşıya getirmiştir. Sulak alanların 19.yy'da sıtma mikrobunu taşıyan sivrisineğe neden olduğu gerekçeyle başlatılan kurutma çalışmaları ile dünya üzerinde çoğu sulak alan katledilmiştir. Diğer yandan sulak alanları besleyen kaynakların engellenmesi, yine sistemden alınan aşırı su kullanımları, evsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların oluşturduğu kirlilik, bu alanların zaman içinde işlevini yitirmesine sebep olmuştur. Ülkemizde 1950-1970'li yıllarda anılan sebeplerin yanında yeni tarım arazileri açmak amacıyla toplam 93582 ha alana sahip 21 sulak alan tamamen kurutulmuştur. Devam eden yıllarda ise su rejimine yönelik müdahaleler ile 17 sulak alan da kurumaya terk edilmiştir. Ayrıca atık suların arıtımının ilk yıllarından bu yana sulak alanlar genelde deşarj alanları olarak değerlendirilmiştir. Bu olumsuzluk halen sulak alanların korunmasının önündeki en büyük engeldir (Kadlec ve Knight, 1996).

Atık sulardaki toksik elementler ve patojenler bu doğal sistemlerde uzun vadeli bozulmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle atık suların arıtımında konvansiyonel sistemler ile ileri arıtma teknolojilerinin kullanımının yanı sıra doğal sulak alanlardaki süreçleri taklit edecek biçimde tasarlanmış yapay sulak alan teknolojileri geliştirilmiştir (Şener, 2007).

Sulak alan bilimsel olarak sistemli ve devamlıdır. Dolayısıyla sulak alanlar yüzey suyu ya da her zaman suya doymuş toprak olduğu için sucul bitkilerin büyüdüğü ekosistemlerdir. Sulak alanlar üç çeşit temel bileşene sahiptir (Şekil 1.2). Bunlar;

- Sulak alan hidrolojisi: Suyun ortamda bulunması
- Fiziko-kimyasal çevre: Kendine özgü toprak yapısı
- Biyolojik çeşitlilik: Sulak alanlara uyum sağlamış canlılardır.

Sulak alanları belirtmede kullanılan göstergeler hidroloji, toprak ve vejetasyondur. Bu bileşenler birbirleriyle bağlı olup biyotadan etkilenmektedirler.



Şekil 1.2. Sulak alanın üç temel bileşeni

Doğal sulak alanlar büyük su kütlelerinden ayrı olarak daha sıkı yapılara sahiptirler. Nehirler, göller ve bataklıklar doğal sulak alanlardır. Doğal sulak alanlar gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde evsel ve endüstriyel atık suların deşarj edildiği yerlerdir (Denny, 1997).

Doğal arıtma sistemlerinin özellikleri;

- Sistemler yüksek maliyetli değildir.
- Enerji ihtiyacı yoktur.
- Bakımı kolaydır.
- Doğal malzemeler kullanılarak atık sular filtre edilebilir.
- Güneş enerjisini kullanabilme ve kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptir.
- Birçok canlıya yaşama alanı sunmaktadır.
- Karbondioksit tüketimi sonucunda oksijen üreterek atmosferin doğal dengesini korumaktadır.
- Arıtım kapasitesi çok yüksektir (Grau, 1996).

1.3. Yapay Sulak Alanlar

Yapay sulak alanlar, zemini sıkıştırılmış kil üzerine kum, çakıl vb. suyun akışını sağlayan maddelerle doldurularak yapılan havuzlarda yetiştirilen bitkilerle ve mühendislik öğelerini içeren yapılardır.

Yapay sulak alanlar sahip oldukları önemli ekolojik işlevlerinin yanında atık su arıtma mekanizmalarıdır. Arıtımda evsel nitelikli atık sular tarımsal nitelikli atık sular, endüstriyel nitelikli atık sular ile sızıntı suları yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda su kirliliği kontrolünde yapay sulak alan sistemleri yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. Yapay sulak alanlar, atık suların toksik etkilerini ortadan kaldırarak alıcı ortamlarda oluşturacakları su kirliliğini önleyen ve çevrenin korunmasını sağlayan önemli sistemlerdir. Bu doğal arıtma sistemlerinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

Basitlik: Tesislerin tasarımı ve yapımı çok basittir. İnşa ve bakımında çok fazla teknik bilgi gerektirmez.

Maliyet etkinliği: Tesislerin inşaat ve bakım maliyeti düşüktür. Neredeyse hiç enerji tüketimi veya atık arıtması gerektirmediklerinden, işletme aşamasında geleneksel (biyolojik) atık su tesislerinden çok daha uygundurlar. Ayrıca, bu tesislerde mekanik cihazlar kullanılmadığından, bakım maliyetleri de düşmektedir. Arıtma tesislerinin kullanılabilirliği ve arazi maliyeti dışında sınırlayıcı bir faktörü yoktur.

Verimlilik: Verimlilik iklim koşullarına bağlıdır (düşük sıcaklıklarda düşüktür). Bu nedenle, doğal atık su arıtma sistemleri genel olarak kirleticilerin giderilmesi için oldukça verimlidir.

Güvenilirlik: Doğal sistemler, aşırı çalışma koşullarında bile çok güvenilirdir. Çok çeşitli akış hızlarında organik maddeleri emebilirler.

Yapay sulak alanlar maliyeti ucuz olmaları nedeni ile gelişmekte olan ülkelerde kullanılabilir ve her geçen gün popülerliği artmaktadır. Kirli suyun sınırları sadece kentlerle sınırlı kalmayıp köylerde de bulunmaktadır. Bundan dolayı atık suları uzaklaştırmayı amaçlayan doğal arıtma projesi ile yapay sulak alanlarda atık su arıtma teknolojisi ilk defa köylerde uygulanmaya başlamıştır. İlk uygulama yeri Ankara –

Haymana – Dikilitaş köyüdür. Ayrıca 2003 yılında bu uygulama iki yerde pilot çalışma olarak başlamış ve bu çalışmanın 189 tanesi tamamlanmıştır (Grau, 1996).

Yapay sulak alanlar;

- Kültür havuzları,
- Küçük havuzlar,
- Sulama yapılan alanlar,
- Mevsimsel olarak göllenen tarım alanları,
- Tuz elde etme sahaları,
- Su depolama alanları,
- Atık su arıtma sahaları ve
- Kanallar ve drenaj kanalları, hendeklerdir (Çağırankaya ve Köylüoğlu, 2013).

Ayrıca bu sistemler düşük enerji istekleri, kolay işletme ve kullanım olanakları ve düşük çamur üretimi gibi öne çıkan avantajlarıyla konvansiyonel arıtma sistemlerine alternatif olmaktadır. İnşa edilen sulak alanlar, düşük maliyetli arazilerde ve düşük işgücüne sahip bölgelerde atık yönetiminde büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde kırsal bölgelerde doğal arıtma sistemleri, atık su sorunlarının ekonomik ve sürdürülebilir çözümünde büyük rol oynamaktadır.

Bu alanlar evsel atık su arıtımında %92-95 askıda katı madde (AKM), %80-99 biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), %30-80 toplam azot (N), %20-70 toplam fosfor (P) giderim performansı göstermektedir (Angın vd., 2010). Bu değerler tercih edilecek bitki, dolgu malzemesi ve yapay sulak alanın akım tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca yapay sulak alandan istenilen verimin sağlanabilmesi büyük oranda inşa edilecek bölgeye özgü kriterlerin dikkatle ele alınması ve tasarımının o doğrultuda yapılmasına bağlıdır (Aküzüm, 2010). Yapay sulak alanlar en düşük seviye de kimyasal, enerji ve iş gücü gerektiren ucuz, kolay işletme ve bakım gerektiren arıtma teknolojileridir (Gökalp ve Çakmak, 2015).

1.3.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alanlar

Atmosfer ile etkileşimde olan kanallar veya havuzlardan oluşan yapılardır. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar genellikle bataklık görünümündedir. Tabanı geçirimsiz

toprak veya yüzey altı bariyerlidir. Paralel havuzlar ve kanallardan oluşan sık bir yapıya sahip olup bitkilerden oluşur. Doğal yaşama uygun ve canlılar için yeni yaşam alanlarını oluşturur. Bu sistemler 3'e ayrılır.

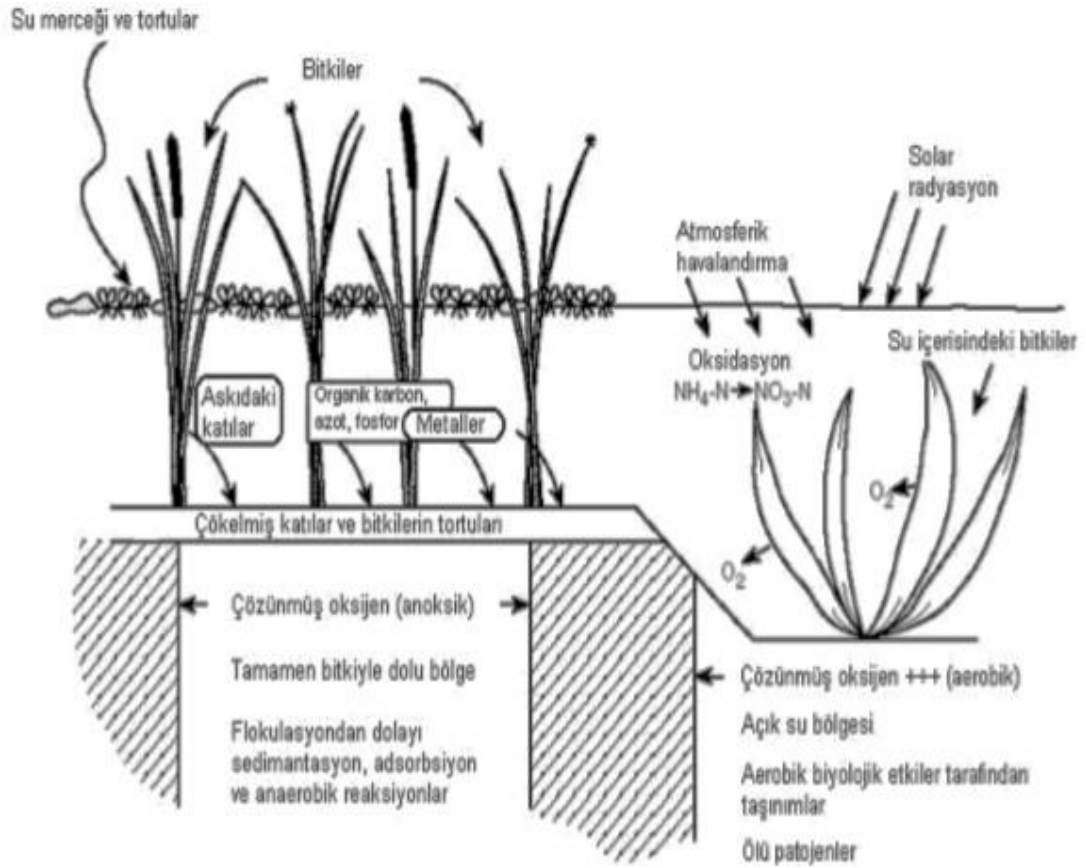
- Köklü bitkilerin hâkim olduğu,
- Yüzücü bitkilerin hâkim olduğu ve
- Batık bitkilerin hâkim olduğu sistemlerdir.

Köklü bitkilerin yaygın olduğu sistemler en yaygın olan türüdür. Yeraltına sızma olmaması için kil gibi geçirimsiz bariyerlere sahip olup sık derinlikli olduğu için yavaş akımlıdır.

Yüzücü bitkilerin yaygın olduğu sistemler yüzücü bariyerleri sayesinde bitkilerin sürüklenerek yığılmasını önler ve rüzgârın olumsuz etkisini azaltır. Yüzücü sistemler alanı tamamen kapattıkları için güneş ışığını tamamen yok ederek alglerin gelişimini engeller.

Batık bitkilerin hâkim olduğu sistemler deney aşamasındadır. Genelde son arıtım aşaması olarak kullanılmaktadırlar.

Bu sistemler genel olarak 0.6 - 0.8 m derinliğe inşa edilip, düşük su derinliğine sahiptir. Bununla beraber su debisi düşük olmasının yanı sıra bitki kök ve gövdeleri su akımını düzenlemektedir. Sık derinlikli olduğu için yavaş akım şartlarında çalışmaktadır. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan sistemleri genel olarak ikinci veya ileri arıtım amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanıldığında atık sular sisteme sürekli olarak verilir ve bileşenindeki bitkilerden dolayı sistemde yavaş hareket ederken arıtım gerçekleşmektedir. Atık sudaki çökebilir katılar ve partikül şeklindeki N ve P çökelme işlemi ile sedimente olarak giderilir. Böylece atık suyun biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) oranı düşürülür. Bu sistemlerde gerçekleşen arıtım süreleri Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3.Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda etkin arıtım mekanizmaları

Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar atık su arıtımında basit sistemler olmasına karşın büyük alanlara ihtiyaç duyması en önemli dezavantajıdır. Ayrıca sık bitkilerin neden olduğu sivrisinek sorunu ve beraberindeki koku problemi ile mücadelede çoğu zaman başarısız olunmaktadır (Akın, 2007).

1.3.2. Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alanlar

İleri arıtma için tasarlanmış yapılardır. Atık sularda azot giderimin de kullanılan en uygun sistemdir. Havuz yapısında geçirimsiz taban ve bu tabanda gevşek yapıda filtre malzemesi ve bu malzeme içerisinde ekili sucul bitkilerle beraber su seviyesi kontrolünü yapan manuel veya otomatik sistemlerdir. Giriş yapısında bariyer veya geçirimsiz kil tabakadan oluşur. Bu sistemin bir kısmı sürekli durgun şekilde yatay akış yaparken bir kısmı da dikey akış yapmaktadır. Bu sistemde bitkiler kullanılarak arıtımın kalitesini maddi olarak da aşağı çekilir (Gökalp ve Çakmak, 2015).

Bu sistemlerde yer alan bitkilerin görevleri aşağıdaki şekilde sayılabilir;

- Sulak alan içindeki su akışını yavaşlatarak askıda katıların çökmesini kolaylaştırmak,
- Atık sudaki kirleticilerin filtrasyonuna ve adsorbsiyonuna katkıda bulunmak,
- Fotosentezle sisteme oksijen sağlamak,
- Sistemdeki N ve P gibi besin elementlerini kullanarak, giderimine katkı sağlamak,
- Bakterilerin tutunması için yüzey teşkil etmek,
- Güneş ışığını sınırlayarak alg büyümesini kontrol etmek,
- Rüzgârların sudaki etkisini azaltarak, atmosferle su arasında gaz transferini azaltmaktır.

Bitkilerin boyutlandırılmasında SYS’de ideal su derinliği, YAS’da ise (Yüzey Akışlı Sistemler) kök ve gövde derinlikleri dikkate alınır.

1.4. Yapay Sulak Alanların Tasarım Kriterleri

Ülkemizde yapay sulak alan teknolojisi oldukça yeni olup yaygın olarak bitkilendirme, filtre malzemesi, filtre malzemelerinde tıkanıklık, yer seçimi, sızma, işletme-bakım ve izleme değerlendirmede problemler yaşanmaktadır (Gökalp ve Çakmak, 2013). Aşırı yüklenen ve kötü işletilen atık su arıtma sistemleri arıtım performansını düşürerek su kalitesini istenilen düzeye getirememektedir. Ayrıca yeterince arıtılmamış çıkış suları su ve çevre kirliliği problemini de meydana getirmektedirler.

Sulak alan sistemleri alana özgü teknolojiler olması sebebiyle yer seçiminde ve tasarımında özellikle yer özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır (Yetik, 2008).

1.4.1. Topoğrafya

Yapay sulak alanlar hemen hemen her alana uygulanabilirler. Yapay sulak alanlar, topoğrafya üzerinde yapılacak herhangi tesviye işlemi maliyetleri artırması sebebiyle istenmediğinden nispeten düz bir zemin üzerine inşa edilmelidir. Ayrıca pompaj maliyetlerini düşürmek için atık suya en yakın mesafede kurulmalıdır. Bitki seçiminde bölge koşullarına uygun bitkilerin seçimi önemlidir. Örnek olarak köklü bitkiler yüzücü bitkilere kıyasla aşırı soğuklara toleranslıdır (Aküzüm vd., 2010).

1.4.2. Temel Boyutlandırma Parametreleri

Yapay sulak alanların tasarımı için ülkelerin kullandığı projelendirme kriterleri farklılık göstermektedir. Yapay sulak alan sistemleri için temel boyutlandırma parametreleri ve boyutlandırma için önerilen tipik aralıklar verilmiştir (Güneş, 2000).

1.4.3. Ön Arıtma İhtiyacı

Ön arıtmanın seviyesi nihai giderimi de etkilemektedir. Bu yüzden talep edilen çıkış suyu kalitesine uygun ön arıtmanın boyutlandırılarak ekonomik bir şekilde ön arıtma işlemi gerçekleştirilir. Ön arıtma ihtiyacı, deşarj standartlarına ve sulak alan sistemlerinin kapasitesine doğrudan bağlıdır. Bu sistemler için minimum ön arıtma için birinci kademe arıtma, kısa bekletme süreli havalandırmalı havuzlar veya benzer yöntemler uygulanabilir. Sulak alanlar ile arıtmadan önce, oksidasyon havuzları veya lagünlerin kullanımı tavsiye edilmez; çünkü bu ön arıtma biçimi geniş alan istemesinin yanında özellikle kış aylarında yoğun alg oluşumuna sebep olmaktadır ve sulak alanlarda böyle bir giderim mümkün değildir. Azot için deşarj standartlarının katı olduğu yerlerde ön arıtmada azot giderilmesi tavsiye edilmektedir; çünkü sulak alanlarda azot giderim performansı deşarj standartlarını sağlayacak kadar yüksek değildir. Ön çökeltim tanklarında kimyasal madde uygulanması ile azot giderimi artırılabilir (Onar, 1993).

1.4.4. Dolgu Malzemesi

Yapay sulak alanlardaki atık su giderim performansı atık suyun niteliği, sıcaklık, sulak alan yapısı, besleme yöntemleri ve farklı akış tiplerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Reedy vd., 1994). Araştırmalar neticesinde bu alanlardaki arıtma mekanizması üzerinde etkili olan en önemli bileşenler ise bitkiler, mikroorganizmalar ve dolgu malzemesi olarak belirlenmiştir (Kadlec ve Knight, 1996). Yapay sulak alan dolgu malzemesi yıkanmış çakıdır. Sulak alanda dolgu malzemesi tıkanıklığını önlemek amacıyla uygun boyutlara getirilmiş, elenmiş ve yıkanmış olarak yerleştirilmelidir (Dağlı, 2007).

1.4.5. BOİ Yükleme Hızı

Yapay sulak alanlarda BOİ giderimi, hidrolik şartlarla beraber göz önüne alınan en önemli projelendirme parametresidir. Atık sudaki organik maddelerin parçalanması esnasında kullanılan çözülmüş oksijenin miktarıdır. Bu işlem oldukça yavaş ve sürekli (Ayaz, 1998).

1.4.6. Hidrolik Yükleme Hızı

Hidrolik yükleme hızları, 150 ila 500 m/ha-gün arasında değişmektedir (Reedy vd., 1994). Sulak alan hidrolik yükleme hızları sulak alanın hidrolojik özellikleri, su seviyesinin değişimi ve atık suyun sulak bölgede bekleme süresine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu yüzden hidrolik yükleme hızları esas boyutlandırma parametresi olarak kabul edilmez. Bunun yerine sistem boyutları ve arazi ihtiyacının ön tespiti için özel alan ihtiyacı (A_{SP}) belirlenir. Uygulamada kullanılan özel alan ihtiyaçları ise 2.1 ha/(1000 m -gün) ile 6.9 ha/(1000 m -gün) arasında değişmektedir (Muslu, 1996).

1.4.7. Bekletme Süresi

Bekletme süresi, doğrudan arıtma performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Sulak alanlar karmaşık sistemler olması sebebiyle bekleme sürelerinin belirlenmesi oldukça zordur. Birincil ve ikincil atık suyun en uygun arıtımı için 6-7 günlük bir bekletme zamanı öngörülmektedir. Yaz aylarında artan evapotranspirasyon değerleri bekleme süresini artırırken, kış aylarında buzlanma bekleme süresini düşürmektedir. Daha kısa bekleme sürelerinde yeterli arıtım gerçekleşmezken, daha uzun bekleme süreleri durgun ve havasız koşullara neden olmaktadır (Türkmen, 2006).

1.4.8. Havuz Alanı ve Geometrisi

Yapay sulak alan için yüzey alanı 31,9 m/m² gündür (EPA, 1999). En kesit alanı hidrolik ve organik yükleme değerlerine göre hesaplanır. Su derinliği ise SYS sulak alan sistemleri için seçilmiş bitkinin en uygun derinliğine bağlıdır. YAS sistemler için ise bitki kökleri ve kök gövdelerinin penetrasyonu için en uygun derinliğin hesaplanmasını gerektirir. En iyi havalanma ve beraberinde bitki türüne göre 30-76 cm aralığında su derinliği tavsiye edilmiştir (Güneş, 2000).

1.5. Yapay Sulak Alanlarda Kirlilik Giderim Mekanizmaları

1.5.1. Askıda Katı Madde (AKM) Giderimi

Sulak alanın sığ ortamı ile birlikte bitkiler su akış hızlarını düşürürken askıdaki katı maddeler (AKM)'in çoğu çökeltme ve filtrasyonla giderilir. Ana AKM giderim mekanizması çökeltmedir. Çökeltme genel olarak su akış hızı, derinlik, sıcaklık ve katıların boyutuna bağlı olarak gerçekleşir. Sulak alan tipine bağlı olarak AKM giderimi farklılık göstermektedir. Yüzey altı akışlı sulak alanlarda AKM giderimi köklerde adsorpsiyon ile gerçekleşmektedir. Bu sistemlerde sulak alanın tıkanmasını önlemek amacıyla sulak alan girişine koyulan ön arıtımın gerçekleştiği septik tanklar kullanılmaktadır (Aküzüm vd., 2010). AKM, evsel atıkların kirlilik derecesini ve tesislerin verimliliklerini belirleyen bir parametredir.

1.5.2. Azot Giderimi

Artan azot içeriği, içme suyu kaynakları ve diğer yüzeysel su kaynaklarında ötrofikasyona sebep olmaktadır. Bu yüzden kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Sulak alanlardaki azot kaynağını atmosferden gelen veya bitki artıklarının oluşturduğu biyokütle organik azotu oluşturur. Sulak alanda çözünmüş haldeki organik azotun amonifikasyonu ise inorganik azotun kaynağıdır. İnorganik azotun nitrifikasyon/denitrifikasyon reaksiyonları ile bitki ve mikrobiyolojik alım azot gideriminin esas yoludur. Sulak alanlarda nitrat giderimi genellikle çok yüksektir.

Yapay sulak alanlarda toplam azot giderim verimi sıcaklık, pH, karbon-azot (C/N) oranı, mevcut besin maddeleri, toprak koşulları, hidrolik yükleme oranı ve bekletme süresine bağlıdır. Sulak alanlarda temel azot giderimi denitrifikasyon yoluyla olduğundan özellikle düşük sıcaklıklarda giderim performansı düşmektedir. Tüm sulak alanlarda azot giderim performansı değişkenlik göstermekle birlikte sınırlıdır (Çiftçi, 2007).

Sulak alanlarda ötrofikasyona sebep olan diğer önemli besin elementi azottur ve yapay sulak alanlarda azot giderimi için metabolik bir yol bulunmadığından azotun giderimi oldukça önemlidir. Atık sularda azot, organik ve inorganik formlarda fosfatlı bileşikler şeklinde bulunur. Yoğun olarak alg ve makrofitlerin kullanabileceği ortofosfat forumundadır.

Yapay sulak alanlarda büyüme mevsiminin başlangıcında azot giderimi büyük ölçüde çözünmüş azotun bitki kökleri tarafından alımıyla gerçekleşir. Diğer giderimi ise su ortamındaki organizmaların (bakteri, mantar, alg vb. mikroskobik canlılar) büyümeleri için azotu kullanmasıyla gerçekleşir. Fakat azot sulak alanda büyümeyi hızlandırdığından biyokütle miktarının artmasına yol açar ve çürüyen bitkilerde bitki kökleri sulak alan toprağına önemli miktarda azot bırakır. Çoğu sulak alan sisteminde azot giderimi atık su ve toprak arasında yeterli temas imkânının olmayışı sebebiyle çok fazla etkili olmamaktadır. Bir diğer azot giderim mekanizması olan kimyasal süreç ise toprak adsorpsiyonu ve çökeltme ile gerçekleşir. Adsorpsiyon ile giderim, toprağın gözenekli yapısından toprak iç yüzeyine inorganik azotun hareket etmesi ve burada tutulması ile gerçekleşir. Fakat bu yolla giderim ortam doygunluğa ulaşıncaya kadar devam eder. Sulak alan toprağı olarak seçilecek uygun ortamlar ile giderim artırılabilir. Çakıllı bir ortam adsorpsiyon niteliğini düşürürken, zeminde kil içeriğı arttıkça adsorpsiyon nitelikleri artar.

1.5.3. BOİ Giderimi

BOİ, suda mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılabilen organik maddelerin miktarını belirlemede kullanılan bir parametredir. Bu parametre maddelerin ayrıştırılması için ihtiyaç duyulan oksijen miktarını belirtir. Ayrıca BOİ, arıtma sistemlerinin tasarımında, kirlenme potansiyelinde, su kaynaklarının kirlenme derecesinde ve kontrol çalışmalarında önem arz etmektedir (Sürgeçoğlu, 2015). BOİ, karbonlu maddelerin oksitlenmesi sırasında harcanan oksijen miktarıdır.

1.5.4. Fosfor Giderimi

Fosforun sulak alanlarda en temel giderimi, filtrasyon, fiziksel ve kimyasal çökeltme, adsorpsiyon ile gerçekleşmektedir. Canlılarda yaşamsal faaliyetler için önemli bir besin elementidir. Fosfor enerji metabolizması ile sentez metabolizmasının ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Fosfor sularda ve atık sularda inorganik yapıda bulunur. Atık sularda azot inorganik ve organik formlarda fosfatlı bileşikler şeklinde bulunur.

1.6. Azot

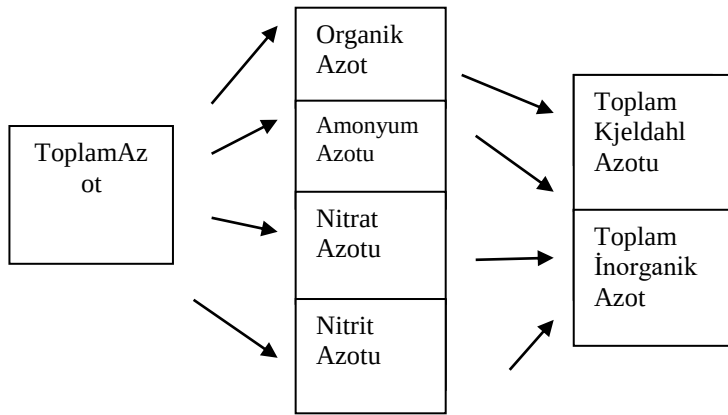
Azot, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli bir elementtir. Azot ara besin elementlerinden biridir. Bitki yapısına katılır ve dolaylı olarak insan ve hayvan

yaşamında makro besin elementi olarak önemli bir role sahiptir. Azot bitkilerin gelişiminde en çok ihtiyaç duyulan elementtir çünkü bitki yapısında klorofil, nükleik asit, amino asit, protein ve amid gibi organik bileşiklerin yapısına katılmaktadır (Müftüoğlu ve Demirer, 1998). Azot ayrıca proteinlerin sentezi için temel yapı taşıdır ve atık suların biyolojik arıtımında azot dengesinin bilinmesi gereklidir. Örneğin, suyun azot miktarı az ise arıtım için dışarıdan ilave gerekebilir.

Sularda bulunan azot türleri;

- Amonyum azotu
- Organik azot
- Nitrit azotu
- Nitrat azotu (Şekil 1.4)

Atık sularda azot, proteinli maddelere ve üreye bağlı olarak bulunur. Bu maddeler ayrışarak azot amonyağa dönüşmektedir. Dolayısıyla, atık suyun kalite derecesi amonyak miktarı ile ölçülmektedir. Azot, su kalitesinin değerlendirilmesinde öneme sahiptir.



Şekil 1.4. Azot bileşikleri

Azot bileşiklerinin giderilmesi, atık su arıtımının önemli aşamasıdır. Toplam azot; organik azot, amonyum azot, nitrat azotu ve nitrit azotundan oluşmaktadır. Kjeldahl azotu, organik azot ve amonyak azotunun toplamından oluşmaktadır. Yöntemin esası H_2SO_4 , K_2SO_4 (potasyum sülfat) ve $CuSO_4$ (bakır sülfat) katalizörlerinin varlığında,

birçokorganik maddenin amino azotunun amonyuma dönüşmesidir. İnorganik azot ise amonyum, nitrat ve nitrit azotundan oluşmaktadır.

Organik azot, biyolojik yolla meydana gelir ve parçalanır. Atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularını %65'lik kısmını çözünmüş organik azot oluşturmaktadır (Küçükçongar ve Sevil, 2020).

İnorganik azot bileşikleri nitroz oksit (N_2O), nitrik oksit (NO), azot dioksit (NO_2), amonyum (NH_4), nitrit (NO_2) ve nitrat (NO_3)'tan oluşur (Anonim, 2021). İnorganik azot toprakta nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) halinde bulunur. Bitkilerin yapı ve işlevinde azot doğada bir döngü halindedir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Deney Düzenekleri

Tez çalışması Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği laboratuvarlarından bir yapay sulak alanı temsilen pilot çalışma düzenekleri oluşturulmuştur. Bu düzenekler yapay sulak alanlarda filtre malzemesi olarak kullanılabilme olanağı olabilecek materyalleri belirleyebilmek amacıyla kullanılmıştır. Bu düzenek kolon deneyleri yapılacak şekilde oluşturulmuştur. Düzenekte kullanılan kolonlar 3.2 mm et kalınlığına, 110 mm çap ve 108 cm uzunluğuna sahip Fırat Residence marka PVC borular kullanılmıştır (Şekil 2.1).

Kolonların tek taraflarının kapalı olması gerektiği için yine aynı çaptaki contalı kör tapa ile kolonların tek tarafları kapatılmıştır. Çıkış sularının alınabilmesi için kör tapalar üzerine 16 mm çapındaki damla sulama muslukları entegre edilmiştir. Sızdırmazlık testleri yapıldıktan sonra çalışmaya başlanmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Kolon test düzenekleri



Şekil 2.2. Filtre kolonlarına ait çıkış vanaları

2.1.2. Malzeme Karışım Oranları ve Boyutları

Çalışmamızda kullanılan pumis, Kayseri'nin Develi bölgesinden GardenPomza'dan temin edilmiştir. Zeolit ise Gördes isimli zeolit işletmesinden elde edilmiştir (Şekil 2.3 ve 2.4). Filtre kolonlarının alt kısımlarına kolay drenaj için akıl tabakası yerleştirilmiştir (Şekil 2.5). Malzeme boyutları Tablo 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Zeolit malzemesi



Şekil 2.4. Pumis malzemesi



Şekil 2.5. Çakıl malzemesi

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan malzemelerin tane boyutları

Zeolit tane boyutu (mm)	Pumis tane boyutu (mm)	Çakıl tane boyutu (mm)
0,5 – 4,0	0,5 – 4,0	6,0 – 12,0

Araştırmamızda kullanılan pumis malzemesi ve zeolit malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’de verilmiştir.

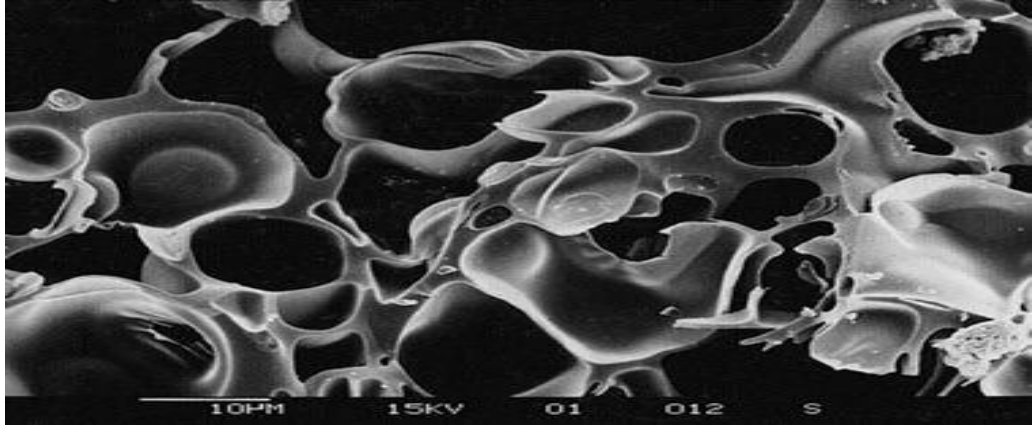
Tablo 2.2. Zeolit malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Zeolit	
Özellik	Değer
SiO ₂ (%)	71,90
Al ₂ O ₃ (%)	13,20
Fe ₂ O ₃ (%)	1,40
MgO (%)	1,10
Na ₂ O (%)	0,30
CaO (%)	2,00
K ₂ O (%)	3,50
pH	6,40
Nem İçeriği (%)	9,50
Su Tutma Kapasitesi (%)	42 – 50
Porozite (%)	33,00
Sertlik (Mohs)	2 – 3
Çözünebilir P (ppm)	-
Çözünebilir K (ppm)	-
Çözünebilir Ca (ppm)	-
Çözünebilir Mg (ppm)	-

Tablo 2.3. Pumis malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Renk Açık	Griden, Kirli Beyaza
Kristal şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (Mohs)	5.5 – 6.0
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0.32 – 0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/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/gr.oC)	0.24 – 0.28
Ses Yalıtımı (dB)	40 – 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 – 70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5 – 10
SiO ₂ (%)	53,5
Al ₂ O ₃ (%)	10,75
Fe ₂ O ₃ (%)	3,22
MgO (%)	1,95
Na ₂ O (%)	1,6
CaO (%)	3,78
K ₂ O (%)	3,15
pH	6,5
Nem İçeriği (%)	10,9
Su Tutma Kapasitesi (%)	90,2
Porozite (%)	-
Sertlik (Mohs)	-
Çözünebilir P (ppm)	0,004
Çözünebilir K (ppm)	4,79
Çözünebilir Ca (ppm)	14,019
Çözünebilir Mg (ppm)	1,077

Araştırma kapsamında kullanılmış olan pumis malzemesinin gözenekli yapıda olduğu bilinmektedir. Bilinen bu durumu gösterebilmek adına ve elektron mikroskobu kullanılarak çekilen fotoğraflar Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere tanecikler arasında olan makro ve mikro boyutlardaki boşluklar malzemenin özgül yüzey alanının artmasına ve buna bağlı olarak adsorpsiyon kapasitesinin artmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 2.6. Pumis elemanın elektron mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü

Araştırma kapsamında belirli tane boyutuna sahip zeolit ve pumis malzemesi hacimsel anlamda yani v/v oranı belirlenen oranlarda karıştırılması sonucunda kullanılmıştır. Bunun yanı sıra malzemede kaba filtre malzemesi olarak çakıl materyali de kullanılmıştır. Her bir kolonda aşağıdan yukarı doğru 10 cm çakıl ve 80 cm karışım malzemesi olacak şekilde düzenekler hazırlanmıştır. Tablo 2.4'te malzemelerin karışım oranları yüzde olarak verilmiştir.

Tablo 2.4. Malzeme karışım oranları

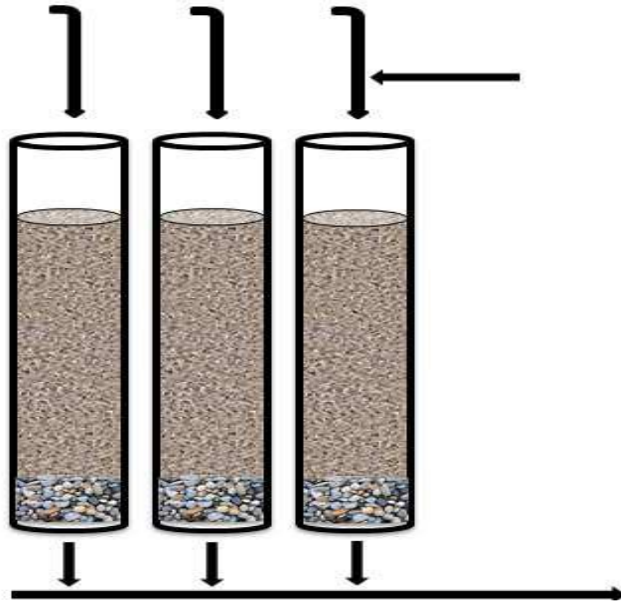
	Pumis (%)	Zeolit (%)
75P25Z	75	25
50P50Z	50	50
25P72Z	25	75
100P	100	-
100Z	-	100

Araştırma kapsamında atık su amacı ile sentetik bir atık su kullanılmıştır. Bu sentetik atık su için azot içeriği farklılık gösteren potasyum nitrat çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti 10, 20 ve 40 mg/l olarak üç farklı konsantrasyonda hazırlanmıştır.

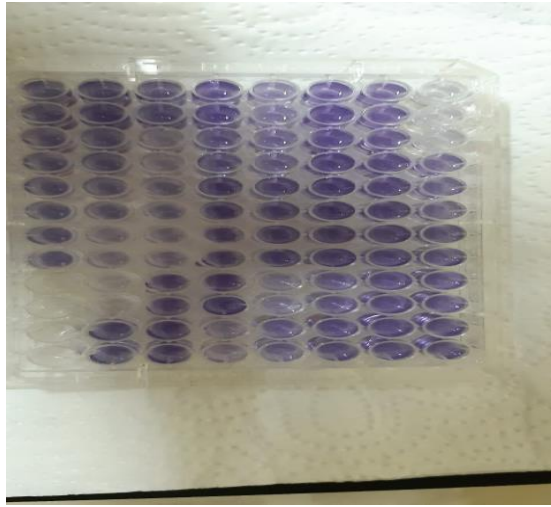
2.2. Yöntem

2.2.1. Hidrolik Bekletme Süreci

Kolonlara çalışmanın gerektirdiği şekilde belirlenen karışımlarda ve yalın hallerde materyaller doldurulmuştur (Şekil 2.7). İlk olarak her kolona belirlenen kirlilik seviyesindeki sentetik atık sulardan 4 L ilave edilmiştir. İlave edilmesinin ardından 24 saat geçtikten sonra her bir kolon içerisindeki atık sular boşaltılarak analizleri yapılana kadar saklamak için santrifüj tüplerinde aktarılmıştır. Kolonlarda bulunan materyallere hiçbir müdahalede bulunmadan her bir kolona aynı derişimdeki sentetik atık sulardan 3 L ilave edildikten 48 saat sonrasında yeniden kolonlarda bulunan atık sular boşaltılarak analizleri yapılana kadar muhafaza edebilmek amacıyla santrifüj tüplerine aktarılmışlardır. Aynı şekilde kolonlarda bulunan materyaller oldukları gibi bırakılarak yeniden üzerlerine 3 L sentetik atık su eklenmiş olup 72 saat bekletilmiştir. Bu bekletme süresi sonrasında da kolonlarda bulunan atık sular tekrar boşaltılarak analizleri yapılana kadar saklayabilmek için santrifüj tüplerine aktarılmışlardır. Son olarak kolonlarda bulunan filtre malzemelerine yine müdahale edilmeyerek aynı malzeme üzerine 2 L sentetik atık su ilave edilmiştir. Bu süreç sonrasında 96 saat bekletildikten sonra kolonlarda bulunan atık sular boşaltılarak analizleri yapılana kadar saklanmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.7. Kolonların beslenmesi



Şekil 2.8. Alınan numunelere ait görseller

2.2.2. pH ve Elektriksel İletkenlik (EC) Ölçümleri

pH, sıvı ya da katı bir ortamdaki hidrojen iyonlarının konsantrasyonunun eksi değerdeki logaritması olarak tanımlanmaktadır. Sulak alan ortamındaki atık suyun pH yoğunluğu, giderim mekanizmalarını büyük ölçüde etkiler. Kimyasal işlem sırasında çökmeye ek olarak biyolojik bir organizmanın aktivitesini de etkilemektedir. Ayrıca sulak alan ortamındaki inorganik kirleticilerin formlarında farklılıklara neden olur. Asidik atık sularda azot, azotik asit şeklinde iken alkali sulak alanlarda azot, ortofosfat formundadır.

Elektriksel iletkenlik, sulu bulunan ortamların elektriği iletme yeteneğinin sayısal olarak temsilidir. Bu değer sudaki iyonların konsantrasyonuna, hareketliliğine, değerliliğine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Sulu bir ortamdaki anyon ve katyonların kaynağı, inorganik asit, baz ve tuz içeriğine bağlıdır. Organik bileşikler, sulu bir ortamda iyonlaşmadıkları için çok zayıf iletkenliğe sahiptirler. Elektriksel iletkenlik birimi Siemens/cm olarak belirtilmiştir. Numunelerin giriş – çıkış pH (Şekil 2.9) ve EC (Şekil 2.10) ölçümleri elektrometrik olarak belirlenmiştir (SM 4500-H+B). Ölçümler bir MettlerToledomarkapH-EC metrede gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.9). pH ölçümü yapılmadan önce pH metreler, bir tampon çözelti ile kalibre edilmiştir.



Şekil 2.9. pH ölçümlerine ait bir görsel



Şekil 2.10. EC ölçümlerine ait bir görsel

2.2.3. Toplam Azot Analizi

Çalışma neticesinde kolonların çıkış kısımlarından alınan su numuneleri 0.45 µm gözenek çapına sahip filtre kâğıtlarından geçirilerek süzdürülmüştür. Alınan örnekler analizleri yapılana kadar +4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Analizlere başlanmadan önce fotometrik analiz yapılacağından potasyum nitrat (KNO_3) kullanılarak 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 ppm düzeyinde standartlar hazırlanmıştır. Numuneler analizleri yapılmadan önce tüm numunelerden 1 ml alınarak 50 ml'ye seyreltilmiştir. Seyreltilen numunelerden 5 ml alınarak buz küvetinin içerisinde bulunan camdan üretilmiş olan özel cam tüplere aktarılmıştır. Örneklerin üzerine 0.4 ml potasyum klorür (KCl) eklenmiştir. Sonrasında 0.1 ml difenilamin eklenmiştir. Son olarak karışımın üzerine 5 ml saf sülfürik asit eklendikten sonra karıştırılıp 15 dakika bekletilmiştir. Bekleme süresi sonrasında 50 °C sıcaklıktaki su banyosuna alınıp tekrar 15 dakika bekletilmiştir. 15 dakika sonrasında 96'lık spektrofotometre küvetine her bir numuneden 3 tekerrür olacak şekilde 0.3 ml alınarak aktarılmıştır. Spektrofotometrede 650 nm dalga boyunda okumaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. (a) Spektrofotometre, (b) azot analizi çözeltilerinde renk değişimi

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

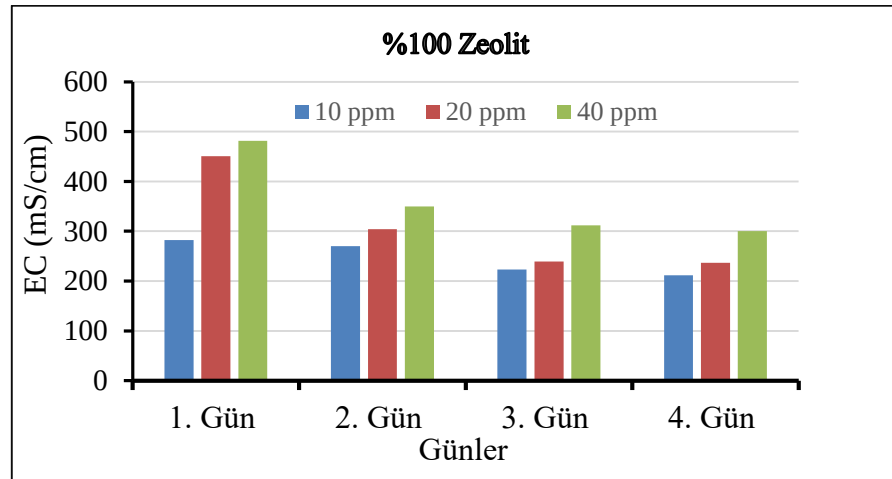
Çalışma kapsamında hidrolik bekletme süreleri, azot konsantrasyon seviyeleri ve toplanan çıkış numunelerindeki EC ve pH ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca toplam azot analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular alt başlıklarda detaylı olarak verilmiştir.

3.1. EC Değişimi

EC(elektriksel iletkenlik) sulu ortamda bulunan iyonik konsantrasyonun bir değeridir. Atık halde olan su içerisinde bulunan organik kirleticilerin ortamdan temizlenmesi çözülmüş hale gelmeleri elde edilen bu değerin artmasına neden olmaktadır. Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %100 zeolit kolonlarının farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 3.1’de verilmiş ve EC değerlerinin değişimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1.%100 zeolit karışımına ait EC analiz sonuçları

%100 Zeolit	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (246,4)	282,4	269,9	223	211,8
20 ppm (222,1)	451	304	239,3	236,5
40 ppm (399,9)	481,8	350,1	311,7	300,12



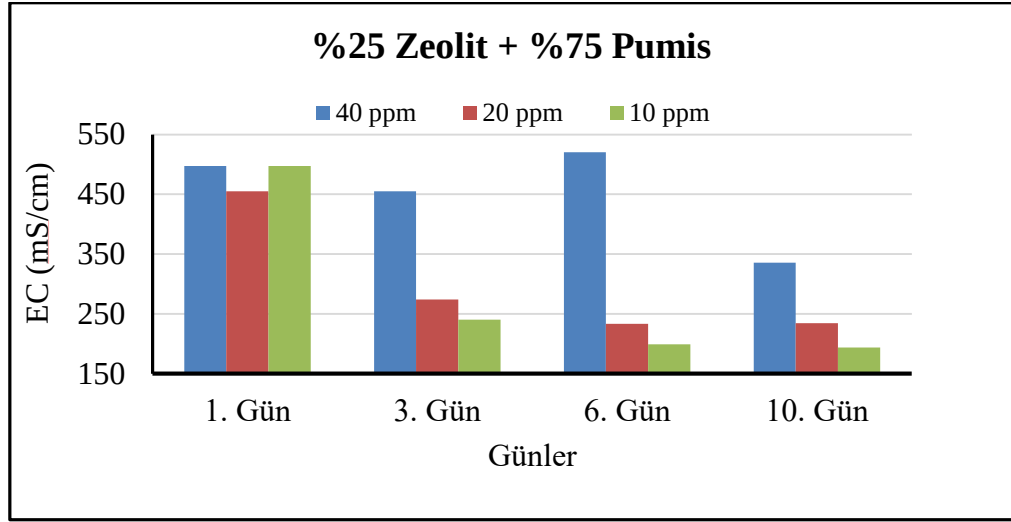
Şekil 3.1. Zeolit materyalinde EC değişimi

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 211.8-481.8 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri ise 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %25 zeolit - %75 pumis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir. EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2.%25 zeolit%75 pumis karışımına ait EC analiz sonuçları

%25 Zeolit + %75 Pumis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (246,4)	497.10	240.10	198.97	193.77
20 ppm (222,1)	454.97	273.97	233.13	234.33
40 ppm (399,9)	520.43	375.13	334.20	335.50



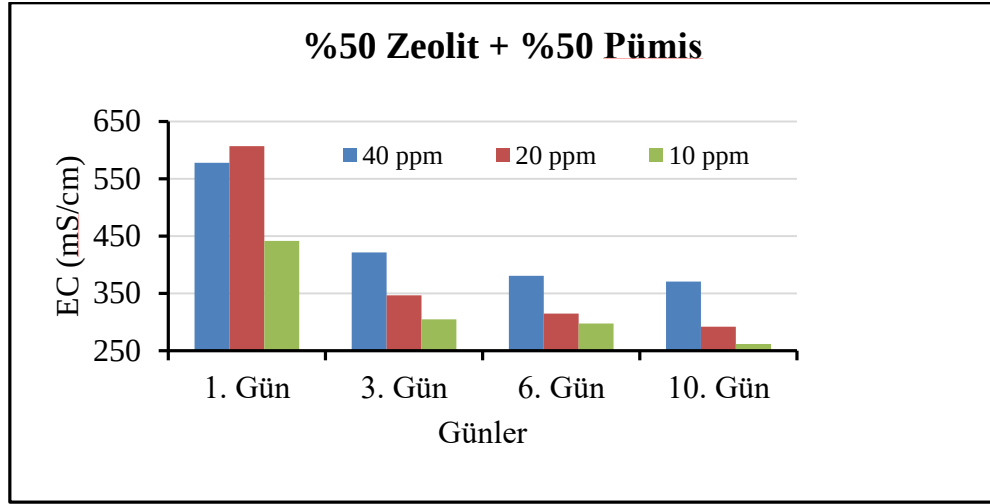
Şekil 3.2. %25 Zeolit + %75 Pumis karışımlarında EC değişimi

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 193.77-520.43 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri ise 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %50 zeolit - %50 pumis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 3.3'de verilmiş ve EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. %50 zeolit - %50 pumis karışımına ait EC analiz sonuçları

%50 Zeolit+ %50 Pumis	1. gün	3. gün	6. gün	10. gün
10 ppm (246,4)	441.73	304.60	297.33	261.67
20 ppm (222,1)	606.83	346.53	314.77	291.83
40 ppm (399,9)	578.20	421.80	380.83	370.97



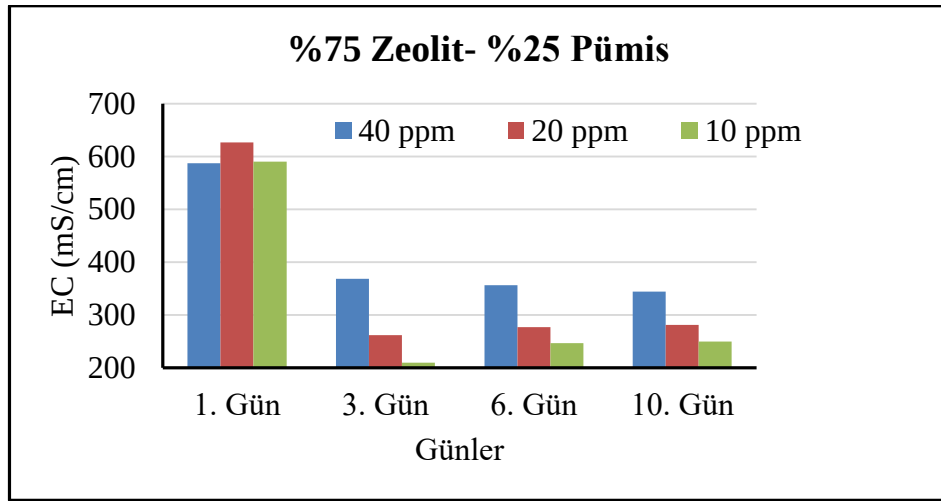
Şekil 3.3. %50 Zeolit + %50 Pümis karışımlarında EC değişimi

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 261.67-606.83 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri ise 20 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %75 zeolit - %25 pümis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 3.4'de verilmiş ve EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. %75 zeolit - %25 pümis karışımına ait EC analiz sonuçları

%75 Zeolit + %25 Pümis	1. gün	3. gün	6. gün	10. gün
10 ppm (246,4)	590.53	209.59	246.70	250.00
20 ppm (222,1)	626.70	261.83	277.30	281.20
40 ppm (399,9)	587.40	368.90	356.53	344.13



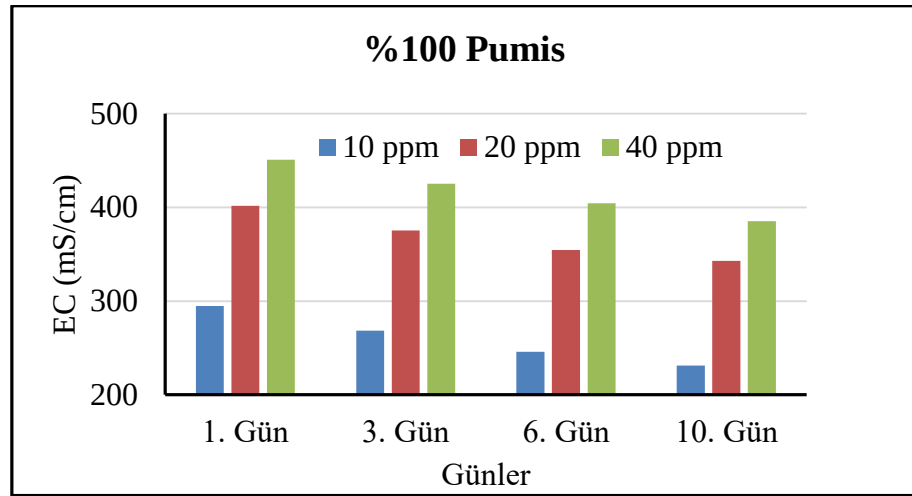
Şekil 3.4. %75 Zeolit + %25 Pümis karışımlarında EC değişimi

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 209.59-626.70 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri ise 20 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %100 pümis materyalinin farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 3.5'de verilmiş ve EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. %100 pümis karışımına ait EC analiz sonuçları

%100 Pümis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (246.4)	294.6	268.5	245.9	231.3
20 ppm (222.1)	401.6	375.4	354.6	343.0
40 ppm (399.9)	450.9	425.3	404.4	385.2



Şekil 3.5. %100 Pumis karışımlarında EC değişimi

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 231,3-450.90 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri ise 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

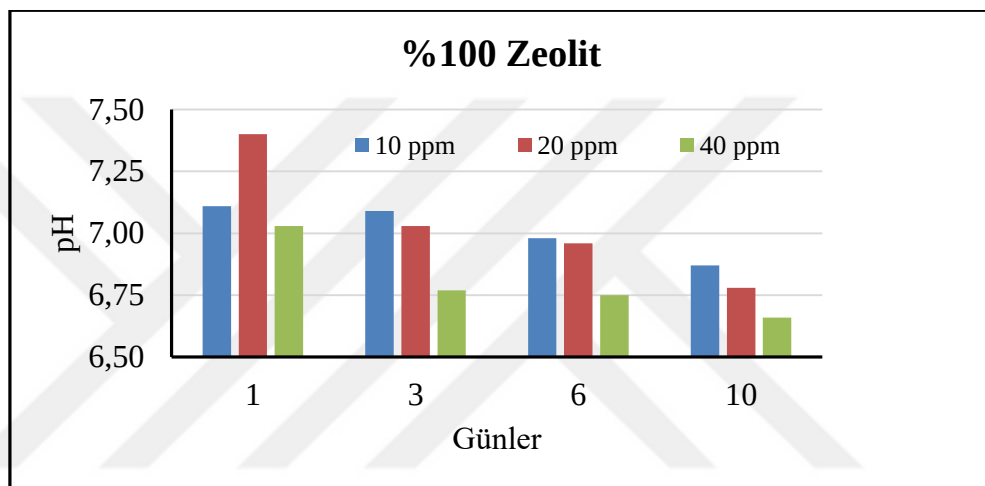
Tablo ve grafiklerde de görüldüğü üzere farklı malzemelerin karışımında ve yalın hallerinde kirlilik parametreleri üzerinde EC değerinin etki etmediği fakat hidrolik bekletme sürelerinin bu değerlere etkisi olduğu gözlemlenmiştir. EC değeri hidrolik gün sayısı arttıkça azalmaktadır. Zeolit ve pumis materyallerinde de aynı tepkiyi vermiştir.

3.2. pH Değişimi

Sulu çözeltilerin pH değeri içerdiği hidroksil grubunun bir ölçüsü olarak ifade edilir. Bu değer ortamın asidik veya bazik olduğunu tanımlar. Arıtma sistemlerinin genel çalışma veriminin en basit göstergelerinden birinin pH değişimi olduğu düşünülmektedir. Literatürde atık sudan organik maddelerin giderimin de hidrojen ve hidroksil grubu iyonlarının ortam malzemesi üzerine etki ederek tutulmada etkili olduğu belirtilmiştir. Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %100 zeolit kolonlarının farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.6'da verilmiş ve pH değerlerinin değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. %100 zeolit karışımına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları

%100 Zeolit	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (3.93)	7.11	7.09	6.98	6.87
20ppm (3.99)	7.40	7.03	6.96	6.78
40ppm (3.99)	7.03	6.77	6.75	6.66

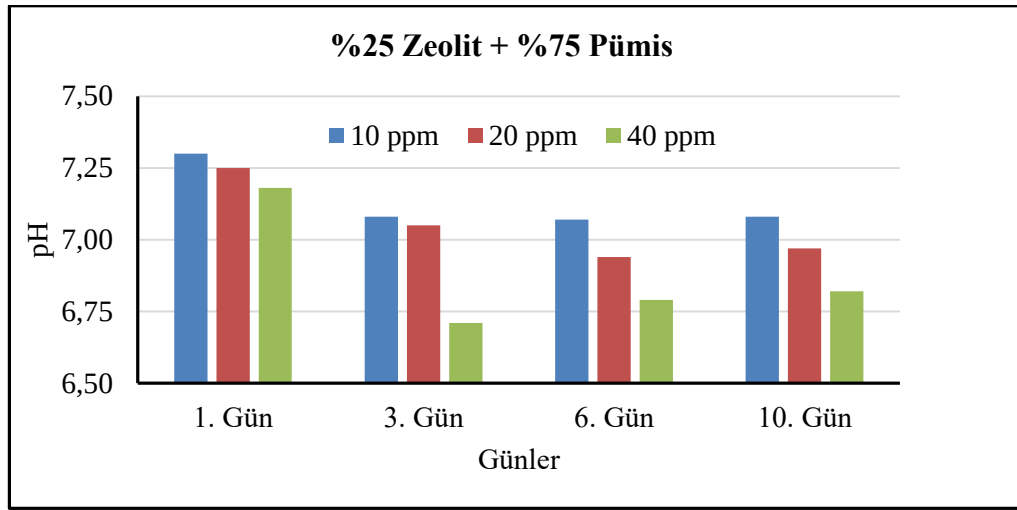


Şekil 3.6. %100 Zeolit materyalinin farklı konsantrasyonlarda pH'ya etkisi

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %25 zeolit -%75 pumis karışımlarının farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.7'de verilmiş ve pH değerlerinin değişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir

Tablo 3.7. %25 zeolit + %75 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları

%25 Zeolit+ %75 Pumis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (3.93)	7.30	7.08	7.07	7.08
20ppm (3.99)	7.25	7.05	6.94	6.97
40ppm (3.99)	7.18	6.71	6.79	6.82



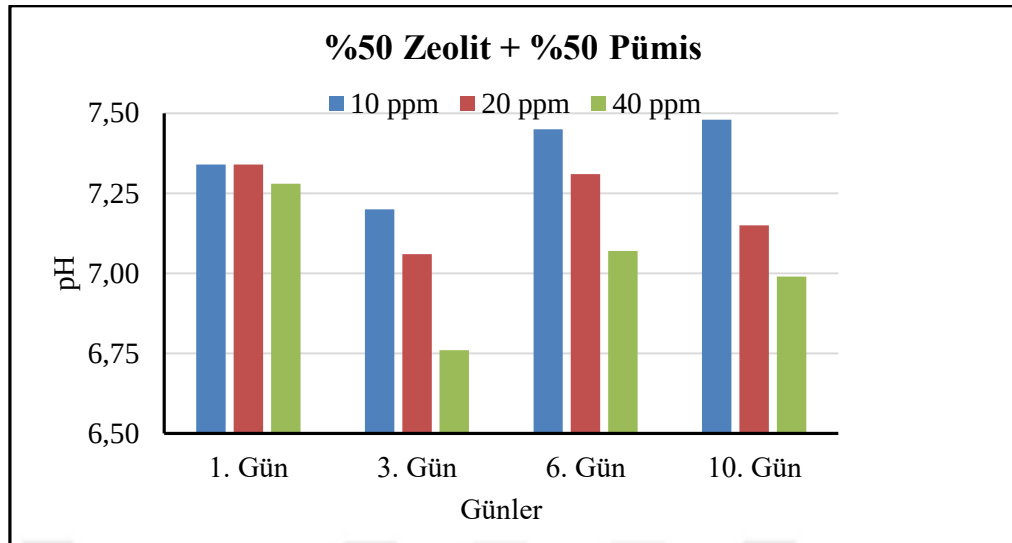
Şekil 3.7.%25 zeolit + %75 pümis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 6.71- 7.30 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri ise 10ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %50 zeolit - %50 pümis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri 3.8'de verilmiş ve pH değerlerinin değişimi ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. %50 zeolit + %50 pümis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları

%50 Zeolit + %50 Pümis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (3,93)	7.34	7.20	7.45	7.48
20ppm (3,99)	7.34	7.06	7.31	7.15
40ppm (3,99)	7.28	6.76	7.07	6.99



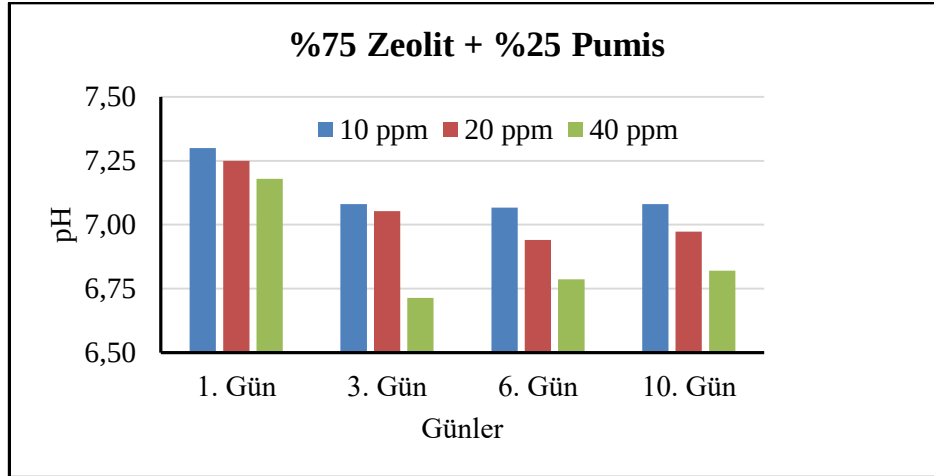
Şekil 3.8. %50 zeolit + %50 pümis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 6.76- 7.48 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri ise 10ppm'lik konsantrasyonun 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %75 zeolit - %25 pümis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.9'da verilmiş ve pH değerlerinin değişimi ise Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. %75 zeolit + %25 pümis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları

%75 Zeolit+ %25 Pümis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (3,93)	7.05	7.32	7.35	7.37
20ppm (3,99)	7.44	6.88	7.28	7.30
40ppm (3,99)	7.21	6.88	6.98	7.18



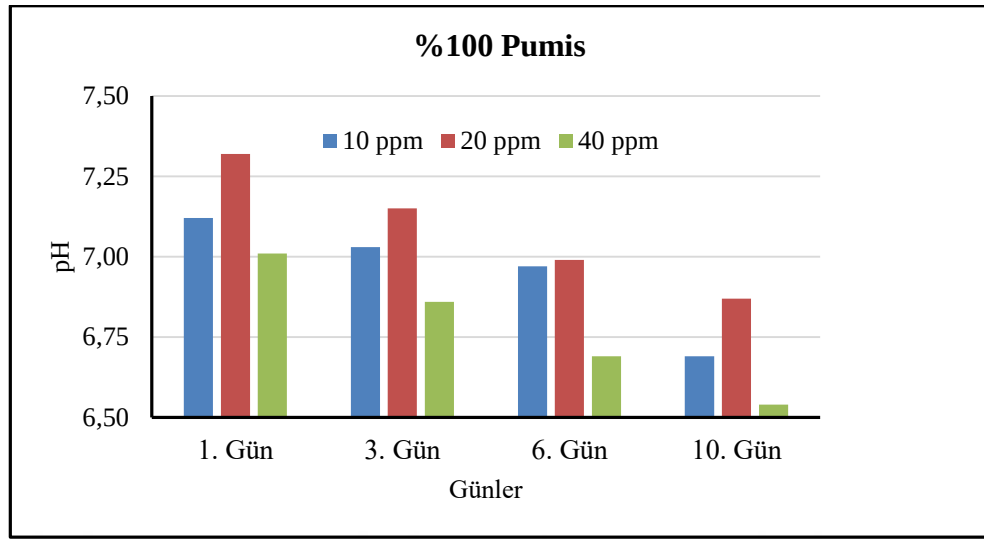
Şekil 3.9. %75 zeolit + %25pumis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 6.88- 7.44 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 20 ve 40 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri ise 20ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %100pumis materyalinin farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.10'da verilmiş ve pH değerlerinin değişimi ise Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. %100 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH ölçüm sonuçları

%100 Pumis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (3,93)	7.12	7.03	6.97	6.69
20ppm (3,99)	7.32	7.15	6.99	6.87
40ppm (3,99)	7.01	6.86	6.69	6.54



Şekil 3.10. %100 pumis karışımlarına ait 10 günlük pH değişimleri

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 6.54- 7.32 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri ise 20 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo ve grafiklerde de anlaşıldığı üzere azot içerikli atık suların pH değerlerine etkisi hidrolik bekletme süreleri ile doğru orantılı şekilde değişiklik göstermiştir. Hidrolik bekletme süresi arttıkça pH değerlerinde azalma söz konusudur yalnız halde kullanılan zeolit ve pumis materyallerinde de hidrolik bekletme süreleri ile doğru orantılı azalma gözlenmiştir.

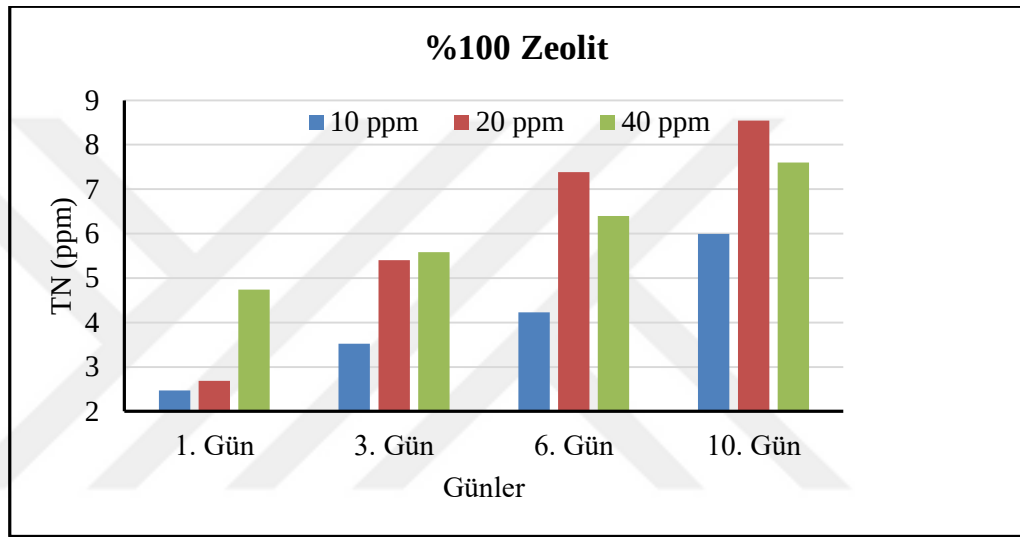
3.3. Toplam Azot Sonuçları

Karışım konuları ve hidrolik alıkonma süreleri üzerine uygulanan üç farklı azot konsantrasyon düzeyi için giriş ve çıkış konsantrasyon değerlerinde toplam azot (N) analizi yapılmıştır.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %100 zeolit kolonlarının farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin toplam azot değerleri Tablo 3.11'de verilmiş ve total azot değerlerinin değişimi Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. %100 zeolit materyalinde elde edilen süzüklerin toplam azot miktarı (ppm)

%100 Zeolit	1. Gün	3. Gün	6.Gün	10. Gün
10 ppm (9.57)	2.473	3.519	4.229	5.993
20ppm (19.52)	2.690	5.402	7.385	8.541
40 ppm (39.17)	4.743	5.585	6.395	7.596



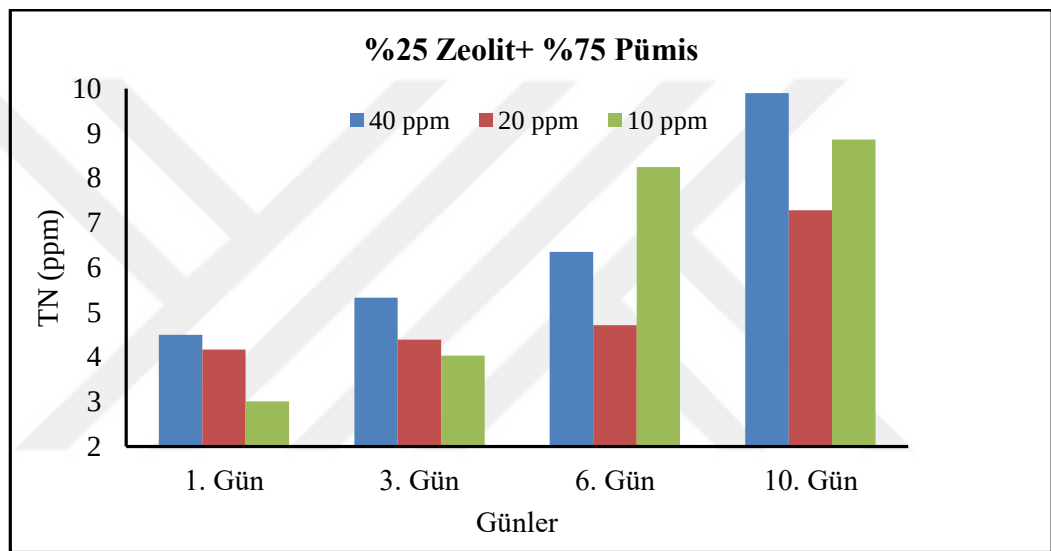
Şekil 3.11. Zeolit materyallerinden elde edilen toplam azot miktarındaki değişimi

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu TN değerleri 2.473- 8.541 arasında değişmiş olup en düşük TN değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek TN değeri ise 20ppm'lik konsantrasyonun 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %25 zeolit - %75 pumis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin TN değerleri Tablo 3.12'de verilmiş ve TP değerlerinin değişimi ise Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. %25 zeolit %75 pümis karışımlarından elde edilen toplam azot miktarı (ppm)

%25 Zeolit + %75 Pümis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (9.57)	3.01	4.03	8.25	8.86
20ppm (19.52)	4.17	4.39	4.71	7.28
40 ppm (39.17)	4.50	5.33	6.35	9.90



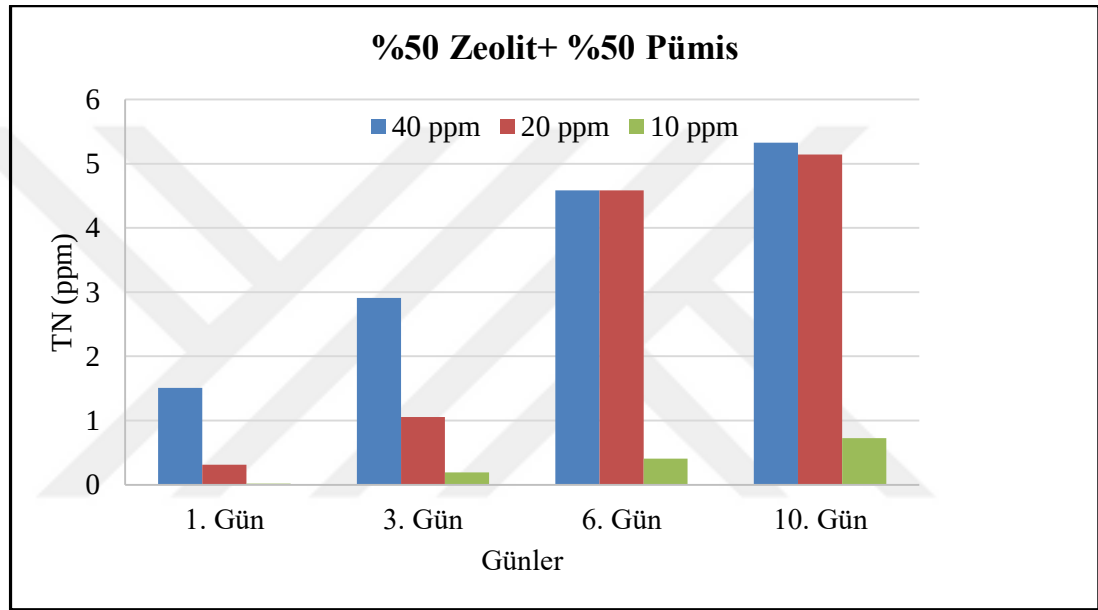
Şekil 3.12. %25 zeolit + %75 pümis karışımlarından elde edilen toplam azot

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu TP değerleri 3.01- 9.90 arasında değişmiş olup en düşük TN değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek TN değeri ise 40ppm'lik konsantrasyonun 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %50 zeolit - %50 pümis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin TN değerleri Tablo 3.13'de verilmiş ve TN değerlerinin değişimi ise Şekil 3.13'de gösterilmiştir.

Tablo 3.13. %50 zeolit + %50 pümis karışımlarından elde edilen toplam azot

%50 Zeolit+ %50 Pümis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (9.57)	8.76	6.38	6.22	5.28
20ppm (19.52)	9.31	6.87	5.20	4.53
40 ppm (39.17)	7.97	6.44	5.76	4.19



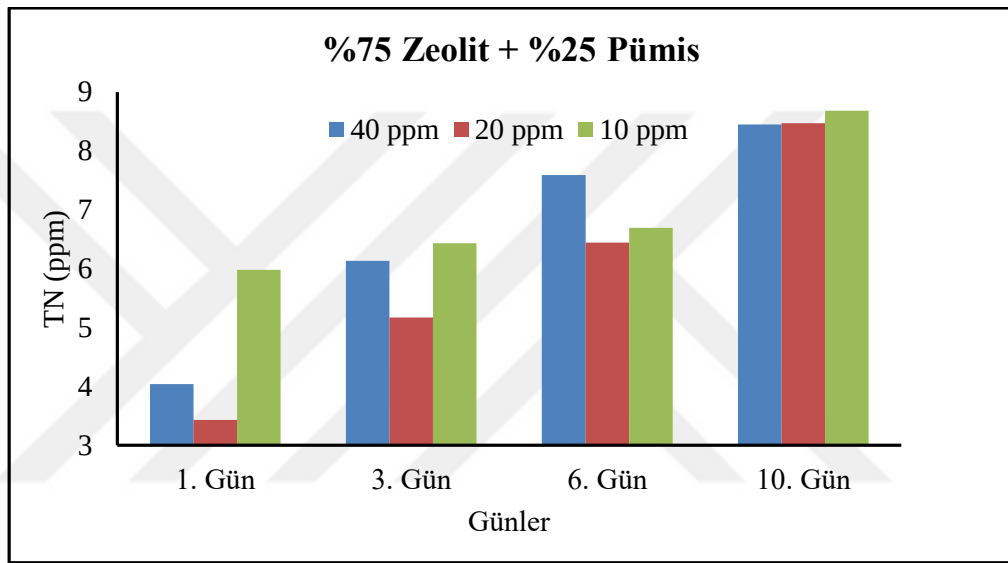
Şekil 3.13. Hidrolik bekletme sürelerine göre %50 zeolit + %50 pümis karışımlarından elde edilen süzüklerin toplam azot miktarındaki değişim

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu TP değerleri 4.19- 9.31 arasında değişmiş olup en düşük TN değeri 40ppm'lik konsantrasyonda 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek TN değeri ise 20ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %75 zeolit - %25 pümis karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin TN değerleri Tablo 3.14'de verilmiş ve TN değerlerinin değişimi ise Şekil 3.14'de gösterilmiştir.

Tablo 3.14. %75 zeolit + %25 pümis karışımlarından elde edilen toplam azot miktarı

%75 Zeolit + %25 Pümis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (9.57)	4.04	6.13	7.59	8.45
20ppm (19.52)	3.43	5.17	6.44	8.47
40 ppm (39.17)	5.98	6.43	6.69	8.68



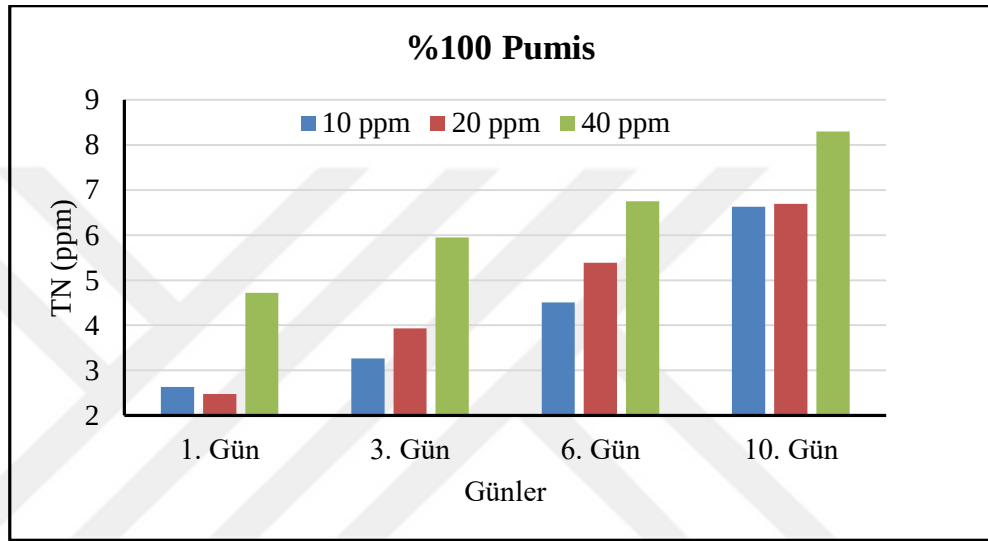
Şekil 3.14. %75 zeolit + %25 pümis karışımlarından elde edilen toplam azot miktarı

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu TP değerleri 3.43- 8.47 arasında değişmiş olup en düşük TN değeri 20 ppm'lik konsantrasyonda 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek TN değeri ise 20 ppm'lik konsantrasyonun 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarla azot çözeltisi uygulanan %100 pümis kolonlarının farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin TN değerleri Tablo 3.15'de verilmiş ve TN değerlerinin değişimi ise Şekil 3.15'de gösterilmiştir.

Tablo 3.15. %100 pumis materyalinden elde edilen toplam azot miktarı (ppm)

%100 Pumis	1. Gün	3. Gün	6. Gün	10. Gün
10 ppm (9.57)	2.631	3.262	4.508	6.629
20ppm (19.52)	2.476	3.933	5.388	6.694
40 ppm (39.17)	4.719	5.974	6.750	8.299



Şekil 3.15.%100 pumis materyalinden elde edilen toplam azot miktarı

Uygulanan azot çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu TP değerleri 2.476- 8.299 arasında değişmiş olup en düşük TN değeri 20 ppm'lik konsantrasyonda 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek TN değeri ise 40 ppm'lik konsantrasyonun 10 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo ve grafiklerde anlaşıldığı üzere farklı konsantrasyonlarda uygulanan azot içerikli atık suların azot değerlerine etkisi hidrolik bekletme süreleri ile doğru orantılı değişkenlik göstermiştir. %25Z-%75P, %100Z, %75Z-%25P, %100P materyallerin de ise hidrolik bekletme süresine oranla toplam azot absorpsiyonun da azalış göstermiş %50Z-%50P karışımının da artış göstermiştir.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Doğal arıtma sistemlerinde azot giderimi için toprağa yakın filtre malzemelerinin kullanımı önerilmektedir. Bu nedenle farklı filtre malzemelerinin azot kirliliği giderimi belirlenmesi amacıyla Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında kolon denemeleri şeklinde bir çalışma yapılmıştır. Ülkemizde bol miktarda bulunan zeolit ve pumis materyallerinden yola çıkarak bu malzemelerin yalın hallerinin yanı sıra bu materyallerin %25-%75, %50-%50, %75-%25 ve %100-%100 karışımlarına 3 farklı konsantrasyonda azot içeren (10, 20, 40 ppm) yapay atık su uygulanmış ve 1, 2, 3 ve 4 günlük hidrolik bekletme sürelerinin ardından elde edilen süzüklerde pH, EC ve toplam azot analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucun farklı materyallerin karışımında elde ettiğimiz süzüklerde EC ölçümlerinde bir düzensizlik olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma da analizler sonucun da zeolit ve pumis materyallerinin belirli oranlarda karışımı ve yalın hallerinden elde edilen süzüklerden yapılan EC testlerinde değerler arası düzensizlik olup bir ilişki kurulamamıştır. Zeolit ve pumis materyallerinin olduğu kolonlar da elde edilen süzüklerde yapılan EC testlerin de hidrolik bekletme süreleri ile doğru orantılı bir azalış gözlemlenmiştir. %25Z-%75P karışımına uygulanan 10 ppm'lik azot çözeltisinin 10 günlük hidrolik bekletme süresi sonunda en düşük EC değerine ulaşılmış olup %75Z-%25P karışımına uygulanan 20 ppm'lik azot çözeltisinin 1 günlük hidrolik bekletme süresi sonun da en yüksek EC değerine ulaşılmıştır. EC değerine uygulanan çözelti, derişim ve hidrolik bekletme süresinin doğrudan etki ettiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma da analizler sonucun da zeolit ve pumis materyallerinin belirli oranlarda karışımı ve yalın hallerinden elde edilen süzeklerden yapılan pH sonuçların da hidrolik bekletme süreleri, derişim ve uygulanan çözelti ile doğru orantılı azalma olduğu gözlemlenmiştir. %75Z-%25P karışımında değışkenlik göstermiştir. Pumis materyalin de 40 ppm'lik azot çözeltisi ile 10 günlük hidrolik bekletme süresi sonun da en düşük pH değerine ve %50Z-%50P karışımın da 10 ppm'lik azot çözeltisi ile 10 günlük hidrolik bekletme süresi sonun da en yüksek pH değerine ulaşılmıştır.

Yapılan çalışma da analizler sonucun da gözlemlendiğı üzere elde edilen süzükler de yapılan toplam azot analizlerinin sonucun da zeolit ve pumis materyallerinin belirli oranlarda karışımı ve yalın hallerinin azot giderimin de etkili olduğu gözlemlenmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre kapasite de azalış olduğu saptanmıştır. En düşük azot derişimi zeolit materyalin de 10 ppm'lik çözelti uygulamasın da 1 günlük hidrolik bekletme süresi sonun da elde edilmiştir. En yüksek toplam azot derişimi %20Z-%75P karışımın da 40 ppm'lik çözelti uygulamasın da 10 günlük hidrolik bekletme süresi sonun da elde edilmiştir.

Elde edilen verilere göre filtre materyali olarak kullanılan pumis ve zeolit materyallerinin ham hallerinden ziyade %50 Pumis + %50 Zeolit karışımının daha etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle nitrat kirliliğinin yüksek olduğu bölgelerde yapay sulak alanların inşalarında her iki materyalinde aynı oranda karıştırılarak kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Akın, M., Akın, G. 2007. Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği, **Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi**, **47**,105-118.
- Aksungur, N. ve Firidin, Ş., 2008. Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik, SUMAE Yunus Araştırma Bülteni, 8 (2).
- Aküzüm, A.,Selenay, F., ve Çakmak, B. 2010. Sulama yönetimi ve sürdürülebilir su kullanımı, *1. Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu* 27-29 Mayıs, K. Maraş. Cilt:1 s. 262/278
- Aküzüm, T., Çakmak, B., ve Gökalp, Z. 2010. Türkiye’de Su Kaynakları Yönetiminin Değerlendirilmesi. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, **3** (1): 67-74.
- Anonim, 2021. <https://sorhocam.com/etiket.asp?sid=7991&inorganik-azot-bilesikleri/>, Erişim Tarihi: 26.12.2020.
- Ayaz, S.Ç., 1998. Sahil Bölgelerinde Atıksuların Yapay Sulak Alanlar ile Arıtılması. Doktora Tezi, İ.Ü., Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı.
- Cop, M., 2017. Konya İli Yapay Sulak Alanlarda Arıtma Verimi, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. Konya.
- Çağırankaya, S., ve Köylüoğlu, F., 2013. Sulak Alan Kavramı, Sulak Alan Nedir? Sulak Alan Sınıflandırılması. T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 9-38, Ankara.
- Çiftçi H., KaplanŞ.Ş., Köseoğlu H., Karakaya E., Kitiş M., 2007. Yapay Sulak Alanlarda Atık Su Arıtımı ve Ekolojik Yaşam, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **23** (1-2) 149/160.
- Dağlı, S., 2007. Evsel Atıksulardan Yapay Sulak Alan Sistemleriyle Fosfor Gideriminin İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Denny, P. (1997). Implementation of constructedwetlands in developingcountries, *WaterScienceandTechnology*, 35, 27-34.
- Doğa Koruma Merkezi (DKM), 2014. Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif, **www.dkm.org.tr**, 2020 .

- EPA, 1999. Manuel, ConstructedWetlandsTreatment of MunicipalWastewaters, EPA/625/R-99/010, U.S. EnvironmentalProtectionAgency, Cincinnati, Ohio, USA.
- Gaikwad, R. W., &Warade, A. R. (2014). Removal of nitratefromgroundwaterbyusingnaturalzeolite of NizarneshwarHills of Western India.*J. WaterResour. Hydraul. Eng*,3, 74-80.
- Gökalp Z., Çakmak B., 2013. “Doğal Arıtma Sistemlerinde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri”, 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi ve Sergisi, 22-24 Mart, Bursa, Türkiye.
- Gökalp Z., Çakmak B., 2015. Atık Su Arıtmada Yapay Sulak Alan Teknolojileri ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar, 1 Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 2 Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar Sulama Bölümü Ankara.
- Grau, P. 1996. Lowcostwastewatertreatment, **WaterScienceandTechnology**, 33 (8) (1996), 39-46.
- Güneş K. 2000. Evsel Atık Suların Tarıma Geri Dönüşümünü Gerçekleştirilebilecek Doğal Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarında Denenmesi ve Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı.
- Helard, D., Indah, S., &Kiflia, D. P. (2020). Removal of nitratefromgroundwaterbycolumnusingpumice as adsorbent as an effortforwaterresourcesconservation. In*IOP Conference Series: MaterialsScienceandEngineering*(Vol. 846, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.
- İspirli F.Y., 2006. ‘Tokat İlinde Yapak Sulak alanlar ile bu sistemde Kullanılan Typhalatifolia L. Bitkisinin Evsel Atık su Arıtmada Kullanılabilirliğinin Araştırılması’ Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 94.,Tokat.
- Kadlec, H.R.,Knight, R.L., 1996. TreatmentWetlands. Lewis Publisher. FL., USA.
- Küçükçongar, S., ve Sevil, A. 2020. Atıksu Arıtma Tesisinde Çözünmüş Organik Azotun Biyolojik Parçalanabilirliğinin İncelenmesi. **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi**, 32 (2): 303-312.

- Morris, S., Garcia-Cabellos, G., Ryan, D., Enright, D., & Enright, A. M. (2019). Low-cost physicochemical treatment for removal of ammonia, phosphate and nitrate contaminants from landfill leachate. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54(12), 1233-1244.
- Muslu, Y., 1996. Atıksuların Arıtılması. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, Cilt 1, 429s., İstanbul.
- Müftüoğlu, N. M., ve Demirer, T. 1998. Toprakta Azot Bilançosu. **Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 29 (1), 175-185).
- Onar, A. N., Öztürk, B., 1993. Adsorption of Phosphate onto Pumice Powder, **Environmental Technology**, 14: 11, 1081/1087.
- Reedy K.R., D'Angelo E.M., 1994. Constructed wetland specifications for pollutant removal, **Wat. Sci and Tech.**, 35, No:5, 1-10.
- Sürgeçoğlu, İ., 2015. Atık Suyun Arıtılması ve Kimyasal Analizler.
- Şener, G. 2007. Ankara İli Kırsal Alanlarından Kaynaklanan Atıksuların Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan) ile Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mayıs 2007.
- Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, **<http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>**, Erişim Tarihi: 15.03.2020
- Tchobanoglous G., ve Burton, F.L., 1991. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf and Eddy Inc. 3th edition, McGraw-Hill Publishing Company, 1334., USA.
- Tourang, M., Aminzadeh, B., & Torabian, A. (2018). Autotrophic denitrification of synthetic nitrate – contaminated groundwater in up-flow fixed-bed bioreactor by pumice as porous media. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 5(1), 1-7.
- Türkmen, C., Arcaç, S., 2006. Kentsel Arıtma Çamuru ve Azot Uygulamalarının Kireçli Topraklarda Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri, **Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi** 20 (40):121-130.
- Yetik, S., 2008. Atık suların Yapay Sulak Alanlarda Arıtımının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Adya KUMAK
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği	2022
Lisans	ERÜ, Seyrani Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	Ercanlar Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti	Ziraat Müh.
2019-2021	Çekok Ziraat Ltd. Şti	Ziraat Müh.
2018-2019	Ercanlar Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti	Ziraat Müh.

YABANCI DİL

İngilizce