T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZEOLİT-PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDAN FOSFOR GİDERİM PERFORMANSI

Hazırlayan
Fatma AKÇAKOCA

Danışman
Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2019
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZEOLİT-PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDAN FOSFOR GİDERİM PERFORMANSI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Fatma AKÇAKOCA

Danışman
Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Ağustos 2019
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.

Fatma AKÇAKOCA



Zeolit-Pumis Karışımlarının Atık Sulardan Fosfor Giderim Performansı adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Fatma AKÇAKOCA

Danışman

Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı

Doç. Dr. Ali ÜNLÜKARA

Doç. Dr. Zeki GÖKALP danışmanlığında **Fatma AKÇAKOCA** tarafından hazırlanan **"Zeolit-Pümis Karışımlarının Atık Sulardan Fosfor Giderim Performansı"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyosistem Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

31 / 07 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Zeki GÖKALP .....

Üye : Doç. Dr. İsmail TAŞ .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 27/08/2019 tarih ve 2019/59-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27 / 08 / 2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü V.

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, danışmanım, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Zeki GÖKALP ve laboratuvar çalışmalarımda rehberlik eden değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN'a,

Biyosistem Mühendisliği Bölümünü tanımama ve yüksek lisans yapma imkânını bana sağlayan Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanı sayın hocam Doç. Dr. Ali ÜNLÜKARA ve Prof. Dr. Halil KIRNAK'a,

Bugünlere gelmemin başlıca sebebi olan, maddi manevi destekleri ve gösterdikleri anlayıştan dolayı sevgili anneme ve abime, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma AKÇAKOCA

Haziran 2019, KAYSERİ

ZEOLİT PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDAN FOSFOR GİDERİM PERFORMANSI

Fatma AKÇAKOCA

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019
Danışman: Doç. Dr. Zeki GÖKALP

ÖZET

Evsel atık suların sulak alan ortamında oluşturduğu temel kirlilik besi elementleri (N-P) yoluyla olmaktadır. Özellikle fosfor (P) bileşiklerinin neden olduğu ötrifikasyon alıcı ortamlarda önemli problemlere yol açmaktadır. Yapay sulak alan sistemlerinde temel fosfor giderim mekanizması ortam malzemesi tarafından adsorpsiyon yoluyla gerçekleşmektedir. Bu sistemlerde ortam malzemesi seçimine yönelik yapılan çalışmalarda oldukça çeşitli malzemeler denenmiş fakat çalışmaların ortak sonucu en iyi performansın toprak ve toprağa benzer özellik gösteren doğal ortamlarda sağlandığı yönünde olmuştur. Bu çalışmada evsel atık suların yapay sulak alanlar ile arıtılmasında önemli giderim mekanizmalarından biri olan kirleticilerin ortam malzemesi tarafından tutulması incelenmiştir. Ortam malzemesi olarak Kayseri bölgesi ve civarında zengin rezervlere sahip pumis ve zeolit mineralleri değerlendirilmiştir. Çalışma laboratuvar koşullarında kolon testleri ile gerçekleştirilmiş olup pumis-zeolit malzemelerin belirlenen boyut aralığında (0.5-4.0) iki malzemenin ve bunların üç farklı karışım konusunun (%75,50 ve 25), üç farklı giriş konsantrasyonu (40, 20 ve 10 mg-P/L) ve dört farklı hidrolik alıkonma süreleri (1, 2, 3 ve 4 günlük) sonunda TP tutulma verimleri belirlenmiştir. Giriş konsantrasyon ortalama 23,3 mg-P/L iken sırasıyla 75P25Z konusunda 9,3 mg-P/L, 50P50Z konusunda 10,4 mg-P/L, 25P75Z konusunda 11,6 mg-P/L, 100Z konusunda 11,6 mg-P/L ve 100P konusunda 10,08 mg-P/L ortalama çıkış konsantrasyonu elde edilmiştir. En yüksek P tutma oranı pumis malzemede (100P) ve zeolit-pumis karışımlarında ise 75P25Z kombinasyonunda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal arıtma, kolon denemesi, dolgu malzemesi, filtrasyon

PHOSPHORUS REMOVAL PERFORMANCE OF ZEOLITE PUMIS MIXTURES FOR WASTEWATER

Fatma AKÇAKOCA

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, June 2019
Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Zeki GÖKALP

ABSTRACT

Nutrients (N and P) constitute main pollutants in domestic wastewaters to be treated through constructed wetlands systems. Phosphorus-induced eutrophication generates significant problems in recipient environments. In constructed wetland systems, the basic phosphorus removal mechanism is realized by adsorption on substrate materials. In these systems, a wide variety of materials have been experimented as filter media and the best performance was achieved from soil and soil-like materials. In this study, phosphorus adsorption performance of different substrate materials was investigated. Pumice and zeolite minerals with rich reserves in and around Kayseri region were used as filter media. Laboratory column tests were conducted with pumice-zeolite materials in specified size range (0.5 – 4.0 mm), three different mixture ratios (75, 50 and 25%), three different influent (40, 20 and 10 mg-P / L) and four different hydraulic retention times (1, 2, 3 and 4 days). Effluent total phosphorus concentrations were determined to get phosphorus removal performance of substrate materials. The mean influent concentration was 23.3 mg-P / L and effluent phosphorus concentration was 9.3 mg-P / L for 75P25Z, 10.4 mg-P /L for 50P50Z, 11.6 mg-P / L for 25P75Z, 11.6 mg-P / L for 100Z, 10.08 mg-P / L for 100Z. The greatest phosphorus adsorption was obtained from pure pumice (100P) and 75P25Z combination.

Keywords: Natural treatment, column tests, substrate material, filtration

İÇİNDEKİLER

ZEOLİT PUMİS KARIŞIMLARININ ATIK SULARDAN FOSFOR GİDERİM PERFORMANSI

YÖNERGEYE UYGUNLUK....iii
KABUL VE ONAY....iv
TEŞEKKÜR....v
ÖZET....vi
ABSTRACT....vii
İÇİNDEKİLER....viii
KISALTMALAR....x
TABLOLAR LİSTESİ....xi
ŞEKİLLER LİSTESİ....xii
GİRİŞ....1

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1.Yapay Sulak Alanlar....16
1.2.Yapay Sulak Alan Tipleri....18
1.2.1.Serbest yüzey akışlı sulak alan sistemleri....18
1.2.2.Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alan Sistemleri....19
1.3.Yapay Sulak Alanların Tasarım Kriterleri....21
1.3.1.Topoğrafya....21
1.3.2.Zemin....21
1.3.3.Temel boyutlandırma parametreleri....22
1.3.4.Ön arıtma ihtiyacı....22
1.3.5.Bitki....23
1.3.6.Dolgu malzemesi....24
1.3.7.BOİ yükleme hızı....24
1.3.8.Hidrolik yükleme hızı....25
1.3.9.Bekletme süresi....25
1.3.10.Havuz alanı ve geometrisi....25
1.4.Yapay Sulak Alanlarda Kirlilik Giderim Mekanizmaları....25

1.4.1.Askıda Katı Madde (AKM) Giderimi 27
1.4.2.Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) Giderimi 27
1.4.3. Azot Giderimi 28
1.4.4.Fosfor Giderimi 29
1.5.Fosfor türleri ve Analiz Yöntemleri 31

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1.Materyal 33
2.1.1. Deney Düzenekleri 33
2.1.2 Malzeme boyut ve karışım oranları 34
2.2. Yöntem 37
2.2.1. Hidrolik alıkonma süresi 37
2.2.2.pH ve EC Ölçümleri 38
2.2.3. Toplam Fosfor Analizi 39

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. İletkenlik Değişimi 41
3.2. pH Değişimi 46
3.2. Toplam Fosfor (TP) Sonuçları 50

4.BÖLÜM

SONUÇ ve TARTIŞMA

KAYNAKÇA 59
ÖZGEÇMİŞ 64

KISALTMALAR

CSB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
EPA	: Amerika Birleşik Devleti Çevre Koruma Kurumu
WWAP	: Dünya Su Değerlendirme Raporu
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
TUBİTAK MAM	: Tübitak Marmara Araştırma Merkezi
MTA	: Maden Tetkik Araştırma
YSA	: Yapay Sulak Alan
SYS	: Serbest Yüzey Akışlı Sulak Alan
YAS	: Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alan
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Elektro mikroskopik görüntü
AKM	: Askıda Katı Madde
BOD/BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
N	: Azot
P	: Fosfor
TP	: Toplam Fosfor
PO_4-P	: Fosfat Fosforu
KH_2PO_4/MKP	: Mono Potasyum Fosfat
C/N	: Karbon Azot Oranı
EC	: Elektriksel İletkenlik
HAS	: Hidrolik Alıkonma Süresi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Belediye atıksu istatistikleri 8
Tablo 1.2. Yapay sulak alanların projelendirme faktörleri 11
Tablo 1.3. Yapay sulak alanlar için boyutlandırma parametreleri 22
Tablo 1.4. Kirleticiler ve etkili olma şekilleri 25
Tablo 2.1. Araştırma da kullanılan malzemelerin boyut aralığı 34
Tablo 2.2. Zeolit ve pumisin fiziksel ve kimyasal özellikleri 34
Tablo 2.3. Malzeme karışım oranları 37
Tablo 3.1. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 42
Tablo 3.2. İki günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 42
Tablo 3.3. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 43
Tablo 3.4. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 44
Tablo 3.5. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 46
Tablo 3.6. İki günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 47
Tablo 3.7. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 48
Tablo 3.8. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 49
Tablo 3.9. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu 51
Tablo 3.10. İki günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu 52
Tablo 3.11. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu 53
Tablo 3.12. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu 54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünya'da su kaynaklarının dağılımı 5
Şekil 1.2. Küresel olarak fiziksel ve ekonomik su kıtlığı haritası 6
Şekil 1.3. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı 7
Şekil 1.4. Dünya Türkiye pomza rezervleri 15
Şekil 1.5. Yapay sulak alan 16
Şekil 1.6. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan 19
Şekil 1.7. Yüzey altı Akışlı Sulak alan Sistemi (YAS) 20
Şekil 1.8. Yüzeyaltı akışlı sulak alan sistemleri a-Yatay akışlı b-Düşey akışlı 20
Şekil 1.9. Yapay sulak alanlar kirlilik giderim mekanizmaları 27
Şekil 1.10. Yapay sulak alanlarda azot dönüşümü 29
Şekil 1.11. Bir sulak alanda fosfor döngüsü 30
Şekil 2.1. Kolon test düzenekleri 33
Şekil 2.2. Zeolit 34
Şekil 2.3. Pumis 35
Şekil 2.4. Çakıl 34
Şekil 2.5. Pümis SEM görüntüleri 36
Şekil 2.6. Zeolit SEM görüntüleri 36
Şekil 2.7. Kolonların beslenmesi 37
Şekil 2.8. Örneklerin alınması 38
Şekil 2.9. EC ve pH ölçümleri 39
Şekil 2.10. (a) Fosfor analizi standart çözeltilerde renk gelişimi, (b) fosfor analizinde numulerde renk gelişimi, (c) spektrofotometre 40
Şekil 3.1. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 42
Şekil 3.2. İki günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 43
Şekil 3.3. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 44
Şekil 3.4. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi 45
Şekil 3.5. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 47
Şekil 3.6. İki günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 48
Şekil 3.7. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 49
Şekil 3.8. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi 50

Şekil 3.9. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu..... 51
Şekil 3.10. İki günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu..... 52
Şekil 3.11. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu..... 53
Şekil 3.12. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu..... 54

GİRİŞ

Sanayi Devrimi ile başlayıp hızla gelişen endüstrileşme, iklim ve çevre üzerinde telafisi imkânsız etkilere sebep olmuştur. Bu etkilerden küresel ısınma ve beraberinde getirdiği makro ölçekte iklim değişiklikleri var olan su kaynaklarının hacminde ve kalitesinde azalmalara sebep olmaktadır. Diğer yandan artan nüfus yoğunluğunun su ve gıda taleplerinde meydana getirdiği baskılar su kullanıcı sektörlerde suyun etkin kontrolü ve kullanımının önemini hayli artırmaktadır.

Var olan kullanılabilir tatlı su kaynaklarının sınırlı olduğu bilinmektedir. Küresel ısınmanın su kaynakları üzerinde ki yıkıcı etkileriyle birlikte dünyada çoğu kurak ve yarı kurak alanlarındaki su kaynaklarında su gereksinimi artacaktır. Öyle ki Türkiye içinde fiziksel su kıtlığının yaklaştığı öngörülmektedir. Su sorununun giderilebilmesi için kullanıcı sektörlerde gerçekleştirilecek reformlar oldukça önemlidir. Bu amaçla etkin su kullanımı sağlanarak su kayıplarının minimize edilmesi ve su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik arıtımı yapılmış atık suların yeniden kullanılma olanaklarının değerlendirilmesi hedeflenmelidir (Aküzüm, 2010). Su kaynakları üzerinde oluşan baskılar atık suyun geri kazanımı ve farklı alanlarda yeniden kullanımını zorunlu bir ihtiyaç haline getirmiştir.

Günümüzde sanayileşme ve artan nüfus artışlarının diğer bir sonucu olarak çevre kirliliği de artmaktadır. Çevre kirliliğinin önemli bir kısmını su kirliliği ve atık suların arıtımı oluşturmaktadır. Ayrıca endüstriyel, tarımsal, evsel ve diğer su kullanım alanları atık suların kirlilik niteliklerinde farklılaşmalara yol açmıştır. Evsel ve endüstriyel atık su arıtımında dünyanın farklı yerlerinde çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojiler fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçlerden oluşurken büyük oranda arıtım maliyetlerine bağlı olarak tercih edilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018 faaliyet raporunda ülkemizde kirlilik kontrolü çalışmalarında genellikle mali kaynak yetersizliği nedeniyle başarısız olunduğunu belirtmektedir.

Konvansiyonel arıtma sistemlerinin özellikle kırsal yerleşim birimlerinde uygulanması oldukça güçtür. Yüksek yatırım maliyetleri, tesislerin enerji giderlerinde ki aşırılıklar, ekipmanların yurt dışından ithal edilmesi, bakım-onarımın pahalı oluşu ve işletme için kalifiye elemana ihtiyaç duyulması gibi çoğunlukla maddi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Doğal arıtma yöntemleri ve yapay sulak alan teknolojisi dünyanın birçok yerinde bu tip zorluklara çözüm getirmek için, konvansiyonel arıtma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen arıtma teknolojileri arasında yer almaktadır (Ayaz ve Akça, 2001).

Doğal arıtma, doğal ortamlarda atık suların neden olduğu fiziksel, kimyasal veya biyolojik yollarla oluşan kirliliğin tutulması veya dönüştürülmesinde toprak, bitki ve mikroorganizma faaliyetlerinin gerçekleştiği süreç olarak bilinmektedir. Basit olarak doğal ortamlar sıvı ve katı atıkları özümleme güçleri sayesinde kolayca bertaraf etmektedirler. Yapay sulak alanlar ise doğal arıtmanın kontrollü bir biçimde gerçekleştiği sistemlerdir (EPA,1993). Doğal arıtma yönünden toprak, bitki ve suyu bir arada barındıran yapay sulak alanlar oldukça verimli sistemlerdir.

Yapay sulak alanlar genelde bulunduğu alana özgü iklim ve arazi özellikleri gibi özellikler dikkate alınarak projelendirilmektedir. Ayrıca bu sistemlerin inşa edileceği yerin uygunluğu çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler dolgu malzemesi, toprak yapısı, hidrolojik ve jeomorfolojik özellikler, bölge vejetasyonu, kritik türlerin veya yaban hayatının varlığı, sosyo-kültürel faktörler, çevre peyzajı, arazi kullanım kriterleri, güvenlik ve sağlık açısından olası etkiler olarak sıralanabilir (Gökalp ve Çakmak, 2015).

Fosfor bitkilerin gelişimi için önemli bir besin elementi ve sınırlayıcı bir faktördür. Bu nedenle fosforun su ortamına karışımı eser miktarlarda olsa dahi önemli bir etki yapar. Fosfor giderilmesi arıtma açısından zor teknolojiler gerektirir. Bu kirleticilerin arıtımı çok karmaşık ve yüksek maliyetli ileri arıtma teknolojileri gerektirmektedir. Doğal arıtma sistemleri ötrofikasyona duyarlı bölgelerde atık sulardan besi elementlerinin (azot ve fosfor) ayrıştırılmasında da kullanılmaktadır.

Sulak alan ortamında fosfor giderimi bitki tarafından tutulma, adsorpsiyon, çözünme, çökelme ve kompleksleşme dengeleri ile filtrasyonun bir arada gerçekleşmesiyle olmaktadır (Sakadevan ve Bavor, 1998) Fosfor gideriminin büyük bir kısmı ortam tarafından adsorpsiyon yoluyla gerçekleşmektedir. Adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu şartlar atık su özellikleri, bitki kökleri, dolgu malzemesi özellikleri ve mikroorganizmaların meydana getirdiği çoklu ortam nedeni ile oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir.

Arazi ihtiyacı bakımından konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında, sulak alanlarda arıtımda gereksinim duyulan alan daha fazladır. Bu sistemlerde fosfor giderimi söz konusu olduğunda ise çok daha büyük alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bir sulak alanın giderdiği fosfor miktarı bitkilerin tek bir büyüme mevsiminde ortamdan aldığı fosfor miktarından çok azdır. Diğer yandan fosforun en hızlı bünyeye alınması daha hızlı büyüyüp gelişen bakteri, mantar gibi mikroskobik canlılar tarafından olmaktadır. Fosforun bir kısmı yüzen bitki köklerince alınırken, büyük bir kısmı ise toprak altında bulunan kökler tarafından alınır. Fakat biyokütledeki fosfor miktarındaki artış hızlı ancak kararsız olduğundan fosforun bitki tarafından alınımı kalıcı bir giderme olarak düşünülmemektedir. Bu yüzden yüzeyde tutunma veya adsorpsiyon temel fosfor giderim mekanizması olarak düşünülmektedir.

Atık sulardan fosfor giderimi için aktif karbon, ters osmoz, elektrodiyaliz gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar ise katı tutucu malzemeler kullanılmak suretiyle fosfor giderimi üzerine yoğunlaşmıştır. Farklı araştırmacılar torf, üst toprak, çakıl, orta boy kum, yüksek fırın cürufu, kömür cürufu, yapay yüksek fırın cürufu, yapay kömür cürufu ve orta boy yapay kum malzeme gibi birçok materyalin fosfor giderim performansını test etmişler ve torf malzemeyi en iyi fosfor emici malzeme olarak tespit etmişlerdir (Cui vd., 2008). Pumis tanelerinin fosfor adsorpsiyonu üzerine yapılan bir çalışmada ise %80'in üzerinde bir fosfor giderimi etkinliği elde edilmiş ve pumisin fosfor gideriminde umut verici bir tutucu olduğu ifade edilmiştir (Onar ve Öztürk, 1993).

Evsel atık suların arıtılması için kullanılan yapay sulak alanlarda filtre malzemesi olarak pumis kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada da pumisin oldukça yüksek düzeyde bir fosfor giderim sağladığı ifade edilmiştir. Kayseri yöresinde bol miktarda bulunan pumis

bünyesinde barındığı sürekli ve süreksiz makro-mikro gözeneklerle oldukça yüksek bir tutunma yüzey alanına sahiptir (Onar ve Öztürk, 1993).

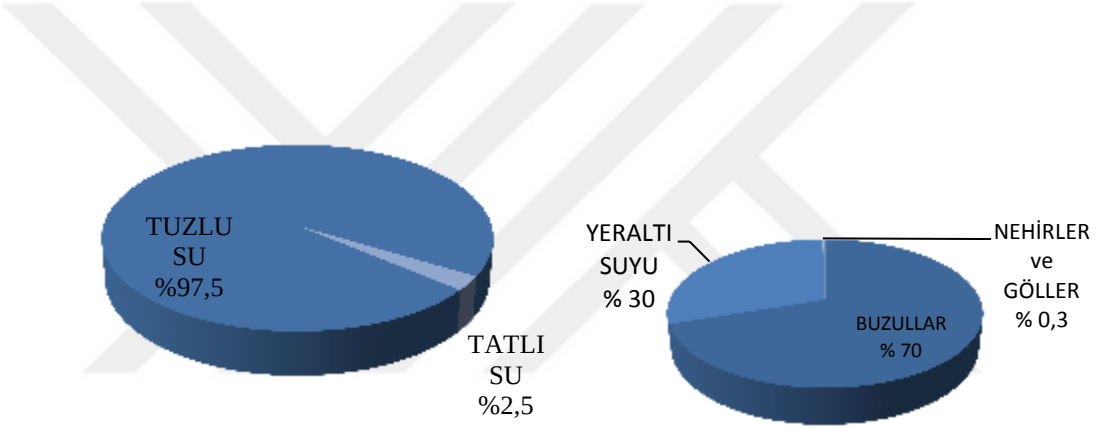
Son yıllarda zeolit mineralinin de iyon değiştirici ve adsorpsiyon özelliklerine sahip olması nedeniyle kirlilik kontrolünde kullanımı başarılı sonuçlar vermiştir. Özellikle endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimi çalışmaların da olmak üzere şehir atık suları ve içme sularındaki toksik etkilerin uzaklaştırılmasında ve içme suyu kalitesinin artırılması çalışmalarında kullanımı hızla yaygınlaşarak önemli endüstriyel hammaddeler arasına girmiştir (Türkman vd., 2001). Ülkemiz Ege Bölgesi başta olmak üzere Kapadokya ve çevresi zengin zeolit yataklarına sahiptir.

Filtre malzemesi tıkanıklığı ülkemiz yapay sulak alan sistemlerinde karşılaşılan en yaygın problemler arasında yer almaktadır (Gökalp ve Çakmak, 2015). Doğal halde adsorpsiyon özelliklerine sahip olan pumis ve zeolit minerallerinin atık sularda filtre malzemesi olarak özellikle azot, fosfor gibi besi elementlerinin gideriminde kullanım olanakları sağlamaktadır. Ülkemizin önemli sorunlarından biri olan kirlilik kontrolü çalışmalarında rezerv miktarları ve potansiyelleri göz önünde bulundurulduğunda pumis ve zeolit madenlerimizin bu alanda etkin ve ekonomik olarak yer tutmaları beklenmektedir. Bu çalışmada farklı zeolit-pumis karışımlarının farklı fosfor konsantrasyonuna sahip atık sulardan fosfor (P) giderim etkinlikleri laboratuvar koşullarında kolon testleri ile belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak ileride inşa edilecek yapay sulak alan sistemleri için havuz dolgu malzemesi (filtre malzemesi – substrat) önerilerinde bulunulmuştur.

1. BÖLÜM

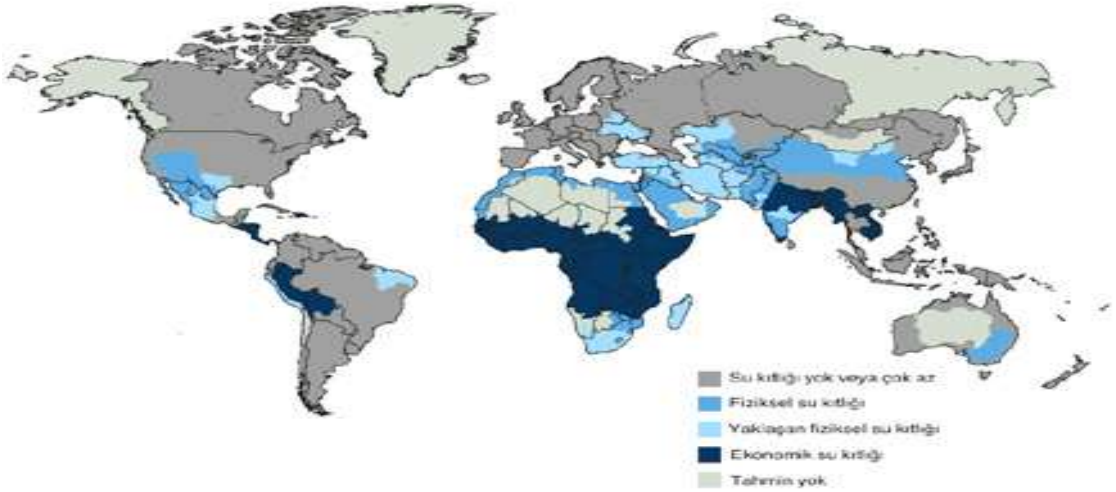
GENEL BİLGİLER

Dünyadaki toplam tatlı su miktarı 35 milyon km^3 olup bu miktar toplam suyun %2,5 ine karşılık gelmektedir (Şekil 1.1). Tatlı su kaynaklarının ise yalnızca %0,3 insan kullanımına elverişlidir (FAO, 2003).



Şekil 1.1. Dünya'da su kaynaklarının dağılımı.

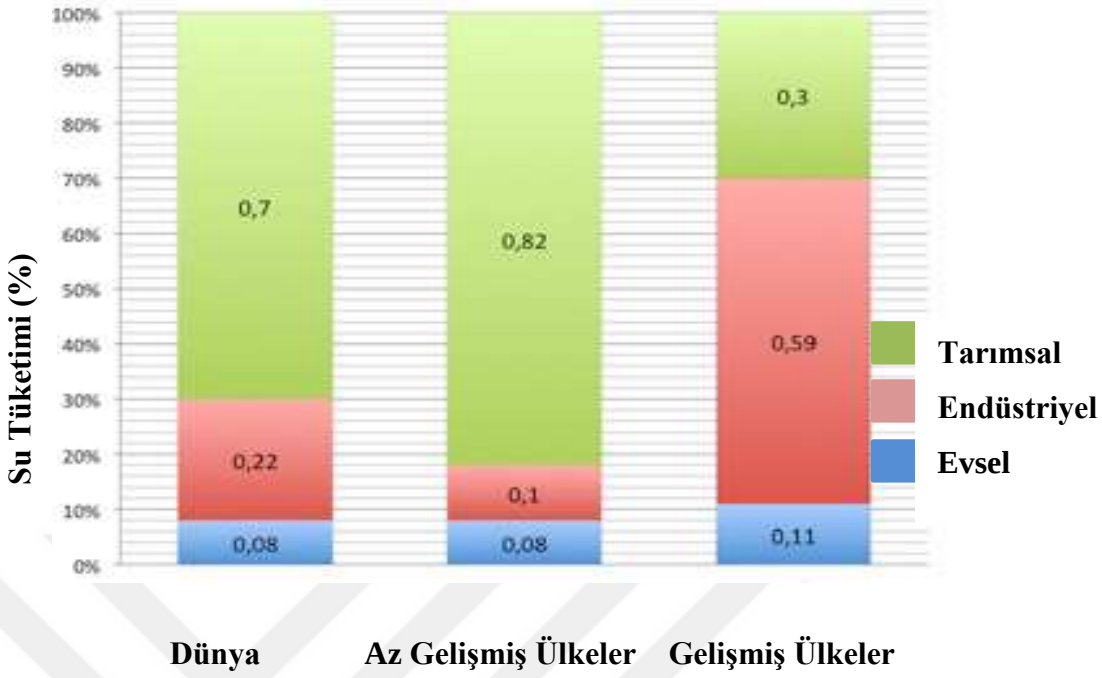
Sınırlı doğal kaynaklar üzerinde baskılar her geçen gün artmaktadır. Bugün dünya genelinde su kıtlığı insanların %40'tan fazlasını etkilemektedir. İklim değişikliği sonucunda küresel ısınma nedeniyle kaygı verici düzeyde olan bu oranın daha da yükseleceği tahmin edilmektedir. Ayrıca güvenli içme suyu kaynaklarının azalması, tüm kıtaları etkileyen oldukça büyük bir sorundur. Geçtiğimiz yıllarda 41 ülke su sıkıntısı yaşamıştır; bu ülkelerin 10 unda ise temiz su kaynakları tükenmek üzeredir (Şekil 1.2). Artan kuraklık ve çölleşme nedeniyle ilerleyen yıllarda yaşanan su sıkıntısından etkilenecek ülkelerin oranının artacağı öngörülmektedir (WWAP,2012).



Şekil 1.2. Küresel olarak fiziksel ve ekonomik su kıtlığı haritası.

Günümüzde sınırlı doğal kaynaklar ile çevrenin korunması ve su kullanıcı sektörlerde su ihtiyacının karşılanması amacıyla, verimli su kullanımı ve tasarrufu sağlanması, suyun etkin kontrolü için teknolojiler uygulanması ve atık suların yeniden dönüşümlerinin sağlanması dünya geleceği açısından son derece önemlidir.

Diğer yandan su kullanıcı sektörler içinde tarımda kullanılan sulama suyu miktarı tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de oldukça büyük bir paya sahiptir (Şekil 1.3). de ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektör bazında su dağılımları gösterilmektedir (Aküzüm vd., 2010). Tarımsal üretimde yeterli sulama bitkilerin gelişimi için gereken kritik faktörlerden biri olup ürün verimiyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle arıtılmış atık suların bölgesel tarım faaliyetlerine entegre biçimde uygulanmasının sürdürülebilir, çevresel ve ekonomik pozitif etkileri ile özellikle su kıtlığı yaşayan ülkelerde önemli bir su yönetim biçimi olması beklenmektedir.



Şekil 1.3. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre sektörel su kullanımı.

Gelişmiş ülkelerde atık su yönetimi uygun yöntemlerle olurken, çoğu gelişmekte olan ülke konvansiyonel arıtım teknolojilerini dahi yeterince geliştirememiş olması nedeniyle, atık sularını çoğunlukla arıtamadan en yakın alıcı ortamlara deşarj etmektedirler (Van Lier ve Lettinga, 1999). Diğer yandan dünyanın çoğu yerinde yüksek arıtım maliyetleri nedeniyle atık sular herhangi bir arıtım gerçekleştirilmeden denizlere, nehirlere ve diğer su kütlelerine deşarj edilmektedir. TÜİK 2018 verilerine göre kanalizasyon şebekelerinden toplanan 4,4 milyar m^3atık suyun yaklaşık %45'i denize, %44' akarsulara ve %11'lik kısmı ise diğer alanlara deşarj edilmiştir. Toplam deşarj edilen atık suların ise yaklaşık %86'lık kısmı arıtılmaktadır (Tablo 1.1). Gerçekleştirilen arıtımın %38,3 ileri arıtma, %32,9 biyolojik arıtma, %28,5 biyolojik arıtma ile %0,3 doğal arıtma olarak sağlanmıştır. Arıtımı sağlanan suların ise %52 denize, %39 akarsulara %9 ise diğer alıcı ortamlara boşaltılmıştır.

Tablo 1.1. Belediye atıksu istatistikleri.

Atıksu İstatistikleri	2008	2010	2012	2014	2016
Toplam Belediye Sayısı	3225	2950	2950	1397	1397
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet veren belediye sayısı	2421	2235	2300	1309	1309
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	88	88	92	90	90
Alıcı ortamlara deşarj edilen toplam atıksu miktarı (milyon m3/ yıl)	3261	3582	4073	4297	4484
Arıtılan %	69	76	80	81	86
Arıtılmayan %	31	24	20	19	14
Denize (milyon m3/ yıl)	1458	1498	1843	1915	1812
Arıtılan %	84	90	94	92	95
Arıtılmayan %	16	10	6	8	5
Göl/Gölete (milyon m3/ yıl)	67	76	75	93	78
Arıtılan %	72	50	49	51	68
Arıtılmayan %	28	50	51	49	32
Akarsuya (milyon m3/ yıl)	1404	1741	1817	1898	2153
Arıtılan %	55	68	70	74	80
Arıtılmayan %	45	32	30	26	20
Baraja (milyon m3/ yıl)	115	130	114	120	126
Arıtılan %	73	64	55	51	61
Arıtılmayan %	27	36	45	49	39
Araziye (milyon m3/ yıl)	50	35	0,9	17	20
Arıtılan %	28	26	25	47	70
Arıtılmayan %	72	74	75	53	30
Diğer ortamlara (milyon m3/ yıl)	101	187	250	5,8	293
Arıtılan %	60	59	84	79	84
Arıtılmayan %	40	41	16	21	16

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 arasında ki geçiş bölgeleridir ve yüksek su düzeyleri ile yüksek organik madde içeriğine sahiptir (Çiftçi vd., 2007). Bu özellikleri ile zengin flora ve fauna için yaşam alanı sağlar, ortamdaki kirletici maddeleri veya besinleri bileşenindeki bitkileri kullanarak (azot, fosfor) suları arıtır, bölgenin nemini yükseltir ve temel olarak iklim etmenleri üzerinde olumlu etkilere sahiptir (Kadlec ve Knight, 1996; Knight vd., 1980). Fakat sulak alanların üzerinde ki baskılar onları yok

olma tehlikesiyle karşı karşıya getirmiştir. 19.yy da sulak alanların sıtma mikrobu taşıyan sivrisineğe neden olduğu gerekçesiyle başlatılan kurutma çalışmaları ile dünya üzerinde çoğu sulak alan kaybedilmiştir. 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 93.582 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 korunması önündeki en büyük engeldir (Kadlec ve Knight, 1996). Atık sularda ki 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 (Gökalp vd., 2016).

Doğal arıtma sistemleri olarak da tanımlanan yapay sulak alanlar, doğal alanları taklit eden sistemler olup doğal ortamlarda özel tasarlanmış havuzlarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin oluşturulup sucul bitkileri kullanarak evsel ve endüstriyel atık suların arıtımın gerçekleştirildiği basit ve ekonomik arıtma yöntemidir (Güneş, 2007; Çiftçi, 2007). Yapay sulak alanlar evsel ve endüstriyel atık su arıtımı için konvansiyonel arıtma sistemlerine bir alternatif olarak son yıllarda uygulanması hızla artan, enerji ihtiyacı az, yatırım ve işletme maliyetleri düşük, işletim şartları basit, çamur üretimi çok az, küçük – orta ölçekli alanlarda kolaylıkla uygulanabilen doğal bir atık su arıtma sistemidir (EPA, 1993; EPA, 1999; Çiftçi vd., 2007). Bu sistemler atık su yönetiminde dünyanın birçok yerinde önemli bir yer tutmaktadır. Öyle ki 1950'lilerde ABD' de başlayan sulak alan çalışmaları yerini hızla yapay sulak alan konusundaki çalışmalara bırakmıştır (EPA, 1999). Bugün çoğu Avrupa ülkesinde de atık su yönetimi ve su kirliliği kontrolünde yapay sulak alanlar kullanılmaktadır. Almanya'da 5000, İngiltere'de 800, Avusturya'da 500, Danimarka ve İtalya'da 300 civarında yapay sulak alan olduğu bilinmektedir (Masi, 2005). Küçük yerleşim birimlerinden kentlere kadar uygulanabilen, konvansiyonel arıtma sistemlerine nazaran çok daha düşük maliyetli, enerji maliyeti olmayan ve kolaylıkla işletilebilen bu sistemler Devlet Planlama

Teşkilatı tarafından açıklanan Kırsal Kalkınma Stratejilerinde ülke şartlarına en uygun arıtma/bertaraf teknolojilerinin uygulanması amacıyla "Kanalizasyon altyapısı ihtiyaçlarının giderilmesinde, yapım ve işletme giderleri düşük olan doğal arıtma tesislerinin yapımına öncelik verilecektir" ifadesiyle öncelikli alanlar olarak tanımlanmıştır (Anonim, 2006). Bu sayede düşük enerji, işçilik ve yatırım maliyetleri, bakım-izleme ve kullanım kolaylığı gibi avantajlara sahip bu sistemler Türkiye'de özellikle kırsal bölgelerde uygulama alanı bulmuştur.

Ülkemiz çoğu dünya ülkesinde olduğu gibi özellikle tarımda kullanılan su ihtiyaçlarının artmasına karşın yetersiz ve homojen olmayan yağışlara sahiptir. Mevcut su kaynaklarının kalitesindeki bozulmalarının en temel sebeplerinden biri de arıtma yapılmaksızın deşarj edilen atık sulardır. Ülkemizin de içinde olduğu Akdeniz havzasının birincil öncellikleri arasında verimli, ekonomik ve çevreyle uyumlu atık su arıtımı ve arıtılmış atık suların bölgesel tarım faaliyetlerinde yeniden kullanımı konusunda alternatif sistem ve teknolojilerin uygulanması yer almaktadır (Korkusuz vd., 2004). Bu kapsamda gelişmekte olan ülkeler için umut vadeden sulak alan teknolojilerinin uygulama potansiyelleri yüksektir fakat bu teknoloji için gerekli bilgi, beceri ve teknik altyapının olmaması sebebiyle bu teknolojiye olan uyum daha yavaş gerçekleşmektedir. Ülkemizin de içinde olduğu bu ülkelerde tam ölçekli yapay sulak alan uygulamaların sayısı, Avrupa ülkelerine kıyasla oldukça azdır. Konvansiyonel arıtma sistemlerine göre oldukça düşük maliyet gerekliliği ve nispeten daha az teknolojik olması sebebiyle yapay sulak alanlar, ülkemiz için atık suların arıtımında önemli bir rol oynamaktadır. Bu amaçla TUBİTAK MAM ve İTÜ tarafından yürütülen "Düşük Masraflı Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarına göre Geliştirilmesi ve Marmara Bölgesi için Örnek Uygulama" başlıklı proje kapsamında atık su arıtımı ve geri kazanımı amaçlı yapay sulak alanlar el kitabı hazırlanmıştır (Korkusuz vd., 2004).

Yapay sulak alanlar işletme ve bakım maliyetleri oldukça düşük çevreyle uyumlu sistemlerdir. Ancak bu sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini etkileyen çok çeşitli faktörler vardır. Bunlardan bazıları aşağıda Tablo 1.2' de verilmiştir (EPA, 1993).

Tablo 1.2. Yapay sulak alanların projelendirme faktörleri.

Projelendirme Faktörü	**Maliyete Olan Etkisi**
Bekletme süresi	Uzun bekletme süresi tesis boyutlarını etkileyerek maliyeti artırır.
Arıtımın amacı	İstenen kirletici giderme verimi bekletme süresi ve boyutu artırarak maliyeti artırır.
Dolgu malzemesinin tipi, kaynağı ve bulunabilirliği	Dolgu malzemesi temini ve taşınırlığı maliyeti etkiler.
Geçirimsizlik için kullanılacak örtünün tipi	Eğer gerekliyse maliyeti artırır.
Yatak derinliği	Yatak derinliği mesafesi artırılarak örtü ihtiyacı duyulmaz ve maliyeti düşürür.
Ön arıtımın tipi	Deşarj kriterlerine bağlı olarak ihtiyaç duyulabilir ve maliyeti artırır.
Hücre sayısı	Sayı arttıkça hidrolik kontrol yapıları ve örtü sayısı da artarak maliyeti artırır.
Arazi topoğrafyası ve eğimi	Tesviye gerektiren arazi topoğrafyası ilk yatırım maliyetlerini artırır.

Yapay sulak alan havuzları, atık depolama sahalarının tabanlarından ve hayvan barınaklarında gübre idaresi amacıyla inşa edilen dinlendirme ve işlem havuzlarının tabanlarından meydana gelen sızmalarla yeraltı sularına veya taban suyuna nitrat, fosfor ve ağır metaller karışabilmektedir. Araştırmalara göre başarısız fosseptik sistemleri yeraltı suyu kirlilik kaynakları arasında en fazla değinilen üçüncü kaynaktır (EPA, 1998). Yapay sulak alan sistemleri zayıf bir şekilde inşa edilip iyi işletilmediği takdirde birtakım sorunları da beraberinde getirecektir. Bunların başında da yeraltı sularına sızmalar gelmektedir. İçme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını yeraltı suyundan beslenen kuyulardan sağlayan kesimlerde bu sorun daha da ciddi bir boyut sergileyecektir.

Diğer yandan yapay sulak alanların özellikle evsel atık suların yeniden kazanımı konusu Avustralya ve Güneydoğu Asya'da oldukça ilgiyle karşılanmaktadır (Bavor ve Sakadevan, 1998). Bu amaçla yapay sulak alan sistemlerinde süre gelen çalışmalar AKM, BOD ve çoğunlukla N, P gibi besi elementlerinin gideriminde yoğunlaşmaktadır. Evsel atık suların yapay sulak alanda özellikle fosfor gideriminde uzun süreli verim alınamamaktadır. Yapay sulak alan toprakları fosfor tutma kapasitesine sahip olmakla birlikte bu kapasite oldukça değişkenlik göstermektedir (Kadlec ve Knight, 1996). Atık sularda fosforun arıtılması esnasında birden fazla süreç gerçekleşirken belirli bir kapasiteye sahip olana kadar giderim sağlanmaktadır. Bu düzeyden sonra ilave bir giderim meydana gelmemektedir (EPA, 1993). Bunun temel sebebi ortamda fosfor doygunluğunun oldukça hızlı gerçekleşmesidir.

Yapay sulak alan sistemlerinde N, P giderimini test etmek amacıyla yapılan bir çalışmada 5 adet 150 m^2 (30m×5m) alana sahip serbest su yüzeyli sulak alan inşa edilmiştir. Dolgu malzemesi olarak 40 cm kil tabakası ve 30 cm üst dolgu toprağı kullanılmıştır. Üç farklı bitki ekimi gerçekleştirilmiş ve sistem ikincil arıtma suyu ile beslenmiştir. Beş farklı işletme şartında ve N - P'nin sulak alan sistemlerinde dönüşümlerini belirleyebilmek için yüksek - düşük P konsantrasyonu, hidrolik yükleme hızları, bekletme süresi ile su derinliği oluşturulmuştur. Yüksek P giriş konsantrasyonu 6,6 ppm ile 13,9 ppm arasında uygulanırken, düşük P giriş konsantrasyonu 0,17 ppm ile 5,26 ppm arasında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda düşük P konsantrasyonu ile beslenen sistemlerde % 47-49 arasında bir giderim performansı sağlanırken yüksek P konsantrasyonuyla beslenen sistemlerde % 11-22,7 arasında verim alınmıştır (Hosomi vd., 1994).

Yapay sulak alanlarda fosfor gideriminde temel olarak iki fiziksel süreç kabul edilir. Bunlar partiküler fosforun çökelmesi ve ortamda çözünmüş fosforun tutulmasıdır (Dağlı,2007). Çökelmenin gerçekleşerek sedimente olan fosforun, yeniden sisteme karışması ihtimali yüksektir. Doğal ve yapay sulak alanların fosfor giderim performansının belirli bir denge periyodundan sonra azaldığını, yükleme hızları ile birlikte sulak alan özelliklerinin bu periyodu etkilediğini belirterek düşük su hızına sahip sulak alanlar için önemli olduğuna dikkat çekmişlerdir (Tanner vd., 1999).

Fosfor giderimi için sulak alan askıda madde (AKM) düzeyi oldukça önemlidir. Yüksek AKM içeren atık sularda, çözünmez fosfor veya organo fosfor bileşiklerinin varlığında, P gideriminde sedimentasyon prosesi ele alınır (Kadlec ve Knight, 1996). Yapılan bir çalışmada sisteme giriş değerleri P 0,5 mg/l ve AKM 139 mg/l olan bir sulak alanda AKM ile besin elementleri içeriği sürekli olarak gözlenmiş ve P gideriminin yıl sonunda 4,4 g/ m^2 olduğu görülmüştür (Mokry vd., 1998).

Diğer yandan atık suda kolayca çözülebilen P veya çözünmez fosfor içeriği fazla ise, P gideriminde çökelme, bitki alımı, tutulma gibi proseslerin dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir (Kadlec ve Knight,1996). Sulak alan fosforu adsorpsiyon, iyon değişimi veya kimyasal reaksiyon ile çözünmez forma geçmektedir (Reedy ve D'Angelo, 1994). Fosfor giderimi ise adsorpsiyon ve iyon değişimi kapasiteleri doluncaya kadar devam etmektedir. Bu faktörler dolgu malzemelerin seçiminde oldukça önemli olmaktadır. Bu bağlamda geniş yüzey alanının yanında alüminyum, demir ve kalsiyum içeriği zengin olan killi bir dolgu malzemesinin fosfor giderim potansiyelleri oldukça yüksektir. Fakat düşük hidrolik iletkenliğe sahip kil su ile teması zorlaştırmaktadır. Sulak alanlarda sıklıkla tercih edilen bir diğer dolgu malzemesi çakıllı malzemelerdir. Yüksek hidrolik geçirgenliğe sahip çakıllı malzeme oldukça küçük yüzey alanına sahip olması sebebiyle adsorpsiyon, iyon değişimi ve kimyasal reaksiyonda pasif bir etkinliğe sahiptir. Aktif olan yüzeylerin kapasiteleri dolduğunda fosfor giderimi hızla yavaşlayıp durmaktadır. Bu amaçla son yıllarda yapılan araştırmalar ise katı tutucu malzemeler kullanılmak suretiyle fosfor giderimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sistemlerde fosfor giderimi için toprak veya toprağa yakın özellikler gösteren malzemelerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Mann, 1994). Nitekim sulak alanın fosfor giderim kapasitesini artırmak amacıyla kil, çakıl ve bazı endüstriyel atıklar denenmiştir.

Yapay sulak alan dolgu malzemesi olarak sıklıkla çakıl malzeme kullanılmaktadır. Yaklaşık 0,27 m ve 0,5 m derinliğe sahip iki tip yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan modeli kullanılarak yapılan bir çalışmada dolgu malzemesi olarak 3,5-10 mm arasında çakıl kullanılmış ve 0,5 m derinliğe sahip olanı %2-10 TP giderim verimi sağlarken, 0,27 m derinliğe sahip olanda %10-22 TP verim elde edilmiştir (Garcia vd., 2004).

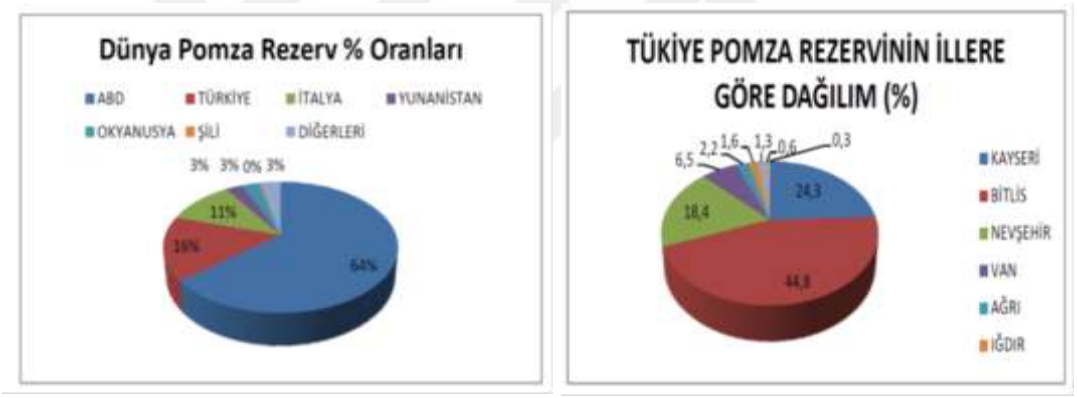
Dokuz farklı filtre malzemesinin fosfor adsorbsiyon karakteristikleri ve fiziko-kimyasal özellikleri üzerine bir araştırmada torf, üst toprak, çakıl, orta boy kum, yüksek fırın cürufu, kömür cürufu, yapay yüksek fırın cürufu, yapay kömür cürufu ve orta boy yapay kum malzeme denemişlerdir. Çalışma sonuçları torf malzemeyi en iyi fosfor emici malzeme olarak tespit etmişlerdir (Cui vd., 2008). Pumis tanelerinin fosfor adsorpsiyonu üzerine yaptıkları çalışmada %80'in üzerinde bir fosfor giderimi etkinliği elde edip pumisin fosfor gideriminde umut verici bir tutucu olduğunu ifade etmişlerdir (Onar ve Öztürk, 1993).

Çalışmaların ortak sonucu ise fosfor gideriminde doğal malzemelerin başarılı olduğunu göstermektedir. Bu amaçla fosfor giderimi için ortam seçimi üzerine yapılan bir çalışmada fosforun kum malzeme üzerine adsorpsiyonu sulak alan sistemlerinde en önemli fosfor giderim mekanizması olarak gösterilmektedir. Kum malzeme seçiminin önemine değinilerek 13 farklı Danimarka kumunda fosfor giderim performansı üzerine çalışılmıştır. Araştırmacılara göre fosfor gideriminde kum malzemede aranan en önemli özellik Ca ihtivası olmuştur. Ayrıca fosfor bağlayıcı özelliği sebebiyle kalsit ve kırılmış mermerin oldukça yüksek kapasiteye sahip olduğuna değinilmiştir (Brix vd., 1998). Benzer çalışmaların sonuçları mineral topraklardan oluşan dolgu malzemeleri ve kalsiyum, demir ya da alüminyum bakımından zengin dolgu malzemelerinin kullanıldığı sistemlerde P'nin tutulma prosesi ile uzun dönemli giderimini mümkün kılmaktadır (Masscheleyn vd., 1992).

Evsel atık suların arıtılması için kullanılan yapay sulak alanlarda filtre malzemesi olarak pumis kullanımı üzerine yaptıkları araştırmada pumisin oldukça yüksek düzeyde bir fosfor giderim sağladığını ifade etmişlerdir (Njau vd., 2003). Pomza terimi İtalyanca bir sözcüktür. Her dilde farklı adlandırılır. Fransızcada Ponce, İngilizcede orta taneli olanlara Pumice, ince taneli olanlara Pumicite denmektedir. Almancada ise iri taneli olanlara Bimstein, küçük taneli olanlara Bims adı verilmektedir. Türkçede ise süngertaşı, nasır taşı, topuk taşı, hasır taşı, kisir, pomza gibi adlarla anılmaktadır. Pomza açık renkli, boşluklu ve gözenekli, süngerimsi volkanik olaylar sonucu oluşmuş bir kayaç türüdür. Oluşumu esnasında bünyesindeki gazların ani soğumanın etkisiyle kayacı terk etmesi makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içermesini sağlamıştır. Yaygın biçimde gaz boşlukludur. Bu nedenle ısı ve ses yalıtımı oldukça

yüksektir. Pomza sahip olduğu birçok özelliğinden dolayı farklı sektörlerde kullanılabilmektedir. Pomza başlıca inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Normal betona göre daha dayanıklı ve hafiftir. Deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmektedir. Tarım sektöründe kurak topraklarda veya bol su ile yetişen bitkilerde su kullanımını azaltmak için su tutucu özelliğinden yararlanılmaktadır.

Tekstil alanında kot taşlama ve bazı kumaşların ağartılmasında kullanılmaktadır. Kimya sektöründe diş macunlarında, gübre topaklaşma önleyici, boyada yalıtım sağlayan madde olarak, deterjan, plastik, metal vb. maddelerin üretiminde kullanılmaktadır. Teknolojik alanda TV ve çiplerin temizlenmesinde kullanılmaktadır. Türkiye'de işlenen pomzanın % 90'nı inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Dünya ve Türkiye pomza rezervlerinin dağılımı Şekil 1.4'te gösterilmiştir (MTA).



Şekil 1.4. Dünya Türkiye pomza rezervleri.

Yavuz vd., (2008) atık sulardan ağır metal gideriminde düşük maliyetli bir tutucu malzeme olarak pumisin etkinliği üzerine yaptıkları bir araştırmada bakır ve krom giderimi bakımından pumisin aktive karbon, kitosan gibi yüksek maliyetli malzemeler ve doğal zeolit gibi düşük maliyetli malzemelere eş değer bir etkinlik sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Catalfamo vd. (2006) düşük maliyetli bir ağır metal tutucu olarak zeolittli pumis atıklarının kullanım olanaklarını değerlendirmişler ve söz konusu malzemenin atık sulardan metal iyonlarını kısa sürede giderdiğini ve izin verilen yasal limitlerin altına indirebildiğini, aktif karbon ve kitosan gibi yüksek maliyetli ağır metal tutucu malzemelerden daha iyi bir etkinlik sergilediğini ortaya koymuşlardır. Zeolit bir

alüminosilikat olup $(SiAl)O_4$ olup katyonları değiştirebilen, su molekülleri ile dolabilen gözenekler içeren dörtyüzlü bir moleküldür. Zeolit mineralleri adsorbsiyon, katyon değişimi, dehidrasyon-rehidrasyon ve kataliz gibi önemli özelliklere sahiptir. Klinoptilolit zeoliti Pb^{+2}, Zn^{+2}, Cd^{+2}, Ni^{+2}, Fe^{+2} ve Mn^{+2} gibi ağır metal iyonlarına karşı oldukça yüksek kapasitede seçiciliğe sahiptir. Bu özellik zeolitleri atık su arıtımında tercih edilir duruma getirmiştir. Doğal zeolitler, stronsiyum (Sr) ve sezyum (Cs) gibi istenmeyen toprak alkalilerin uzaklaştırılmasında iyon değiştirme özellikleri ile dikkat çekmişlerdir ve doğal zeolitler, sulardan iyon değiştirme ile katyonları uzaklaştırmaktadır (Anonim, 2000; Türkman vd., 2001).

1.1.Yapay Sulak Alanlar

Yapay sulak alanlar genellikle doğal arıtma sistemleri olarak da adlandırılırlar. Bir sulak alan havuzu kazılarak bu alanın sıkıştırılmış kil veya sentetik membran ile kaplanıp üzerinin kum, çakıl gibi filtre görevi görecek substrat ile doldurulmasıyla inşa edilir (Anonymous, 1995). İnşa edilen bu sistemler atık sulardaki kirleticilerin arıtımını doğal sulak alanlardakiyle benzer biçimde gerçekleştirmek için toprak, bitki ve mikroorganizmaları içerir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Yapay sulak alan.

Yapay sulak alanlar sahip oldukları önemli ekolojik işlevlerinin yanında atık su arıtma mekanizmalarıdır (Hammer,1989). Arıtımda evsel nitelikli atık sular (Cooper vd., 1998), tarımsal nitelikli atık sular, endüstriyel nitelikli atık sular ile sızıntı suları (Dombush, 1989) yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda su kirliliği kontrolünde yapay sulak alan sistemleri yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. Yapay sulak alanlar atık suların toksik tehlikeli etkilerini ortadan kaldırılarak alıcı ortamlarda oluşturacakları su kirliliğini önleyen ve çevrenin korunmasını sağlayan önemli sistemlerdir. Bu doğal arıtma sistemlerinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Saraçoğlu,2008).

- *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 faktör yoktur.

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

- *Güvenilirlik:* Doğal sistemler, aşırı çalışma koşullarında bile çok güvenilirdir. Çok çeşitli hidrolik ve organik yemi emebilirler.

Ayrıca bu sistemler düşük enerji istekleri kolay işletme ve kullanım olanakları ve düşük çamur üretimi gibi öne çıkan avantajlarıyla konvansiyonel artıma sistemlerine alternatif olmaktadır. İnşa edilen sulak alanlar özellikle düşük arazi maliyeti ve sınırlı işgücüne sahip bölgeler için atık yönetiminde oldukça etkilidir (EPA,1999). Ülkemiz koşulları dikkate alındığında özellikle kırsal bölgelerde doğal arıtma sistemleri, atık su sorunlarının ekonomik ve sürdürülebilir çözümü için büyük bir önem arz etmektedir.

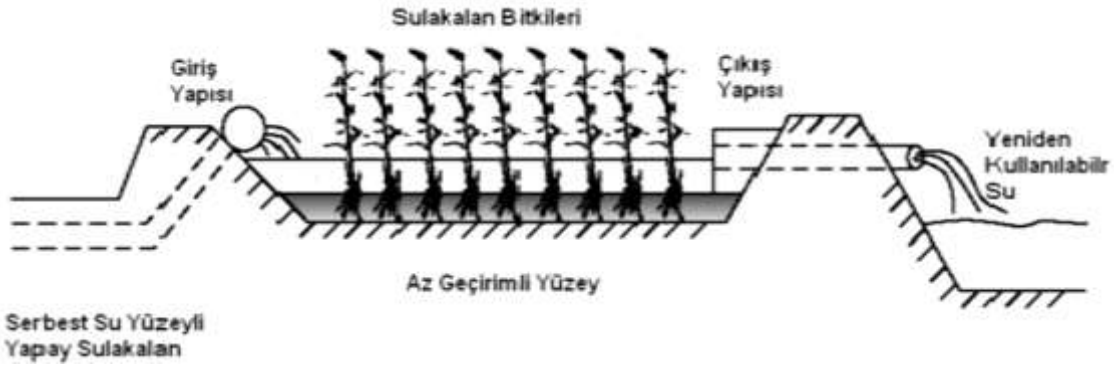
Yapay sulak alanlar evsel atık su arıtımında %92-95 askıda katı madde (AKM), %80-99 biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), %30-80 toplam azot (N), %20-70 toplam fosfor (P) giderim performansı göstermektedir (Angın vd., 2010). Bu değerler tercih edilecek bitki, dolgu malzemesi ve yapay sulak alanın akım tipine 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.

1.2.Yapay Sulak Alan Tipleri

Yapay sulak alan sistemlerinde su seviyesi ve akış hızları kontrol altında tutularak arıtma performansı artırılmaktadır. Bu sistemler, akış tipine göre doğal sulak alanlara benzer bitki örtüsü içinde akan sığ su derinliğine sahip yüzey akışlı sistemler ve bir filtre malzemesi içinden süzülen atık su içeren yüzey altı akışlı sistemler olmak üzere iki şekilde inşa edilirler. Yüzey altı akışlı sistemlerde atık su filtre malzemesi içinde kalıp bitki kökleri bu malzeme içinde gelişir. Her iki sistemde farklı yollarla kirletici giderimi sağlanırken temel süreçler benzerdir.

1.2.1.Serbest yüzey akışlı sulak alan sistemleri

Serbest yüzey akışlı sulak alan (SYS) su yüzeyi atmosferle temas halinde ve genel olarak köklü veya yüzücü sulak alan bitkilerinin kullanıldığı sistemlerdir (Korkusuz, 2004). Görünüş ve hidrolojik rejimleri itibariyle doğal sulak alanlar ile oldukça benzerlik gösterirler. Uzun seri kanallar ya da havuzlar olarak inşa edilip, yeraltına sızmanın önlenmesi için taban yapısı sızdırmaz bir materyalle kaplanmaktadır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan.

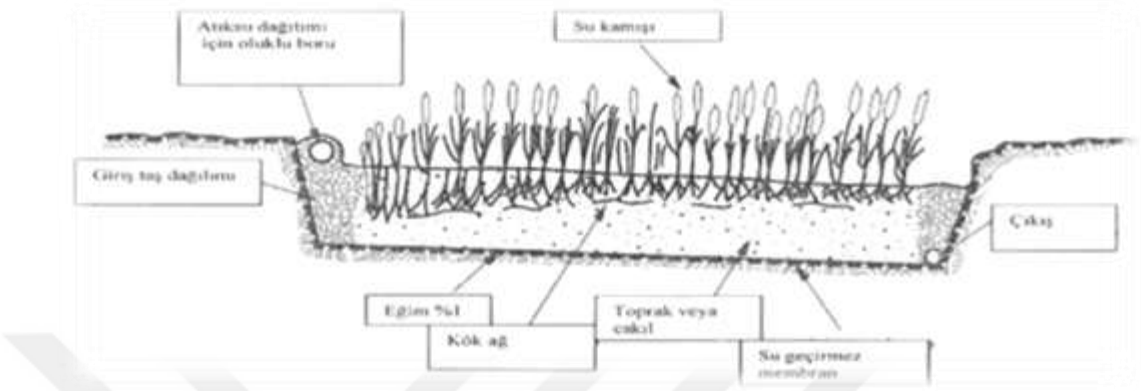
Yetiştirilen sucul bitki türüne göre SYS ler üç alt başlıkta toplanabilir: (1) Köklü bitkilerin egemen olduğu SYS sistemleri, (2) yüzücü bitkilerin egemen olduğu SYS sistemleri ve (3) batık bitkilerin egemen olduğu SYS sistemlerdir. Bu sistem ile birlikte yaygın olarak köklü bitkiler kullanılmaktadır. Köklü bitkileri desteklemesi amacıyla toprak veya uygun yatak malzemesi kullanılmaktadır. SYS sistemleri genel olarak 0,6-0,8 m derinliğe inşa edilip, düşük su derinliğine sahiptir. Bununla beraber su akış hızı düşüktür ve bitki kök ve gövdeleri su akımını düzenlemektedir. Sığ derinlikli olduğu için yavaş akım şartlarında çalışmaktadır. Serbest yüzey akışlı sulak alan sistemleri genel olarak ikinci veya ileri arıtım amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanıldığında atık sular sisteme sürekli olarak verilip bileşenindeki bitkilerden dolayı atık su sistemde yavaş hareket ederken arıtım gerçekleşmektedir. Atık sudaki çökebilen katılar ve partikül formundaki N ve P çökelme işlemi ile sedimente olarak giderilir. Böylece atık suyun biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) oranı düşürülür.

Serbest yüzey akışlı sulak alanlar atık su arıtımında basit sistemler olmasına karşın büyük arazilere ihtiyaç duyması en önemli dezavantajıdır. Ayrıca sık bitkilerin neden olduğu sivrisinek sorunu ve beraberinde koku probleminde ki mücadelede çoğu zaman başarısız olunmaktadır.

1.2.2.Yüzeyaltı Akışlı Sulak Alan Sistemleri

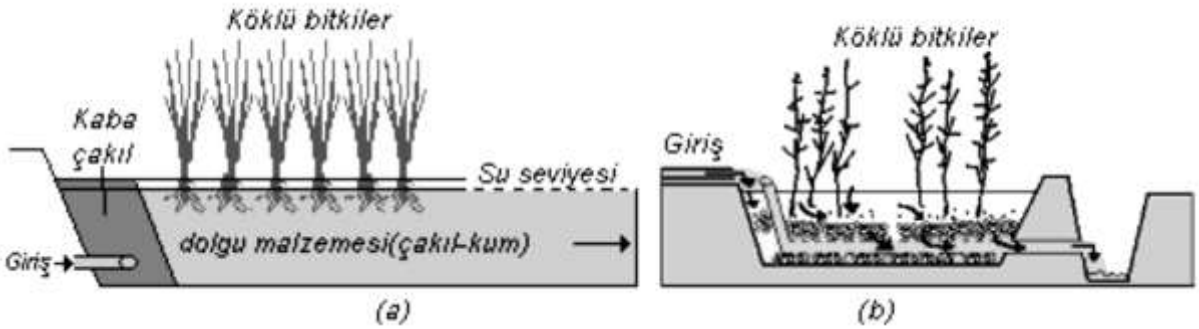
Yüzeyaltı akışlı sulak alanlar (YAS) köklü bitkileri destekleyen kum veya çakıl ile doldurulmuş geçirimsiz tabanlı kanallar veya hendekler şeklinde inşa edilir (Metcalf ve

Eddy, 1991). Sistemde suyun akışı için çıkışa doğru %0,5'lik eğim verilir. Atık su dolgu malzemesi içinde hareket ettiğinden atmosferle teması bulunmamaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Yüzeyaltı Akışlı Sulak alan Sistemi (YAS)

Temel giderim mekanizmaları serbest yüzey akışlı sistemler (SYS) ile benzer niteliktedir. Filtrasyon, adsorpsiyon, çökelme ve mikrobiyal ayrışma bu arıtım mekanizmalarını oluşturmaktadır. Bu sistemlerin başlıca tasarım kriterlerini; bekleme süresi, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD) ve derinlik parametreleri oluşturmaktadır. Yüzeyaltı akışlı sulak alanlarda genelde AKM, BOİ ve patojen giderimi yüksektir. Ancak kök bölgesi altında yetersiz oksijenlendirme nitrifikasyonu engelleyerek azot gideriminde yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar yüksek azot giderimini sağlamak amacıyla YSA sistemlerini modifiye ederek iki tip yüzeyaltı akışlı sulak alan sistemi geliştirmişlerdir. Atık suyun akış tipine göre: (a) yatay yüzeyaltı akışlı sulak alan sistemleri ve (b) düşey yüzeyaltı akışlı sulak alan sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadırlar (Şekil 1.8). Araştırmalar nitrifikasyon için en iyi verimin düşey yüzeyaltı akışlı ve denitrifikasyon için ise yatay yüzeyaltı akışlı sistemlerle başarılacağını göstermektedir.



Şekil 1.8. Yüzeyaltı akışlı sulak alan sistemleri a-Yatay akışlı b-Düşey akışlı.

Yüzeyaltı akışlı sulak alanlar özellikle Türkiye gibi ılıman iklim kuşağının hakim olduğu bölgelerde, küçük yerleşim yerleri için evsel ve endüstriyel atık suların arıtımında yaygın bir uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca bu sistemler organik kirleticiler, asidik maden drenajı ve tarımsal deşarjlarla kirletilmiş yüzey sularının arıtılması amacıyla da kullanılmaktadır. SYS sistemlere kıyasla daha düşük alanlara gereksinim duyarlar ve koku ve sivrisinek problemine neden olmazlar. Konvansiyonel arıtım alternatifleriyle kıyaslandığında ise daha düşük ilk yatırım, işletme ve bakım giderlerine sahiptir.

1.3.Yapay Sulak Alanların Tasarım Kriterleri

Ülkemizde yapay sulak alan teknolojisi oldukça yeni olup yaygın olarak yer seçimi, filtre malzemesi tıkanıklığı, bitkilendirme, sızma, işletme-bakım ve izleme değerlendirmede problemler yaşanmaktadır (Gökalp vd., 2014; Gökalp ve Çakmak, 2013). Aşırı yüklenen ve kötü işletilen atık su arıtma sistemleri arıtım performansını düşürerek su kalitesi istenilen düzeye getirilememektedir. Ayrıca yeterince arıtılmamış çıkış suları su ve çevre kirliliği problemi de yaratabilmektedirler.

Sulak alan sistemleri alana özgü teknolojiler olması sebebiyle yer seçiminde ve tasarımında özellikle yer özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

1.3.1.Topoğrafya

Yapay sulak alanlar 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.

1.3.2.Zemin

Yapay sulak alanlarda atık su arıtımı zemin profili üzerinde gerçekleşeceği için sızma kayıplarının minimum düzeyde tutulması önemlidir. Bu sebeple oldukça düşük toprak geçirgenliğine (<5 mm/saat) sahip alanlar tercih edilmektedir. Doğal zeminlerin

geçirgenliği inşa esnasında oluşan baskılar ile sıkıştırılabilirken, geçirgen özelliği olan zeminler kil veya diğer geçirimsiz özellikte malzemeler ile hazırlanmaktadır.

1.3.3.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 Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Yapay sulak alanlar için boyutlandırma parametreleri.

BOYUTLANDIRMA PARAMETRELERİ	BİRİMİ	SİSTEM TİPİ	
		Serbest Yüzey Akışlı Sulak Alan Sistemleri (SYS)	Yüzey Altı Akışlı Sulak Alan Sistemleri (YAS)
Hidrolik Bekletme Süresi	gün	4-15	4-15
Su Derinliği	metre	0,1-0,6	0,3-0,75
$BOİ_5$ Yükleme Hızı	kg/ha-gün	<0,67	<0,67
Hidrolik Yükleme Hızı	m^3/m^2-gün	0,014-0,5	0,014-0,5
Spesifik Alan	ha/1000m^3-gün	7-12	7-12

1.3.4.Ön arıtma ihtiyacı

Ön arıtmanın seviyesi nihai giderimi de etkileyeceğinden istenen çıkış suyu kalitesine uygun bir ön arıtmanın boyutlandırılarak atık suyun en ekonomik şekilde ön arıtılması gerekmektedir. Ön arıtma ihtiyacı, deşarj standartlarına ve sulak alan sistemlerinin kapasitesine 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. Fosfor için deşarj standartlarının katı olduğu yerlerde ön arıtmada

fosfor giderilmesi tavsiye edilmektedir; çünkü sulak alanlarda fosfor giderim performansı deşarj standartlarını sağlayacak kadar yüksek değildir. Ön çökeltim tanklarında kimyasal madde uygulanması ile fosfor giderimi artırılabilir.

1.3.5.Bitki

Sulak alanlarda toprak veya gözenekli zemin ortamında gelişen köklü veya yüzücü, hızlı büyüyen bitkiler kullanılmaktadır. Yapay sulak alanlarda yaygın olarak kullanılan bitkiler su sümbülü, su mercimeği, kamış, saz, kofa, hasırotu, Japon şemsiyesi ve Sedge'dir (Stephenson vd., 1980). Bitkiler, kökleri ve toprak altındaki gövdeleri vasıtasıyla arıtma havuzunun tabanına oksijen vermek ve biyolojik arıtmada esas görevi üstlenen biyofilmler için su yüzeyinin altında uygun bir tutunma ortamı sağlamak gibi sulak alan arıtımında iki önemli role sahiptirler. Bitkilerin görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (EPA,1998):

- Sulak alan içindeki su akışını düşürerek, askıda katıların çökelmesini kolaylaştırmak,
- Atık sudaki kirleticilerin filtrasyonuna ve adsorbsiyonuna katkıda bulunmak,
- Fotosentezle sisteme oksijen sağlamak,
- Sistemdeki N ve P gibi besin elementlerini kullanarak, giderimine katkı sağlamak,
- Bakteri filmlerinin tutunması için yüzey teşkil etmek,
- Güneş ışığını sınırlayarak alg büyümesini kontrol etmek,
- Rüzgârların su üzerindeki etkisini azaltarak, atmosfer ile su arasında gaz transferini azaltır.

Serbest Yüzey Akışlı Sistem (SYS) için optimum su derinliği, Yüzey altı Akışlı Sistemler (YAS) için ise toprak altındaki gövde ve kök derinlikleri, bitkilerin boyutlandırma ile ilgili dikkate alınması gereken özellikleridir.

1.3.6.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 çakıldır ve 1,3-5 cm çaplı çakıl kullanılabilir. Sulak alanda dolgu malzemesi tıkanıklığını önlemek amacıyla uygun boyutlara getirilmiş, elenmiş ve yıkanmış olarak yerleştirilmelidir.

1.3.7.BOİ yükleme hızı

Yapay sulak alanlarda BOİ giderimi, hidrolik şartlar ile birlikte göz önüne alınan en önemli projelendirme parametresidir. Atık sudaki organik maddelerin parçalanması esnasında kullanılan çözünmüş oksijenin miktarıdır. Bu işlem oldukça yavaş ve süreklidir. Yapay sulak alanlar için literatürde verilen yükleme hızı değeri 770 kg $BOİ_5$/ha-gün'dür. Gerekli oksijen miktarı hesabı (1) ve belirlenmiş yüzey alanı için kullanılabilir oksijenin hesaplanması (2) ile yükleme hızları tahmini yapılmaktadır:

Gerekli oksijen = 1,5 x $BOİ_5$ (1)

Kullanılabilir oksijen = (TrO2)(As):1000 (2)

$BOİ_5$: Organik yük, kg/gün

TrO_2: Vejetasyon için oksijen transfer hızı 20 g/m^2.gün

As: Sulak alan yüzey alanı, m^2

BOİ kontrolü:

1. Denitrifikasyon bakterileri için gerekli karbon kaynağının sağlanması amacıyla (denitrifikasyon için yetersiz karbon kaynağı, atık suda düşük azot giderimine neden olmaktadır.)

2. Bitkilerin aşırı oksijen temin etmesini engellemek amacıyla (aşırı oksijen temini koku problemleri yaratabilmektedir.) yapılmaktadır (Dağlı, 2007).

1.3.8.Hidrolik yükleme hızı

Uygulamada kullanılan hidrolik yükleme hızları, 150 ila 500 m^3/ha-gün arasında değişmektedir (Reedy vd., 1994). Sulak alan hidrolik yükleme hızları sulak alanın hidrolojik özellikleri, su seviye değişimleri ve atık suyun sulak alanda bekleme süresine bağlı olarak değişiklik gösterir (EPA, 2008). Bu yüzden hidrolik yükleme hızları esas boyutlandırma parametresi kabul edilmez bunun yerine sistem boyutları ve arazi ihtiyacının ön tespiti için spesifik alan ihtiyacı (A_{SP}) belirlenir. Uygulamada kullanılan spesifik alan ihtiyaçları ise 2,1 ha/(1000 m^3-gün) ile 6,9 ha /(1000 m^3-gün) arasında değişmektedir.

1.3.9.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.

1.3.10.Havuz alanı ve geometrisi

Yapay sulak alan için yüzey alanı 31,9 m^3/m^2.gün' dür (EPA, 1999). En kesit alanı hidrolik ve organik yükleme değerlerine göre hesaplanır. Su derinliği ise SYS sulak alan sistemleri için seçilmiş bitkinin optimum 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 (Tanner vd., 1998; Tanner vd., 1999).

1.4.Yapay Sulak Alanlarda Kirlilik Giderim Mekanizmaları

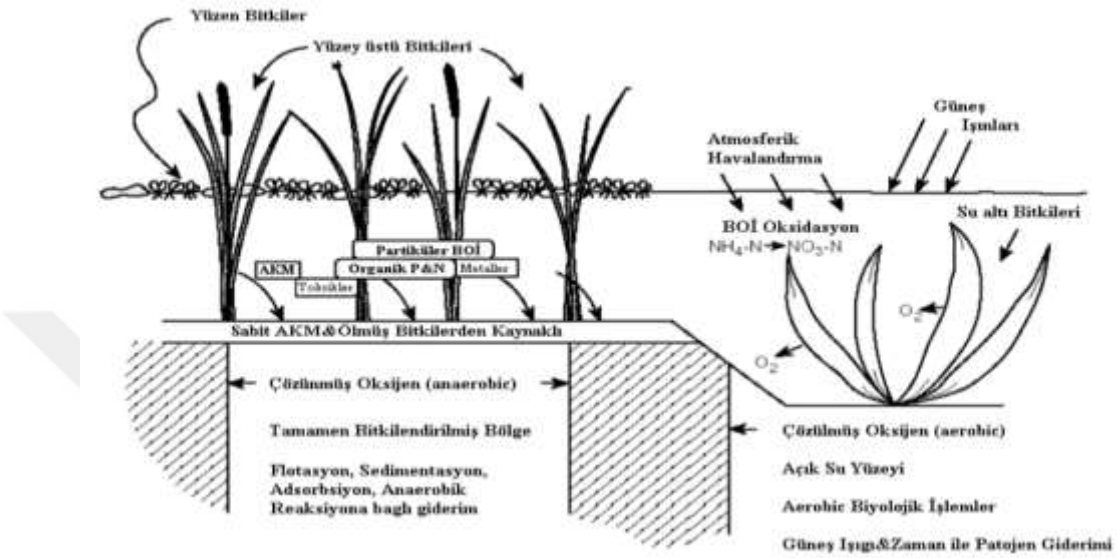
Atık yönetiminin temel amacı insan sağlığının korunmasıdır. Başlıca sağlıkla ilgili kirleticiler ve bu kirleticilerin etkili olma şekilleri Tablo 1.4'de verilmiştir (EPA, 1998).

Tablo 1.4 Kirleticiler ve etkili olma şekilleri.

Kirletici	**Taşınım yolu**	**Etkili olma şekli**
Azot	Sağlık Çevre	Sağlıksız su kaynağı Ötrifikasyon
Fosfor	Sağlık Çevre	Direkt etkisi yok Ötrifikasyon
Patojenler	Sağlık Çevre	Su kaynakları, bitkiler, aerosoller Toprakta birikme, doğal hayata zarar
Metaller	Sağlık Çevre	Su kaynakları, bitkiler, besin zincirindeki hayvanlar, uzun dönemde toprakta zarar, bitkilere ve doğal hayata zehirli
İz organikler	Sağlık Çevre	Su kaynakları, besin zinciri, bitkiler ve hayvanlar, toprakta birikim

Yapay sulak alanlarda atık sulardan kirleticilerin gideriminde fiziksel, biyolojik ve kimyasal üç temel süreç dikkate alınmaktadır. Bu süreçler ise art arda veya eş zamanlı olarak gerçekleşen çok sayıda farklı prosesi içermektedir (Ran vd., 2004). Fiziksel süreçler geleneksel arıtma sistemlerinde olduğu gibi ön arıtma amaçlı olarak kullanılıp doğal sulak alanlarda gerçekleşen temel süreçlerden biridir. Bu süreçte ortamda bulunan katılar yavaş akım şartlarının etkisiyle çökelmektedir. Biyolojik yolla olan arıtma sulak alanlardaki en önemli kirletici giderim mekanizması olup altı temel biyolojik süreç hakimdir. Bunlar bitki solunumu, fotosentez, fermentasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve mikrobiyolojik fosfor giderimidir (Mitchell, 1996). Bu süreçte temel mekanizma bitkiler tarafından kirlilik unsuru maddelerin alınmasıdır. Sulak alan mikroorganizmaları da bitki besin elementlerinin bir kısmını bünyelerine alırlar fakat organik kirleticilerin gideriminde bitki metabolik faaliyetleri daha etkindir. Organik azotun gideriminde ise mikrobiyal ayrıştırmalar oldukça önemlidir (EPA, 1999). Diğer kirletici giderim mekanizması olan kimyasal süreçler ise üç farklı prosesten meydana gelmektedir. Bunlar emme, foto-oksidasyon ve buharlaşma sürecidir. Bu kimyasal süreçlerden en önemlisi emmedir. Emme sürecinde adsorpsiyon (iyonların toprak partiküllerine geçişi) ve çökelme (metallerin çözünmez formlara dönüşmesi) gerçekleşir. Foto-oksidasyon ise güneş enerjisi kullanarak bileşikleri parçalayıp oksidize eder. Buharlaşma ile bileşikler gaz formuna geçerler. Tüm süreçler şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 1.9). Yapay sulak alan sistemlerinde ki maddelerin dönüşümü hayli

karmaşık ve değişkendir. Atık suların arıtımı ile bu arıtımı etkileyen dinamikler tam anlamıyla anlaşılmasında yeni matematiksel modellerin geliştirilmesi oldukça önemlidir (Akça,2006).



Şekil 1.9 Yapay sulak alanlar kirlilik giderim mekanizmaları.

1.4.1.Askıda Katı Madde (AKM) Giderimi

Sulak alanın sığ ortamı ile birlikte bitkiler su akış hızlarını düşürürken askıdaki katı maddeler (AKM)'in çoğu çökelme ve filtrasyonla giderilir. Ana AKM giderim mekanizması çökelmedir. Çökelme genel olarak su akış hızı, derinliği, sıcaklığı 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.

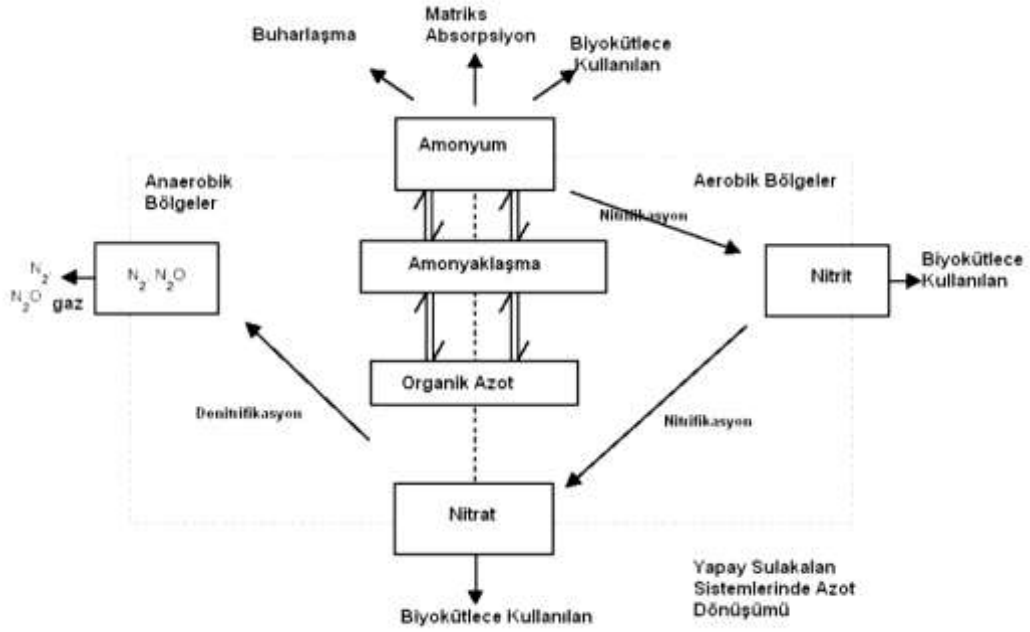
1.4.2.Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) Giderimi

Atık sulardaki çökelmeden sonra kalan çözünebilir organik maddeler biyolojik oksidasyon (karbonlu maddelerin aerobik olarak ayrışması) ve filtrasyon (anaerobik ayrışma) prosesleri ile giderilir. Çökelme ile giderilen organiklerin bir kısmı da kimyasal reaksiyonlar ile gaz ya da çözünebilir bileşikler halinde giderilir. Biyolojik oksidasyonda organik maddeler, sulak alan ortamına bitkilerin kökleri vasıtasıyla

sağladığı oksijeni kullanan aerobik bakteriler tarafından parçalanır. Serbest yüzey akışlı sulak alan sistemlerinde aerobik ayrışma için gereken oksijen yüzey havalanması ile sağlanırken, yüzey altı akışlı sulak alan sistemlerinde oksijen bitki köklerinde ki biyofilm tabakalarına transfer edilerek, arıtım için gerekli aerobik koşullar sağlanır. Bu yüzden YAS sulak alanlarda bitki seçimi oldukça önemlidir. Biyokimyasal reaksiyonlar ortamın bitkilerin su altında kalan kısımlarında yer alır. Organik madde içeren atık sularda suyun oksijen ihtiyacı karbonlu maddelerin tamamı parçalanana kadar artar. Bu sebeple bir sulak alan ortamında BOİ giderimi birinci derece piston akım reaktörü yaklaşımı ile tanımlanabilir (Kadlec, 1996).

1.4.3. Azot Giderimi

Artan azot içeriği, içme suyu kaynakları ve diğer yüzeysel su kaynaklarında ötrifikasyona 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 alımı azot gideriminin esas yoludur. Sulak alanlarda nitrat giderimi genellikle çok yüksektir (EPA, 1999). Atık su içindeki azot çevrimleri özellikle biyokütle, atmosfer ve sulak alan katmanlarındaki değişikliklerle orantılıdır. Organik azot biyokütlenin ayrışmasıyla oluşur ve amonifikasyon ile amonyağa dönüşür. Amonyak ise; nitrifikasyon, bitki absorbsiyonu ile bitkinin kendi bünyesine alması ve amonyak uçması ile kaybolur (Şekil 1.10).



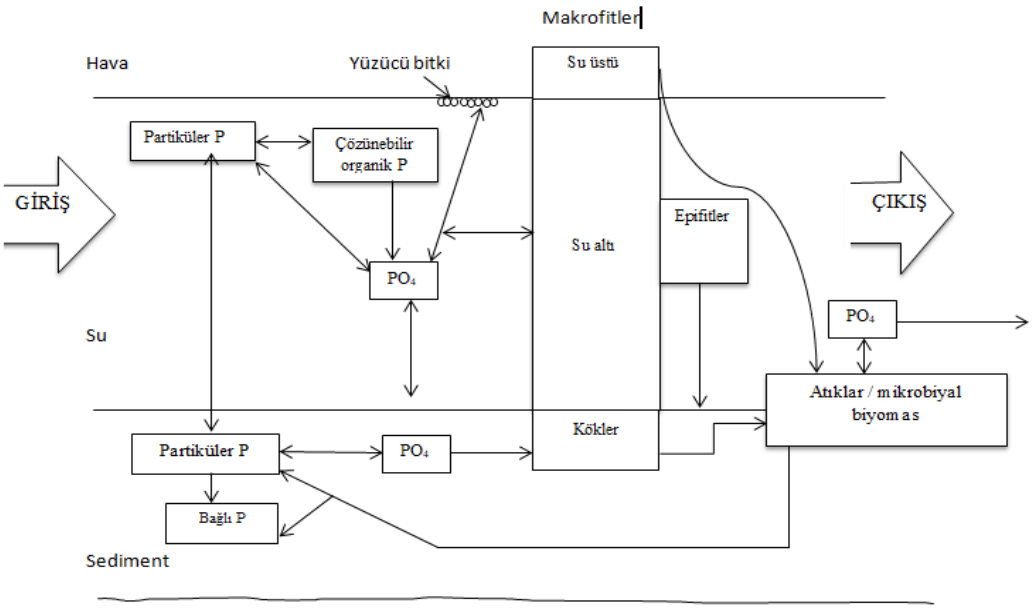
Şekil 1.10. Yapay sulak alanlarda azot dönüşümü.

Yapay sulak alanlarda toplam azot giderim verimi sıcaklık, pH, karbon nitrojen (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 (Kadlec, 1996).

1.4.4.Fosfor Giderimi

Sulak alanlarda ötrifikasyona sebep olan diğer önemli besin elementi fosfordur ve yapay sulak alanlarda fosfor giderimi için metabolik bir yol bulunmadığından fosforun giderimi oldukça önemlidir. Atık suda fosfor inorganik ve organik formlarda fosfatlı bileşikler halinde bulunur. Yoğun olarak alg ve makrofitlerin kullanabileceği ortofosfat forumundadır. Organik fosfor genelde biyolojik prosesler sonucunda oluşur ve ham atık suda gıda artıkları ve insan dışkısı olarak bulunur, inorganik fosfor ise genelde temizlik amacıyla kullanılan deterjanların sonucu oluşur, aynı zamanda fosfatlı gübrelerde önemli oranda inorganik fosfor içermektedirler. Sulak alanlarda fosfor giderimi fiziksel, kimyasal ve biyolojik yollarla olmaktadır (EPA, 1999). Sulak alan sistemlerindeki temel fosforlu bileşikler; çözünmüş fosfor, partiküller fosfor ve partiküller organik fosfordur. Yapay sulak alanlarda büyüme mevsiminin başlangıcında fosfor giderimi büyük ölçüde

çözünmüş fosforun bitki kökleri (yaprak ve diğer bitki kısımlarında emilim çok düşüktür) tarafından alımıyla gerçekleşir. Diğer giderimi ise su ortamındaki organizmaların (bakteri, mantar, alg vb. mikroskobik canlıların) büyümeleri için fosforu kullanmasıyla gerçekleşir. Fakat fosfor sulak alanda büyümeyi hızlandırdığından biyokütle miktarının artmasına yol açar ve çürüyen bitkilerde bitki kökleri sulak alan toprağına önemli miktarda fosfor bırakır. Çoğu sulak alan sisteminde fosfor giderimi atık su ve toprak arasında yeterli temas imkânının olmayışı sebebiyle çok fazla etkili olmamaktadır. Bir diğer fosfor giderim mekanizması olan kimyasal süreç toprak adsorpsiyonu ve çökelme ile gerçekleşir. Adsoprsiyon ile giderim toprak gözenekli yapısından toprak iç yüzeyine inorganik fosforun 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 içeriği arttıkça adsorpsiyon nitelikleri artar. Ayrıca atık su, zemine doğru sızarken demir ve alüminyum bileşenleri fosfor ile temas eder ve fosfor çözünmeyen bileşikler haline dönüşerek çökelme ve adsorbsiyon ile giderilir (EPA, 1996). Temel olarak yapay sulak alanlarda fosfor giderimi tüm bu süreçleri içeren tutulma kavramı ile açıklanmaktadır (Sakadevan ve Bavor, 1998). Aşağıdaki Şekil 1.11'de serbest su yüzey akışlı sulak alanlarda ki temel fosfor dönüşümleri gösterilmektedir (EPA, 1995).



Şekil 1.11. Bir sulak alanda fosfor döngüsü.

1.5.Fosfor türleri ve Analiz Yöntemleri

Elementel fosfor, atom numarası 15, atom ağırlığı 30,9 olup periyodik tabloda 5. Grupta yer almaktadır. Fosfor ve fosforlu bileşikler dünyada bulunan temel elementlerden biridir ve yaşamsal organizmalar için olmazsa olmaz öneme sahiptirler. Doğada genellikle fosfat asidinin türevleri halinde bulunur ki fosfor asidi bileşikleri bitkisel ve hayvansal organizmaların temel bileşiklerinden birisini oluşturur. Fosfor ve bileşiklerinin doğadaki hareketi karalardan sulara, sulardan karalara doğru basit bir fosfor döngüsü ile gerçekleşmektedir.

Fosfor, su ve atık sularda genelde inorganik formda fosfatlar şeklinde bulunur. Atık sularda bulunan önemli fosfor formları organik fosfor, orto-fosfatlar ve poli-fosfatlardır. Yaygın kullanıma sahip ortofosfatlar; trisodyum fosfat (Na_3PO_4), disodyum fosfat (Na_2HPO_4), monosodyum fosfat (NaH_2PO_4) ve diamonyum fosfat ($(NH)_4HPO_4$), polifosfatlar ise sodyum hegzametafosfat ($Na_3(PO_3)_6$), sodyum tripolifasfat ($Na_5P_3O_{10}$) ve tetrasodyum pirofosfat ($Na_4P_2O_7$) bileşikleridir. Organik fosfor ham atık suda genelde gıda artıkları ve insan dışkısının içerdiği proteinlerin metabolik olarak parçalanmasıyla ortaya çıkmaktadır. İnorganik fosfor ise ucuz dolgu malzemesi ve kireç bağlayıcı olarak büyük miktarlarda polifosfat içeren temizlik amaçlı kullanılan sentetik deterjanlar ile tarımsal faaliyetler için kullanılan fosfatlı gübrelerden kaynaklanmaktadır. Günümüzde özellikle sentetik deterjanların yaygın kullanımı evsel atık sulardaki fosfor miktarının büyük oranda artmasına sebep olmuştur.

Fosfor bileşikleri bitki büyümesi için gerekli olan besin elementlerinden biri olmasının yanında genelde büyümeyi sınırlandırıcı bir faktördür ve ayrıca yüzey sularında alg büyümesine yol açarlar. Sudaki fosfat konsantrasyonuna bağlı olarak, ötrofikasyon meydana gelebilir. Sadece 1 g fosfat fosforu (PO_4-P) 100 g alg gelişimini hızlandırmaktadır. Zaman içeresinde bu algler öldüğünde, ayrıştırma işlemleri yaklaşık 150 g'lık bir oksijen ihtiyacı ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle atık sularda fosfor giderimi için fosfor formları ile elverişli analiz yöntemlerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

Uygun analiz yöntemlerinin tayini için genel olarak -orto, -poli ve organik türdeki fosfor içeriklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ortofosfat formlarının analizi yeterli hassasiyette belirlenebildiği için poli ve organik fosfat formları toplam fosfor analizleri için bu forma dönüştürülür. Ortofosfat fosfor formu gravimetrik, volumetrik ve kolorimetrik analiz

yöntemleri ile belirlenmektedir. Düşük fosfat konsantrasyonları için gravimetrik yöntem, fosfat konsantrasyonu >50mg/l'den yüksek ise volumetrik veya kolorimetrik yöntem kullanılmaktadır. Ortofosfat formda fosforun analizinde üç farklı kolorimetrik metot kullanılmaktadır. Bunlar; vanadomolibdofosforik asit kolorimetrik metodu, kalayklorür metodu ve askorbik asit metodudur.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Materyal

2.1.1. Deney Düzenekleri

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Araştırma Birimi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yapay sulak alan dolgu malzemesi seçimine yönelik kolon test düzenekleri oluşturulmuştur. Kolon denemelerinde kullanılmak üzere 3,2 mm et kalınlığında, 110 mm çapında ve 108 cm uzunluğunda Fırat Residence PVC marka borular kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Kolon test düzenekleri.

2.1.2 Malzeme boyut ve karışım oranları

Araştırma da kullanılan pomza materyali Kayseri Develi bölgesi Garden Pomza'dan zeolit materyali ise Gördes Zeolit firmasından temin edilmiştir.



Şekil 2.2. Zeolit.



Şekil 2.3. Pumis.



Şekil 2.4. Çakıl.

Tablo 2.1.Araştırma da kullanılan malzemelerin boyut aralığı.

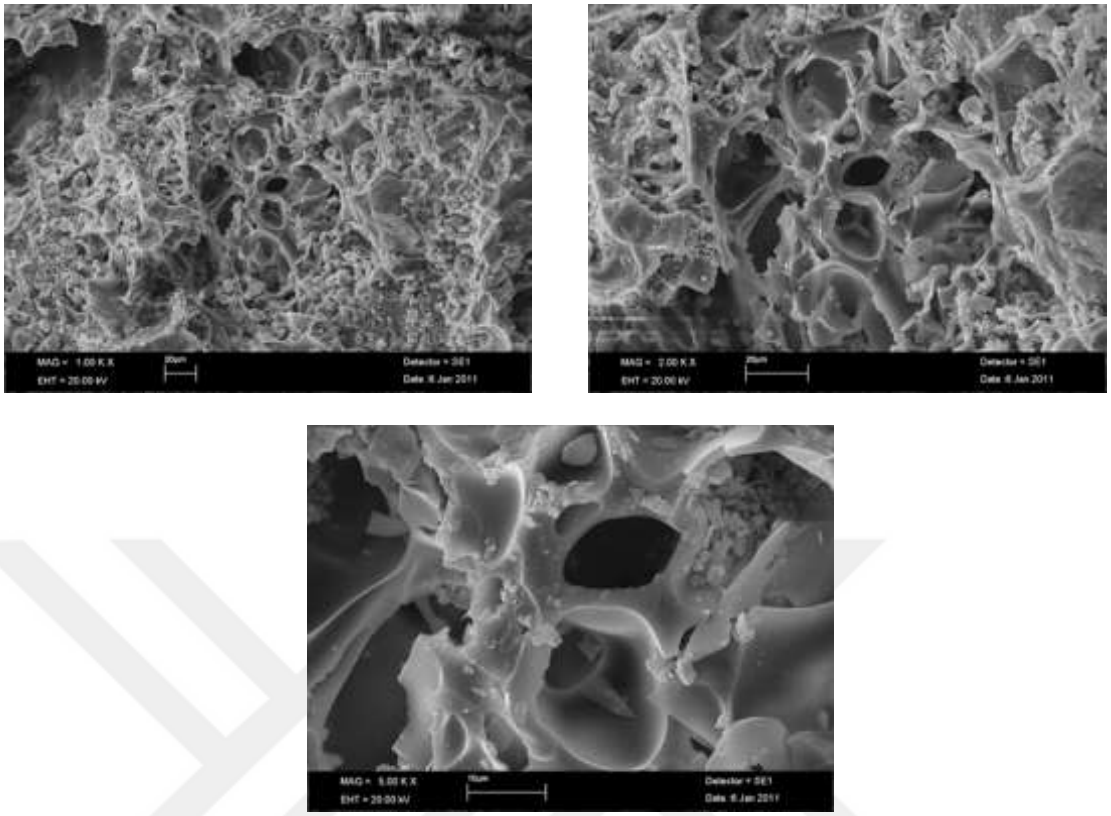
Pumis Boyutu (mm)	Zeolit Boyutu (mm)	Çakıl (mm)
0.5 - 4.0	0.5 - 4.0	6.00 - 12.00

Araştırmada kullanılan pümis ve zeolitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir (Gördes Zeolit, 2018; Garden Pomza, 2018).

Tablo 2.2. Zeolit ve pumisin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

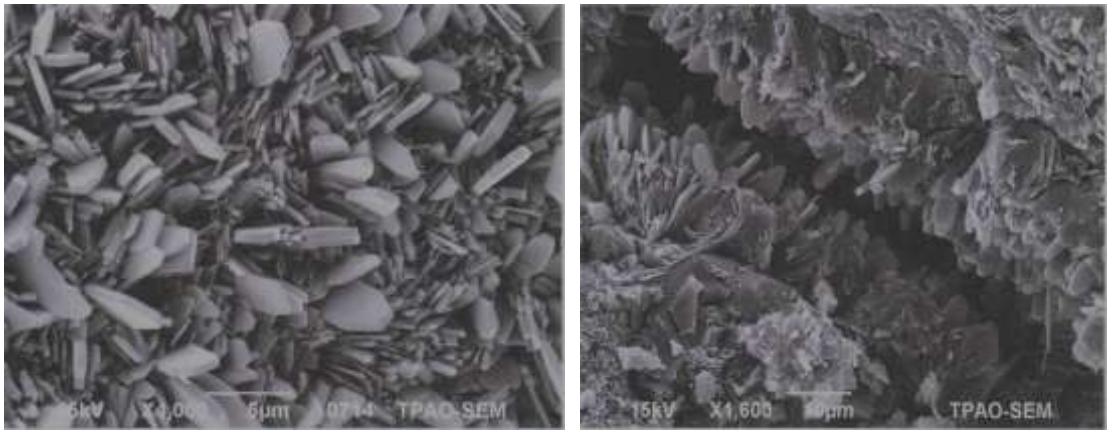
Zeolit		**Pümis**	
Özellik	**Değer**	**Özellik**	**Değer**
SiO_2 (%)	71,9	SiO_2 (%)	53,5
Al_2O_3 (%)	13,2	Al_2O_3 (%)	10,75
Fe_2O_3(%)	1,4	Fe_2O_3 (%)	3,22
MgO (%)	1,1	MgO (%)	1,95
Na_2O (%)	0,3	Na_2O (%)	1,6
CaO (%)	2	CaO (%)	3,78
K_2O (%)	3,5	K_2O (%)	3,15
pH	6,4	pH	6,5
Nem İçeriği (%)	9,5	Nem İçeriği (%)	10,9
Su Tutma Kapasitesi (%)	42-50	Su Tutma Kapasitesi (%)	90,2
Porozite (%)	33	Porozite (%)	-
Sertlik (Mohs)	2-3	Sertlik (Mohs)	-
Çözünebilir P (ppm)	-	Çözünebilir P (ppm)	0,004
Çözünebilir K (ppm)	-	Çözünebilir K (ppm)	4,79
Çözünebilir Ca (ppm)	-	Çözünebilir Ca (ppm)	14,019
Çözünebilir Mg (ppm)	-	Çözünebilir Mg (ppm)	1,077

Araştırmada kullanılan pumis örneklerinin gözenekli yapısını ortaya koyabilmek için çekilen elektron mikroskopisi fotoğrafları (SEM) Şekil 2.5'de verilmiştir. Gerek taneler arasında gerekse tane içindeki makro ve mikro boşluklar malzemenin özgül yüzey alanını ve neticede adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır.



Şekil 2.5. Pümis SEM görüntüleri.

Araştırmada kullanılan zeolit örneklerinin gözenekli yapısını ortaya koyabilmek için çekilen elektron mikroskopisi fotoğrafları (SEM) Şekil 2.6'da verilmiştir (Gördes Zeolit).



Şekil 2.6. Zeolit SEM görüntüleri.

Belli bir tane boyutu aralığında tanelerden oluşan zeolit ve pumis materyalleri hacimsel (v/v) olarak belirlenen karışım oranlarında karıştırılmak suretiyle kullanılmıştır. Ayrıca malzemede filtre görevi görmesi amacıyla çakıl malzeme kullanılmıştır. Her bir kolonda

ilk 10 cm çakıl malzeme olmak üzere 80 cm lik bölümü hazırlanan karışımlar ile doldurulmuştur. Tablo 2.3'de karışım oranları verilmiştir.

Tablo 2.3. Malzeme karışım oranları.

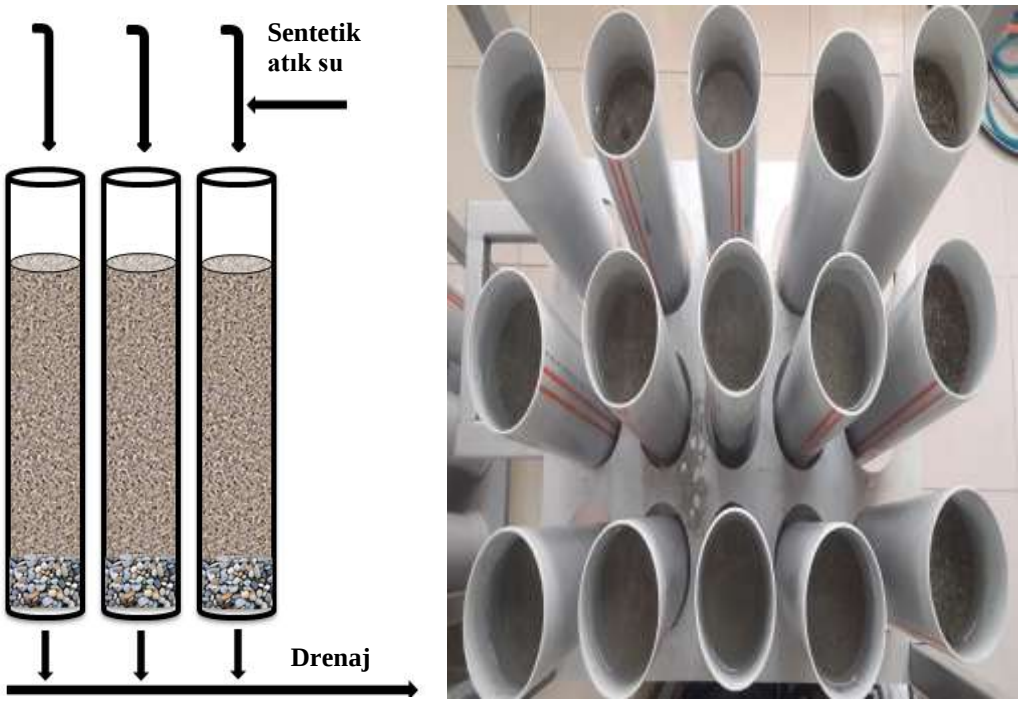
KONU	Pumis karışım oranı (%)	Zeolit karışım oranı (%)
75P25Z	75	25
50P50Z	50	50
25P75Z	25	75
100P	100	–
100Z	–	100

Çalışmada sentetik atıksu, fosfor içerigi evsel atıksuyu temsil edecek şekilde KH_2PO_4 (mono potasyum fosfat, MKP) çözelti hazırlanarak 10, 20 ,40 mg/lt olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Hidrolik alıkonma süresi

Belirlenen fosfor düzeyleri 1 gün, 2 gün, 3 gün ve 4 gün hidrolik alıkonma süreleri (HAS) ile kolonlara üstten besleme şeklinde malzeme tam doygunluğa ulaşıncaya kadar uygulanmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kolonların beslenmesi.

Örnekler her bir kolon da süzülme duruncaya kadar beklenerek alınmış olup bir kapta toplanan süzükler homojen olması amacıyla karıştırıldıktan sonra 50 ml'lik örnekler alınmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Örneklerin alınması.

2.2.2.pH ve EC Ölçümleri

pH katı veya sıvı ortamdaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun eksi logaritmasıdır. Sulak alan ortamında atık suyun pH şiddeti giderim mekanizmaları üzerinde oldukça etkilidir. Kimyasal arıtımda çökelmenin yanında, biyolojik organizma aktivitesini de etkilemektedir. Ayrıca sulak alan ortamında ki inorganik kirletici formları üzerinde de farklılığa sebep olmaktadır. Asidik özellik gösteren atık sularda fosfor, fosforik asit formundayken bazik özellik gösteren sulak alan ortamında fosfor ortofosfat formunda bulunmaktadır.

EC ise sulu ortamların elektriği iletme kabiliyetinin sayısal bir ifadesidir. Bu değer sudaki iyonların konsantrasyonları, hareketliliği, değerliklerine ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sulu ortamda anyon ve katyonların kaynağı inorganik asit, baz ve tuz içeriği ile ilişkilendirilir. Organik bileşikler sulu ortamda iyonlaşamadıklarından çok zayıf iletkenliğe sahiptirler. Elektriksel iletkenlik birimi Siemens/cm olarak belirtilir.

Alınan numunelerde giriş – çıkış pH ve EC ölçümleri elektrometrik metoda göre belirlenmiştir (SM 4500-H+ B). Ölçümler Mettler Toledo marka pH – EC ölçer cihazda gerçekleştirilmiştir. pH ölçümlerinden önce tampon çözeltisi ile pH metre kalibrasyonu yapılmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. EC ve pH ölçümleri.

2.2.3. Toplam Fosfor Analizi

Alınan numulerin fosfor düzeyleri ön denemelerinde 1-20 mg/L'nin üzerinde olduğundan fosfor analizleri için vanadomolibdofosforik asit kolorimetrik yöntem uygulanmıştır (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998). Numunelerde toplam ortofosfat tayini için kullanılan kolorimetrik metod için çözelti ve çözelti B reaktifleri kullanılmıştır. Ayrıca stok fosfor çözeltisi (KH_2PO_4) ile hazırlanan standart çözeltiler stok çözeltiden 250 mL'lik tüplere 1, 2, 4, 8, 10 mg/L olacak şekilde seyreltme yapılarak üzerine 5 mL asit çözeltisi (Çözelti B) renk geliştirici olarak eklenmiştir. Kalan kısım saf su ile tamamlanmıştır. Numune örneklerinden 1mL alınarak bu işlemler tekrar edilmiştir. Renk gelişimlerini homojen hale getirmek için örnekler çalkalanmıştır. Hazırlanan standart fosfor çözeltileri ile kalibrasyon eğrisi üzerinden spektrofotometre okumaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.10).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.10. (a) Fosfor analizi standart çözeltilerde renk gelişimi, (b) fosfor analizinde numulerde renk gelişimi, (c) spektrofotometre

3. BÖLÜM

BULGULAR

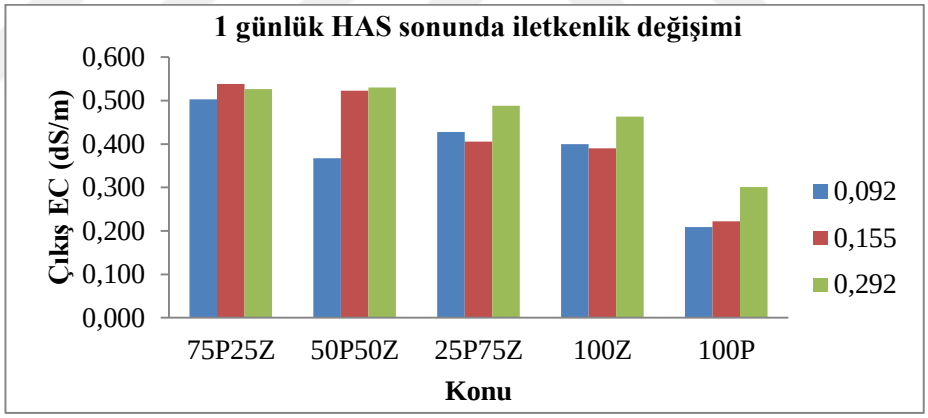
Araştırma konuları, hidrolik alıkonma süreleri, fosfor konsantrasyon düzeyleri ve tekerrürler için toplanan çıkış numunelerinde elektriksel iletkenlik (EC) ve pH ölçümleri ile Toplam Fosfor (TP) analizi gerçekleştirilmiş olup sonuçlar sırasıyla verilmiştir.

3.1. Elektriksel İletkenlik (EC) Değişimi

Elektriksel iletkenlik değeri sulu ortamdaki iyonik konsantrasyonun bir ölçüsüdür. Atık su içeriğindeki organik kirleticilerin giderimi esnasında çözünmüş forma ulaşmaları bu değeri artırmaktadır. Kullanılan sentetik atık suyun giriş konsantrasyonu iletkenlik değeri 0,092, 0,155 ve 0,292 dS/m arasında değişiklik göstermiş olup çıkış konsantrasyonları iletkenlik değişimi farklı hidrolik alıkonma sürelerine göre değerlendirilmiştir. Sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda elektriksel iletkenlik değişimleri Tablo 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

1 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş EC (dS/m)	**Konu Tekerrür**	**Çıkış EC (dS/m)**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
0,092	**75P25Z**	0,590	0,393	0,526	0,503
	50P50Z	0,372	0,367	0,363	0,367
	25P75Z	0,432	0,442	0,410	0,428
	100Z	0,400	0,400	0,400	0,400
	100P	0,209	0,209	0,209	0,209
0,155	**75P25Z**	0,628	0,456	0,531	0,538
	50P50Z	0,529	0,595	0,444	0,523
	25P75Z	0,431	0,394	0,391	0,405
	100Z	0,390	0,390	0,390	0,390
	100P	0,222	0,222	0,222	0,222
0,292	**75P25Z**	0,592	0,533	0,455	0,527
	50P50Z	0,534	0,540	0,516	0,530
	25P75Z	0,496	0,481	0,487	0,488
	100Z	0,463	0,463	0,463	0,463
	100P	0,301	0,301	0,301	0,301

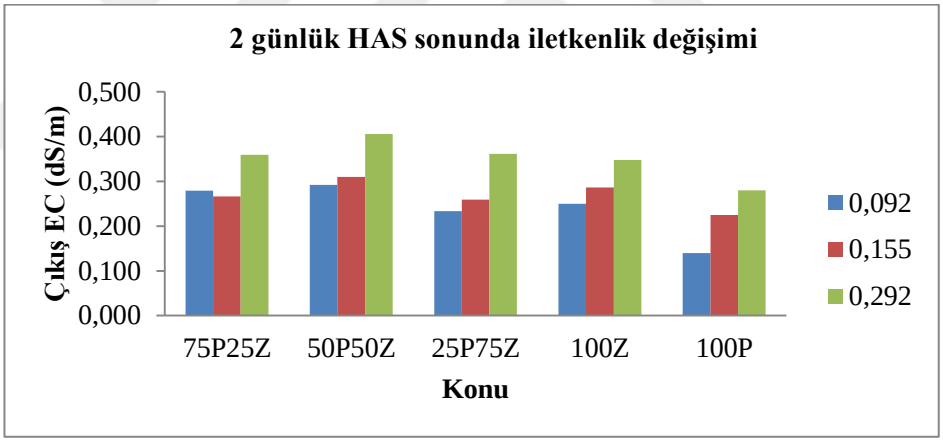


Şekil 3.1. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

Zeolit-pumis karışım konularının 1 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda 75P25Z konusu ortalama 0,523 dS/m ile en yüksek iletkenlik değerine sahip olmuştur. En düşük iletkenlik değişimi ise ortalama 0,244 dS/m ile 100P konusunda gözlenmiştir (Şekil 3.1).

Tablo 3.2. İki günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

2 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş EC (dS/m)	Konu Tekerrür	Çıkış EC (dS/m)			
		1	2	3	Ortalama
0,092	**75P25Z**	0,281	0,238	0,318	0,279
	50P50Z	0,255	0,309	0,313	0,292
	25P75Z	0,251	0,220	0,229	0,233
	100Z	0,250	0,250	0,250	0,250
	100P	0,140	0,140	0,140	0,140
0,155	**75P25Z**	0,301	0,231	0,266	0,266
	50P50Z	0,304	0,315	0,310	0,310
	25P75Z	0,281	0,244	0,252	0,259
	100Z	0,286	0,286	0,286	0,286
	100P	0,225	0,225	0,225	0,225
0,292	**75P25Z**	0,386	0,354	0,337	0,359
	50P50Z	0,342	0,456	0,418	0,405
	25P75Z	0,379	0,349	0,356	0,361
	100Z	0,348	0,348	0,348	0,348
	100P	0,280	0,280	0,280	0,280

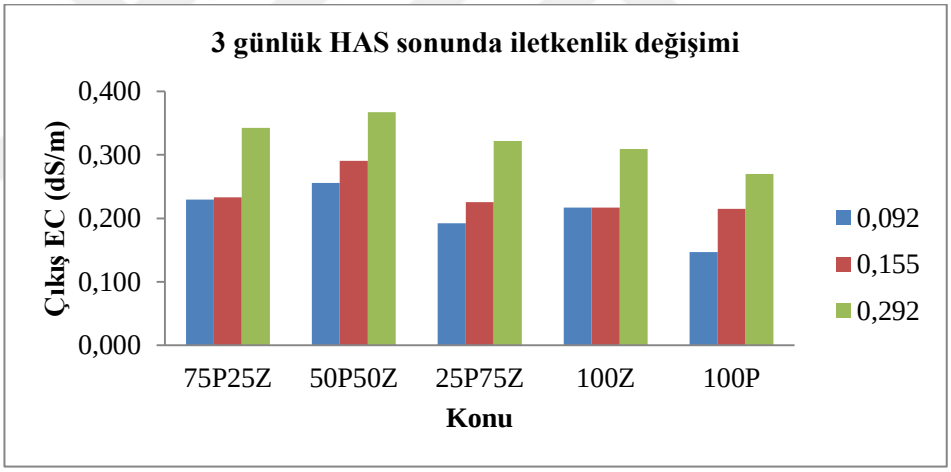


Şekil 3.2. İki günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

Zeolit-pumis karışım konularının 2 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda 50P50Z konusu çıkış konsantrasyonunda ortalama 0,336 dS/m ile en yüksek iletkenlik değişimine sahip olmuştur. En düşük iletkenlik değişimi ise ortalama 0,215 dS/m ile 100P konusunda gözlenmiştir (Şekil 3.2). Ortam malzemesi olarak değerlendirilen tüm karışım konularında 1 günlük alıkonma süresine göre iletkenlik değerinde düşüşler gözlenmiştir.

Tablo 3.3. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

3 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş EC (dS/m)	Konu Tekerrür	Çıkış EC (dS/m)			
		1	2	3	Ortalama
0,092	**75P25Z**	0,219	0,202	0,267	0,229
	50P50Z	0,233	0,281	0,253	0,256
	25P75Z	0,217	0,185	0,175	0,192
	100Z	0,217	0,217	0,217	0,217
	100P	0,147	0,147	0,147	0,147
0,155	**75P25Z**	0,274	0,215	0,21	0,233
	50P50Z	0,259	0,276	0,336	0,290
	25P75Z	0,237	0,222	0,218	0,226
	100Z	0,217	0,217	0,217	0,217
	100P	0,215	0,215	0,215	0,215
0,292	**75P25Z**	0,396	0,317	0,314	0,342
	50P50Z	0,324	0,421	0,357	0,367
	25P75Z	0,322	0,330	0,314	0,322
	100Z	0,309	0,309	0,309	0,309
	100P	0,270	0,270	0,270	0,270

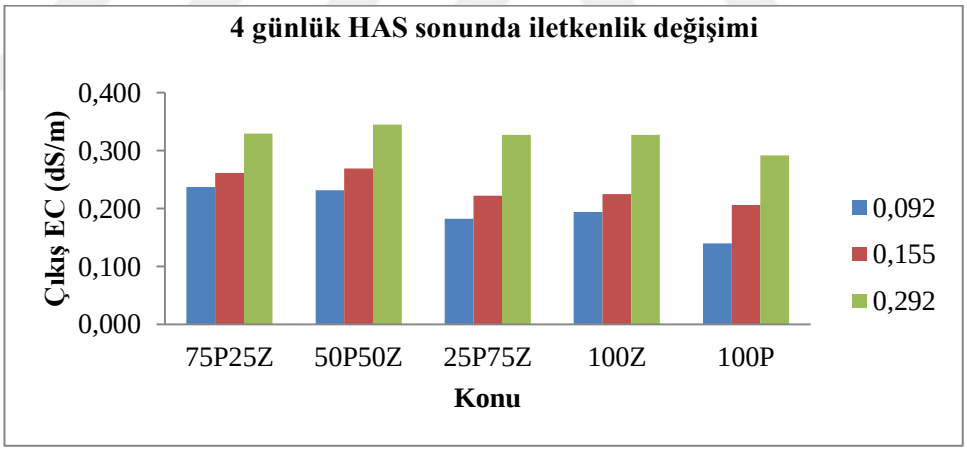


Şekil 3.3. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

Zeolit-pumis karışım konularının 3 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda 50P50Z konusu çıkış konsantrasyonunda ortalama 0,304 dS/m ile en yüksek iletkenlik değişimine sahip olmuştur. En düşük iletkenlik değişimi ise ortalama 0,210 dS/m ile 100P konusunda gözlenmiştir (Şekil 3.3).

Tablo 3.4. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

4 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş EC (dS/m)	Konu Tekerrür	Çıkış EC (dS/m)			
		1	2	3	Ortalama
0,092	75P25Z	0,229	0,200	0,283	0,237
	50P50Z	0,248	0,219	0,228	0,232
	25P75Z	0,209	0,177	0,162	0,183
	100Z	0,194	0,194	0,194	0,194
	100P	0,140	0,140	0,140	0,140
0,155	75P25Z	0,270	0,230	0,285	0,262
	50P50Z	0,244	0,261	0,302	0,269
	25P75Z	0,235	0,212	0,220	0,222
	100Z	0,225	0,225	0,225	0,225
	100P	0,206	0,206	0,206	0,206
0,292	75P25Z	0,390	0,308	0,290	0,329
	50P50Z	0,315	0,353	0,367	0,345
	25P75Z	0,339	0,324	0,318	0,327
	100Z	0,327	0,327	0,327	0,327
	100P	0,292	0,292	0,292	0,292



Şekil 3.4. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında iletkenlik değişimi.

Zeolit-pumis karışım konularının 4 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda 50P50Z konusu çıkış konsantrasyonunda ortalama 0,282 dS/m ile en yüksek iletkenlik değişimine sahip olmuştur. En düşük iletkenlik değişimi ise ortalama 0,213 dS/m ile 100P konusunda gözlenmiştir (Şekil 3.4). Pumis malzeme zeolit ve diğer karışım oranlarına kıyasla oldukça düşük iletkenlik değerine sahip olmuştur. Bunun yanında 75P25Z ve 50P50Z karışım konularında iletkenlik değişimleri artmıştır. 10 gün sonunda ortalama EC değişimleri aşağıda yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır:

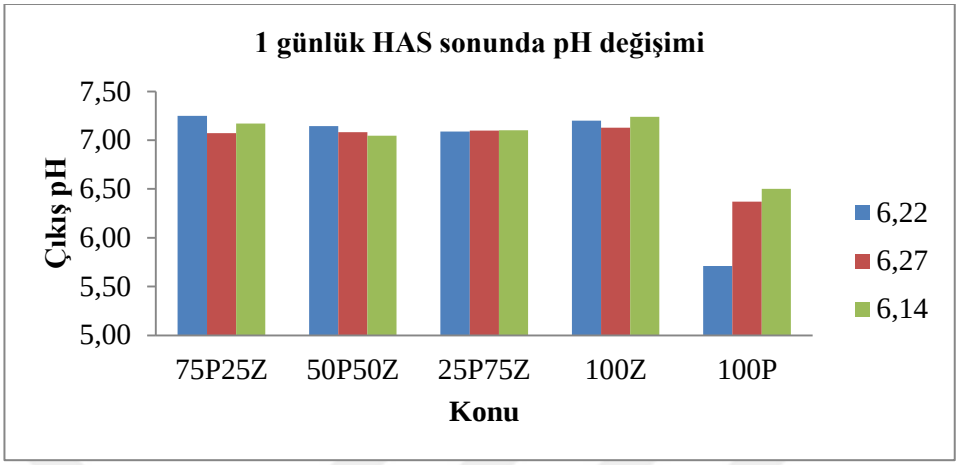
50P50Z>75P25Z>25P75Z>100Z>100P

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 gideriminde de hidrojen ve hidroksil grubu iyonlarının ortam malzemesi üzerine etki ederek tutulmada etkili olduğu belirtilmiştir. Çalışma süresince sentetik atık suyun farklı konsantrasyonları ile beslenen kolonlarda giriş konsantrasyonları numunelerinde 6,22, 6,27 ve 6,14 pH değeri elde edilmiştir. Çıkış numunelerinde hidrolik alıkonma süreleri dikkate alınarak pH değişimi değerlendirilmiştir. Sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 günlük hidrolik alıkonma süreleri sonunda elde edilen değişimler Tablo 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

1 Günlük hidrolik bekletme süresi					
Giriş pH	**Konu Tekerrür**	**Çıkış Ph**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
6,22	**75P25Z**	7,19	7,38	7,18	7,25
	50P50Z	7,29	7,07	7,07	7,14
	25P75Z	7,28	6,95	7,04	7,09
	100Z	7,20	7,20	7,20	7,20
	100P	5,71	5,71	5,71	5,71
6,27	**75P25Z**	7,01	7,14	7,07	7,07
	50P50Z	7,09	6,98	7,18	7,08
	25P75Z	7,23	7,05	7,02	7,10
	100Z	7,13	7,13	7,13	7,13
	100P	6,37	6,37	6,37	6,37
6,14	**75P25Z**	7,11	7,25	7,15	7,17
	50P50Z	7,12	7,11	6,91	7,05
	25P75Z	7,06	7,08	7,17	7,10
	100Z	7,24	7,24	7,24	7,24
	100P	6,50	6,50	6,50	6,5

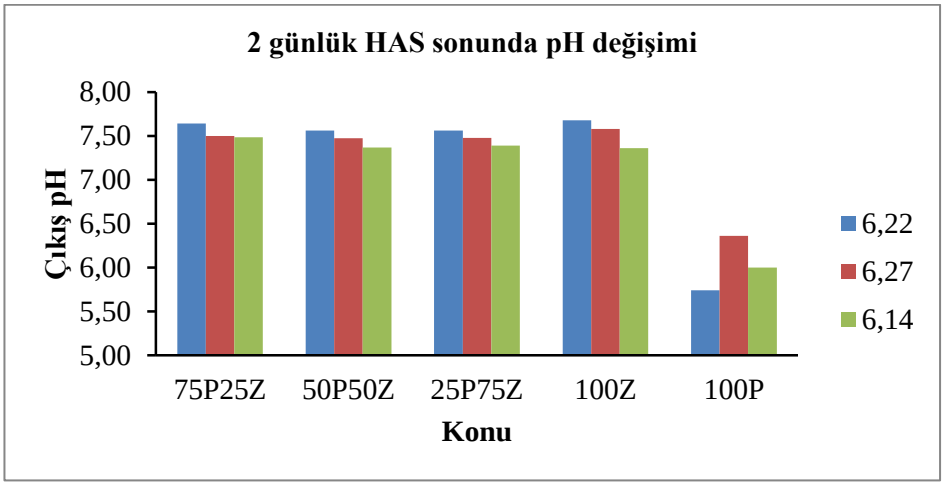


Şekil 3.5. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

Giriş konsantrasyonu ortalama pH değeri 6,21 olup 1 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda en yüksek pH değişimi 7,19 ile 100Z konusunda olmuştur. Giriş pH değerine oldukça yakın olan en düşük pH değişimi ise 6,19 ile 100P konusunda ölçülmüştür (Şekil 3.5).

Tablo 3.6. İki günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

2 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş pH	**Konu Tekerrür**	**Çıkış pH**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
6,22	**75P25Z**	7,59	7,56	7,77	7,64
	50P50Z	7,67	7,61	7,40	7,56
	25P75Z	7,63	7,56	7,49	7,56
	100Z	7,68	7,68	7,68	7,68
	100P	5,74	5,74	5,74	5,74
6,27	**75P25Z**	7,46	7,54	7,50	7,50
	50P50Z	7,49	7,46	7,48	7,48
	25P75Z	7,50	7,43	7,50	7,48
	100Z	7,58	7,58	7,58	7,58
	100P	6,36	6,36	6,36	6,36
6,14	**75P25Z**	7,46	7,42	7,57	7,48
	50P50Z	7,13	7,49	7,49	7,37
	25P75Z	7,46	7,50	7,21	7,39
	100Z	7,36	7,36	7,36	7,36
	100P	6,00	6,00	6,00	6,00

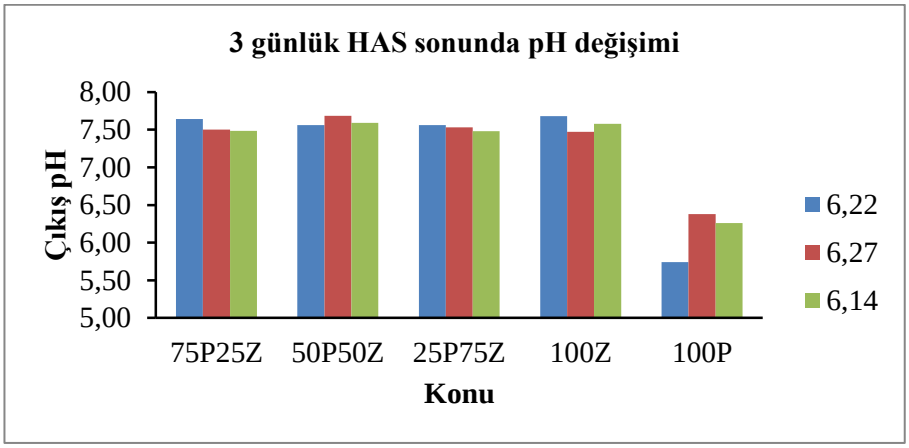


Şekil 3.6. İki günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

Zeolit-pumis karışım konularının 2 günlük alıkonma süresi sonunda 100Z ve 75P25Z konularında 7,54 ile en yüksek pH değişimi görülmektedir. En düşük pH değişimi ise 6,03 ile 100P konusunda olmuştur (Şekil 3.6).

Tablo 3.7. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

3 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş pH	**Konu Tekerrür**	**Çıkış pH**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
6,22	**75P25Z**	7,66	7,66	7,70	7,67
	50P50Z	7,98	7,62	7,66	7,75
	25P75Z	7,42	7,63	7,67	7,57
	100Z	7,58	7,58	7,58	7,58
	100P	5,58	5,58	5,58	5,58
6,27	**75P25Z**	7,46	7,38	7,66	7,50
	50P50Z	7,83	7,59	7,63	7,68
	25P75Z	7,50	7,52	7,58	7,53
	100Z	7,47	7,47	7,47	7,47
	100P	6,38	6,38	6,38	6,38
6,14	**75P25Z**	7,57	7,43	7,46	7,49
	50P50Z	7,50	7,53	7,74	7,59
	25P75Z	7,51	7,37	7,56	7,48
	100Z	7,58	7,58	7,58	7,58
	100P	6,26	6,26	6,26	6,26

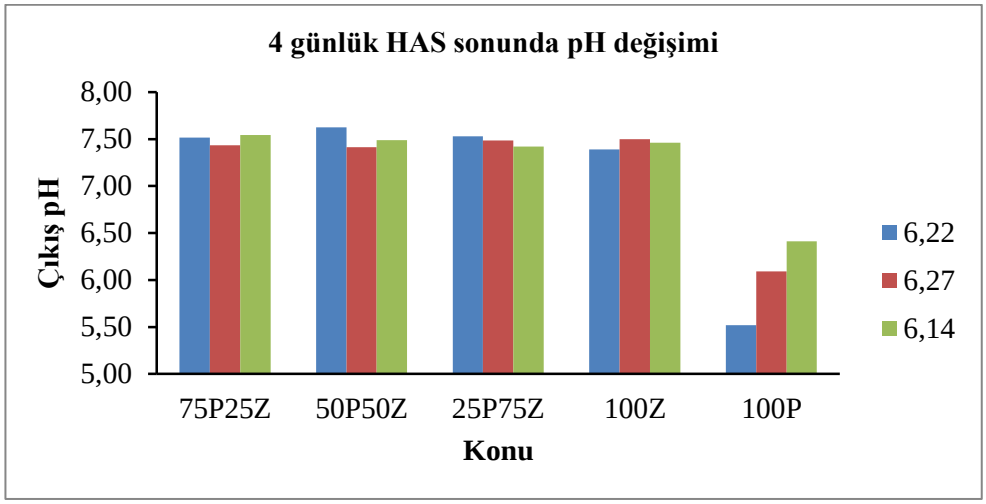


Şekil 3.7. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

Zeolit-pumis karışım konularının 3 günlük alıkonma süresi sonunda 50P50Z konularında 7,68 ile en yüksek pH değişimi görülmektedir. 100P konusunda 6,07 ile giriş pH değerinin altında en düşük pH değişimi olmuştur (Şekil 3.7).

Tablo 3.8 Dört günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi

4 Günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş pH	**Konu Tekerrür**	**Çıkış pH**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
6,22	**75P25Z**	7,49	7,51	7,55	7,52
	50P50Z	7,65	7,55	7,67	7,62
	25P75Z	7,55	7,59	7,45	7,53
	100Z	7,39	7,39	7,39	7,39
	100P	5,52	5,52	5,52	5,52
6,27	**75P25Z**	7,61	7,18	7,51	7,43
	50P50Z	7,53	7,53	7,18	7,41
	25P75Z	7,47	7,46	7,52	7,48
	100Z	7,50	7,50	7,50	7,50
	100P	6,09	6,09	6,09	6,09
6,14	**75P25Z**	7,74	7,49	7,40	7,54
	50P50Z	7,42	7,48	7,56	7,49
	25P75Z	7,49	7,41	7,36	7,42
	100Z	7,46	7,46	7,46	7,46
	100P	6,41	6,41	6,41	6,41



Şekil 3.8. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında pH değişimi.

4 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda meydana gelen pH değişimi 50P50Z konusunda 7,51 ile en yüksek olmuştur. En düşük pH değişimi 100P konusunda meydana gelmiştir (Şekil 3.8).

Zeolit-pumis malzemelerin karışım konularının 10 günlük süre sonunda pH değerleri giriş konsantrasyonuna göre artmıştır. Pumis malzeme zeolit ve diğer karışım oranlarına kıyasla oldukça düşük pH değerine sahip olmuştur. Bunun yanında 75P25Z ve 50P50Z karışım konularında pH değişimleri artmıştır. 10 gün sonunda ortalama pH değişimleri aşağıda yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır:

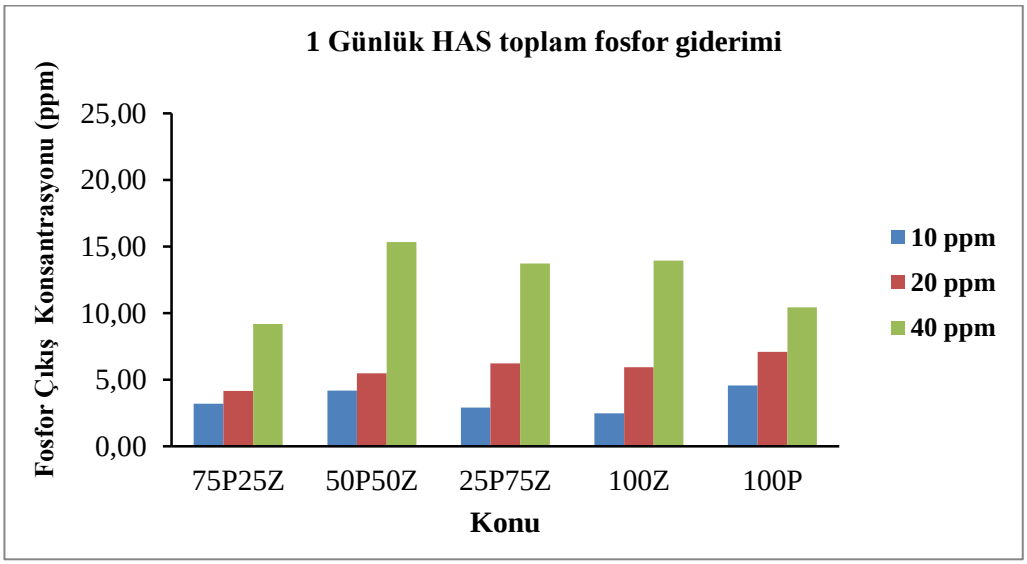
50P50Z>75P25Z>100Z>25P75Z>100P

3.2. Toplam Fosfor (TP) Sonuçları

Karışım konuları ve hidrolik alıkonma süreleri üzerine uygulanan üç farklı fosfor konsantrasyon düzeyi için giriş ve çıkış konsantrasyon değerlerinde toplam fosfor (TP) analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12'de hidrolik alıkonma sürelerine göre verilmiştir.

Tablo 3.9. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu

1 günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş fosfor konsantrasyonu (ppm)	**Konu Tekerrür**	**Çıkış fosfor konsantrasyonu (ppm)**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
10 ppm	**75P25Z**	3,01	3,54	3,06	3,20
	50P50Z	3,91	4,48	4,17	4,19
	25P75Z	2,69	3,06	3,01	2,92
	100Z	2,48	2,48	2,48	2,48
	100P	4,58	4,58	4,58	4,58
20 ppm	**75P25Z**	3,33	5,33	3,85	4,17
	50P50Z	4,38	4,48	7,59	5,48
	25P75Z	6,17	5,69	6,85	6,24
	100Z	5,96	5,96	5,96	5,96
	100P	7,10	7,10	7,10	7,10
40 ppm	**75P25Z**	12,32	11,06	4,22	9,20
	50P50Z	11,90	16,22	17,90	15,34
	25P75Z	15,01	14,38	11,85	13,74
	100Z	13,95	13,95	13,95	13,95
	100P	10,45	10,45	10,45	10,449



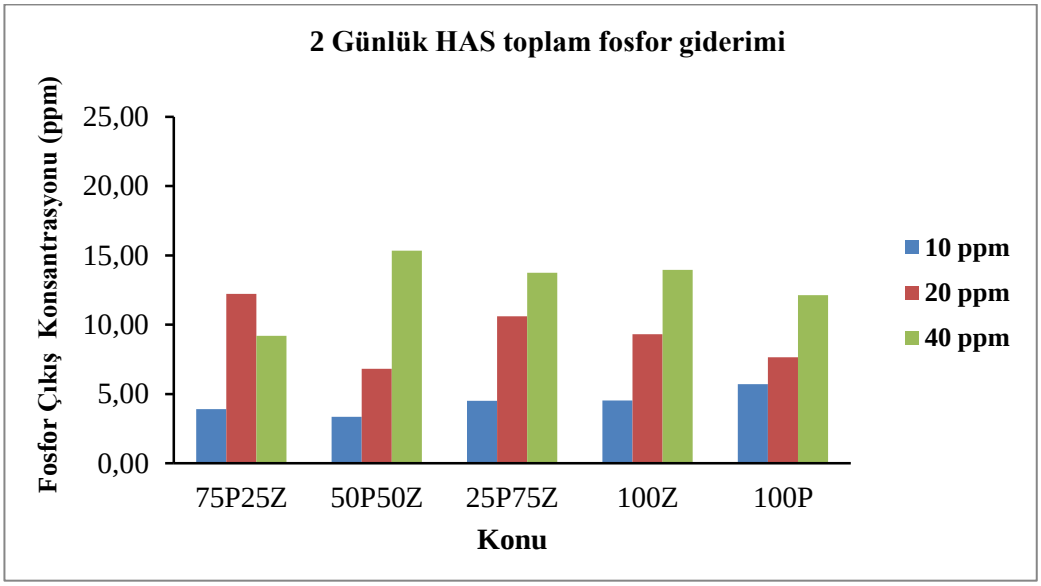
Şekil 3.9. Bir günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

Zeolit-pumis karışım konularının 1 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda giriş ve çıkış fosfor konsantrasyon miktarları yukarıda tablo 3.6'da verilmiştir. Sonuçlar en

yüksek tutulmanın 75P25Z konusunda olduğunu göstermektedir. En düşük tutulma ise 50P50Z karışım oranında gerçekleşmiş olup diğer konular da benzer performansları sergilemiştir (Şekil 3.9).

Tablo 3.10. İki günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

2 günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş fosfor konsantrasyonu (ppm)	**Konu Tekerrür**	**Çıkış fosfor konsantrasyonu (ppm)**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
10 ppm	**75P25Z**	4,48	2,75	4,48	3,90
	50P50Z	1,06	3,33	5,69	3,36
	25P75Z	2,54	5,27	5,75	4,52
	100Z	4,54	4,54	4,54	4,54
	100P	5,70	5,70	5,70	5,70
20 ppm	**75P25Z**	11,27	13,16	12,22	12,22
	50P50Z	9,43	4,22	6,82	6,82
	25P75Z	10,59	10,11	11,11	10,60
	100Z	9,32	9,32	9,32	9,32
	100P	7,66	7,66	7,66	7,66
40 ppm	**75P25Z**	12,32	11,06	4,22	9,20
	50P50Z	11,90	16,22	17,90	15,34
	25P75Z	15,01	14,38	11,85	13,74
	100Z	13,95	13,95	13,95	13,95
	100P	12,13	12,13	12,13	12,125

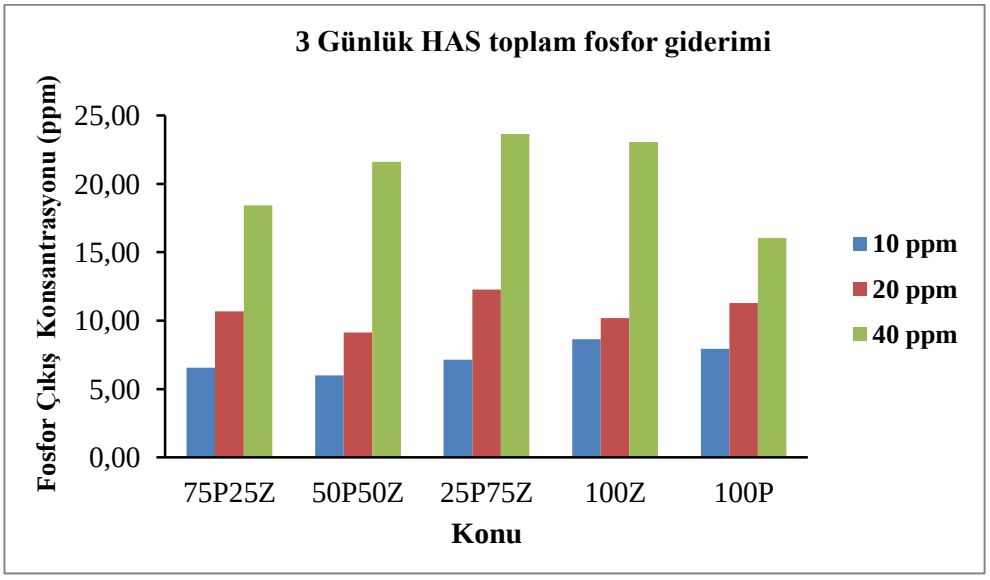


Şekil 3.10. İki günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

Zeolit-pumis karışım konularının 2 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda en yüksek tutulma 75P25Z konusunda gerçekleşmiştir. En yüksek ikinci tutulma oranı ise 100P konusunda yakalanmıştır (Şekil 3.10).

Tablo 3.11. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

3 günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş fosfor konsantrasyonu (ppm)	**Konu Tekerrür**	**Çıkış fosfor konsantrasyonu (ppm)**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
10 ppm	**75P25Z**	5,80	7,85	6,06	6,57
	50P50Z	5,27	6,06	6,67	6,00
	25P75Z	6,69	7,43	7,32	7,15
	100Z	8,64	8,64	8,64	8,64
	100P	7,94	7,94	7,94	7,94
20 ppm	**75P25Z**	10,01	13,70	8,35	10,69
	50P50Z	9,92	8,63	8,86	9,13
	25P75Z	11,67	12,50	12,64	12,27
	100Z	10,19	10,19	10,19	10,19
	100P	11,29	11,29	11,29	11,29
40 ppm	**75P25Z**	16,42	18,27	20,57	18,42
	50P50Z	22,05	20,57	22,23	21,62
	25P75Z	23,16	23,99	23,80	23,65
	100Z	23,06	23,06	23,06	23,06
	100P	16,04	16,04	16,04	16,036

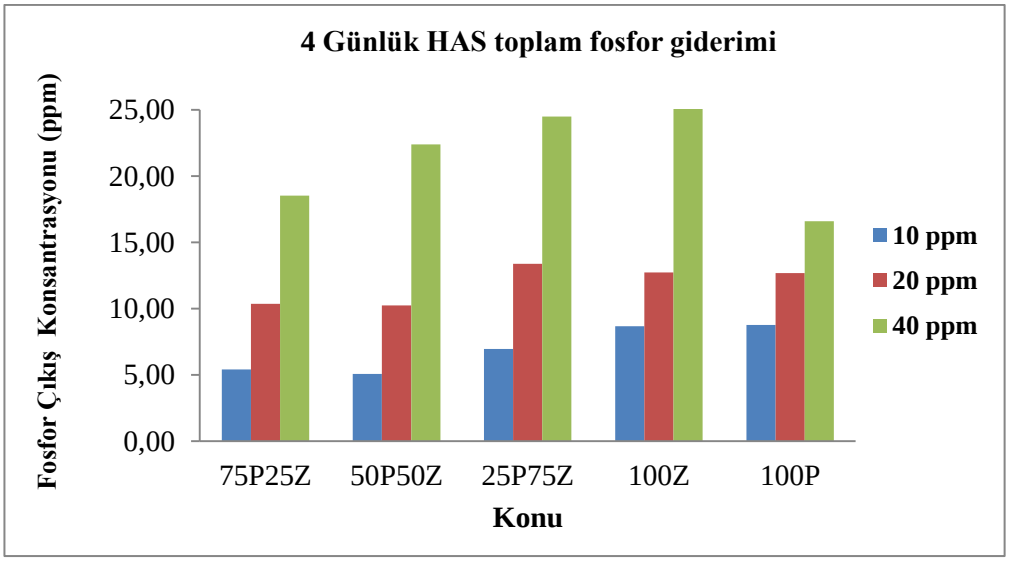


Şekil 3.11. Üç günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

Zeolit-pümis karışım konularının 3 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda en yüksek tutulma 100P konusunda gerçekleşmiştir. Tüm karışım konuları için 3 günlük HAS sonunda tutulma oranları düşmüştür (Şekil 3.11). Giriş konsantrasyon miktarları dikkate alındığında düşük giriş konsantrasyonlarında tutulma başarısı ortalama bir düzeyde iken yüksek giriş konsantrasyonlarında tutulma oranı düşmüştür.

Tablo 3.12. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

4 günlük hidrolik alıkonma süresi					
Giriş fosfor konsantrasyonu (ppm)	**Konu Tekerrür**	**Çıkış fosfor konsantrasyonu (ppm)**			
		1	**2**	**3**	**Ortalama**
10 ppm	**75P25Z**	4,52	7,10	4,61	5,41
	50P50Z	4,29	5,86	5,08	5,07
	25P75Z	6,78	6,87	7,20	6,95
	100Z	8,67	8,67	8,67	8,67
	100P	8,77	8,77	8,77	8,77
20 ppm	**75P25Z**	8,86	13,10	9,13	10,36
	50P50Z	10,43	10,06	10,24	10,24
	25P75Z	12,92	13,38	13,84	13,38
	100Z	12,73	12,73	12,73	12,73
	100P	12,68	12,68	12,68	12,68
40 ppm	**75P25Z**	19,28	19,10	17,16	18,51
	50P50Z	22,60	22,05	22,51	22,39
	25P75Z	23,43	24,91	25,09	24,48
	100Z	25,09	25,09	25,09	25,09
	100P	16,59	16,59	16,59	16,594



Şekil 3.12. Dört günlük HAS sonunda karışım konularında gerçekleşen fosfor adsorpsiyonu.

Zeolit-pümis karışım konularının 4 günlük hidrolik alıkonma süresi sonunda en yüksek tutulma 100P konusunda elde edilmiş olup ikinci en yüksek tutulma 75P25Z karışım konusunda sağlanmıştır. 100Z ve 25P75Z konularında ise en düşük tutulma gerçekleşmiştir (Şekil 3.12).

10 günlük tutulma deneyleri sonunda zeolit-pümis malzemelerin karışım konuları içinde en başarılı fosfor adsopsiyonu sırayla 75P25Z, 100P, 50P50Z, 25P75Z ve 100Z konusunda olarak elde edilmiştir.

4.BÖLÜM

SONUÇ VE TARTIŞMA

Literatürde yapay sulak alanların alt tabakalarında uygun koşullar sağlandığında atık suda daha iyi fosfor giderimi sağlandığı belirtilmektedir (Vymazal, 2002). Genel olarak sulak alanlarda fosforun tutulması, atık suyun niteliğine, hidrolik yükleme hızına, bitki kök ve ortam tipine ayrıca dolgu malzemesinin kalsiyum, alüminyum ve demir katyonlarının içeriğine bağlıdır. Yapılan çalışmalarda kireçtaşı, cüruf, çakıl, kil agregaları (LECA) ve diğer suya dayanıklı malzemeler değerlendirilmiştir (Mann, 1997; Johansson, 1997; Zhu vd., 1997). Ayrıca yüksek fırın cürufCSfu, zeolit ve killi malzemeler tek başına yada toprakla kombinasyonları halinde kullanılarak P tutma kapasiteleri artırılmıştır (Sakadevan ve Bavor, 1998). Bu sistemlerde sıklıkla kullanılan çakıl malzemenin ise fosfor tutma kapasitesi genellikle düşüktür. Kullanılan farklı malzemeler ile P tutma oranı geniş ölçüde artırılabilmektedir (Vymazal vd., 1998).

Bu çalışmada yüksek fosfor tutma oranı elde etmek amacıyla Kayseri bölgesi civarında yeterli rezervi bulunan zeolit ve pumis kullanılmak istenmiştir. Ayrıca Türkiye genelinde uygun bir fiyata doğal ve endüstriyel olarak üretimi yapılan malzemeler arasından seçilmiştir. Araştırma deneyleri için Gördes Zeolit ve Garden Pomzadan temin edilen dolgu malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri firmalardan sağlanmıştır. Ortam malzemesi olarak değerlendirilen zeolitin SiO_2, Ca, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri sırasıyla %72, %1, %13 ve %2 pumis için bu değerler %54, %14, %11 ve %3'tür. Doğal arıtımda incelenen diğer tüm kirlilik giderim verimleri arasında fosfor gideriminin en düşük orana sahip olduğunu tespit eden Vymazal (1996) bu sistemlerdeki fosfor giderim etkinliğinin artırılmasında sulak alan ortam malzemesinin Ca, Fe ve Al içeriğine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Fosforun yapay sulak alan sistemlerinde bir dolgu malzemesi tarafından adsorpsiyonu ve/veya çökeltilmesi sonlu bir süreçtir. Kullanılan malzeme doygun hale geldiğinde

yıkanması veya değiştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bir malzemenin P tutma kapasitesinin bilinmesi veya farklı malzemeler ile karşılaştırılması için temel ve pratik bir analiz gerekmektedir (Johannson, 1999; Mann, 1994). Bu amaçla uzun süreli kolon denemeleri ile malzemelerin P tutma verimleri ve kapasiteleri incelenebilmektedir. Ayrıca bu yolla ortam olarak kullanılacak malzemenin ömrü belirlenebilir, bu parametre yapay sulak alanın tasarımında oldukça önemlidir (Mann, 1994). Çalışmada kolon denemesinde (110 mm çapında ve 108 cm boyunda) toplam 30 kolon kullanılmıştır. Her biri zeolit ve pümis malzemelerin karışım oranlarında 0, 10, 20 ve 40 mg-P/L içeren sentetik çözelti (KH_2PO_4) ile yaklaşık 300 mL/kolon olarak üstten beslenmiştir.

Araştırmada iki malzemenin zeolit (Z) - pümis (P) üç farklı karışım konusunun, üç dozda fosfor giriş konsantrasyonu ve dört farklı hidrolik alıkonma süreleri sonunda toplam fosfor (TP) tutulma verimi belirlenmiştir. Giriş konsantrasyon ortalama 23,3 mg-P/L iken sırasıyla 75P25Z konusunda 9,3 mg-P/L, 50P50Z konusunda 10,4 mg-P/L, 25P75Z konusunda 11,6 mg-P/L, 100Z konusunda 11,6 mg-P/L ve 100P konusunda 10,08 mg-P/L ortalama çıkış konsantrasyonu elde edilmiştir. En yüksek P tutma oranına sahip malzeme pumis ve zeolit-pumis karışımlarında ise 75P25Z kombinasyonunda olmuştur. Farklı yerlerde yapılmış cüruf dolgulu yapay sulak alan sistemlerinde TP giderimi değerlendirilmiş ve giriş konsantrasyonu 6,8 mg-P/L olup çıkış konsantrasyon değeri 3,6 mg-P/L olarak bulunmuştur. Avusturya da ise yine aynı sistem ile 10,7 mg-P/L'den 4,0 mg-P/L'lik çıkış alınmıştır. Almanya da 15,9 mg-P/L giriş konsantrasyon değeri sistem çıkışında 4,8 mg-P/L elde edilmiştir (Vymazal vd., 1998). Bavor ve Sakadevan (1998) yapay sulak alanda dolgu malzemesi olarak iki endüstriyel yan ürün ve zeolitin fosfor adsorpsiyon kapasitelerini inceledikleri bir çalışmada, yüksek fırın cürufu (endüstriyel yan ürünlerden bir tanesi) en yüksek fosfor adsorpsiyon kapasitesine sahip olmuştur. Sırasıyla adsopsiyon kapasiteleri yüksek fırın cürufu 44,2 mg-P/kg, zeolit 2,15 g-P/kg ve yüzey toprakları 1153 ve 913 mg-P/kg olduğu tespit edilmiştir. Karimaian vd., (2013) doğal ve Mg ile zenginleştirilmiş modifiye pumisin fosfor adsopsiyon performanslarını araştırmışlardır. Araştırma sonucunda doğal pumiste maksimum fosfor adsorpsiyon kapasitesi 11,88 mg-P/g olarak bulunmuştur.

Hidrolik alıkonma süreleri dikkate alındığında 1 günlük HAS sonunda elde edilen fosfor tutulma verimi tüm karışım konularında diğer üç HAS'e kıyasla daha yüksek oranlarda olmuştur. Jing., (2002) Taiwan'da yaptıkları bir çalışmada bitki örtülü ve bitkisiz yapay

sulak alan sistemlerinin dört farklı bekletme süresi (1, 2, 3 ve 4 gün) koşullarında kirletici giderim performanslarını incelemiştir. Toplam fosfor ve azot giderimi yönünden bitkili modellerde bitkisizlere karşın daha yüksek arıtım elde edilmiş ve farklı bekletme sürelerinin toplam fosfor ve azot gideriminde en iyi verim 3 gün bekletme süresi sonunda elde edilmiştir. Ayrıca 1 gün bekletme süresi koşulunda sağlanan giderim verimlerinde önemli düşüşler gözlemlenmiştir (Jing vd., 2002). Yapay sulak alan sistemlerinde kirletici giderim performanslarının 3,5-7 gün bekletme sürelerinde ki etkinliğinin değerlendirildiği bir çalışmada, TP ve TN gideriminin 7 günden fazla bekletme sürelerinde herhangi bir verim elde edilememiştir (Huett vd., 2005).

Yapay sulak alanlardaki P adsorpsiyon kapasitesi araştırması için birçok filtre malzemesi kullanılmasına rağmen çoğu ortam ekonomik verimlilik ve gerçek alana uygulanabilme kolaylığı bakımından sınırlı olmuştur. Bu nedenle kum ve çakıl kullanıldığı araştırmalar sıkça yapılmıştır. Bununla birlikte kumun P adsorpsiyon kapasitesi bölgeye ve fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bu nedenle gerçek yerel uygulamalar için uygun filtre ortamının seçilmesine gerek olduğuna karar verilmiştir. Özellikle hem ekonomik verimliliği hemde kolaylığı sağlamak için yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip filtre ortamı seçimi oldukça önemlidir.

Yapay sulak alan sistemleri için evsel atık sularda fosfor tutulma etkinliğinin artırılmasında zeolit-pumis malzemelerin etkinliğinin araştırıldığı bu çalışma, laboratuvar ortamında filtre kolon testleri üzerinde yürütülmüştür. Çalışma sonucunda karışımda pumis malzeme oranı arttıkça fosfor giderim verimi artarken zeolit malzemenin fosfor giderim etkinliği daha düşük bulunmuştur.

KAYNAKÇA

1. Anonymous, 1995. Standard methods for the exemination of water and wastewater, American Water Works Association/American Public Works Association/Water Environment Federation, 19th Edition, USA.
2. Anonim 2006. Ulusal Kalkınma Stratejisi, Devlet Planlama Teşkilatı, (**http://sgb.tarim.gov.tr**), (Erişim Tarihi : Nisan 2018).
3. Aküzüm, A., Selenay, F. ve Çakmak, B. 2010. Sulama yönetimi ve sürdürülebilir su kullanımı, *1.Sulama ve Tarımsal Yapılar Yapılar Sempozyumu* 27-29 Mayıs, K.Maraş. Cilt:1 s. 262/278.
4. Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. 2010. Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi, *1. Ulusal Su Kaynakları Yönetimi Sempozyumu*, 20-22 Ekim, Karaman.
5. Ayaz, S. C., Akça, L., 2001. Treatment of wastewater by natural systems. Environment international, *26*(3), 189/195.
6. Ayaz, S., 2012. Türkiye Su Havzaları Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi, EUROINBO.
7. Birleşmiş Milletler Su İstatistikleri, (**http://www.unwater.org**), (Erişim Tarihi : Haziran 2018)
8. Cui, L., Zhu, X., Ma, M., Ouyang, Y., Dong, Mei, Zhu, W., Luo, S., 2008. Phosphorus Sorption Capacities and Physicochemical Properties of Nine Substrate Materials for Constructed Wetland. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 55**:210/217.
9. Çevre Denetim Raporu 2017. Yayın No:39, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (**https://ced.csb.gov.tr/**), (Erişim Tarihi : Nisan 2018).
10. Çakmak, B., Yıldırım, M., Aküzüm, T., 2003. Türkiye'de tarımsal su yönetimi, sorunlar ve çözüm önerileri, *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 215/224.
11. Çiftçi, H., Kaplan, Ş.Ş., Köseoğlu, H., Karakaya, E., Kitiş, M., 2007. Yapay sulak alanlarda atıksu arıtımı ve ekolojik yaşam, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 23** (1-2) 149/160.
12. Dağlı, S., 2007. Evsel Atıksulardan Yapay Sulak Alan Sistemleriyle Fosfor Gideriminin İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, .

13. Dağlı, S., Akça, L., 2010. Yapay sulakalan sisteminde fosfor giderimine ortam malzemesinin etkisi. **İtüdergisi/e, 17**(1).
14. Dombush, JX., 1989. Natural renovation of leachate-degraded groundwater in excavated ponds at a refuse landfill." In. In: Hammer, D.A. (Ed.), Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Chelsea, Lewis, pp. 743/752.
15. EPA, 1995. A Handbook of Constructed Wetlands, Volume 1:General Considerations, Usepa Region III with Usda, Nrcs, Isbn 0-16-052999-9.
16. EPA, 1999. Manual, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wasterwaters, EPA/625/R-99/010, U.S. Environmental Protection Acency, Cincinnati, Ohio, USA.
17. EPA, 1993. Constructed wetlands for wastewater treatment and wild life habitat: 17 Case Studies. United States Environmental Protection Agency, EPA832-R-93-005.
18. EPA, 1998. National Water Quality Inventory United States Environmental Protection Agency, U.S.A.
19. Garcia, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang,Y., Ortiz, L., Bayona, J.M., 2004. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater, **Water Research, 38**,1669-1678.
20. Garden Pomza, 2010. Properties of pumice, garden pomza manufacture and trade. Develi, Kayseri, Turkey, (**www.gardenpomza.com**), (Erişim Tarihi : Ocak 2018)
21. Gökalp, Z., Çakmak, B., 2015. Atık su arıtmada yapay sulak alan teknolojileri ve uygulamada karşılaşılan sorunlar. *1. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi*, 9/11.
22. Gökalp, Z., Başaran, M., Uzun, O., 2011. Compaction and Swelling Characteristics of Sand-Bentonite and Pumice-Bentonite Mixtures, 46(3): 449/459.
23. Ayaz S.,Tüfekçi H., 2007. Eğirdir gölü havzasında gelen dost ve yaka yerleşim birimlerinin evsel atıksularının doğal arıtma teknolojileriyle arıtımı, *TUBİTAK-Kimya ve Çevre Enstitüsü(KÇE), Teknik Rapor.*
24. Hammer D. A., 1989. Constructed Wetlands for Watewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, Cheselsa, MI.

25. Hosomi, M., Murakami, A., and Sudo, R., 1994. A four year mass balance for a natural wetland system receiving domestic wastewater, **Wat. Sci. Tech., 30**(8), 235/244.
26. Kadlec, H.R., and Knight, R.L., 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publisher. FL. USA.
27. Karimaian, K. A., Amrane, A., Kazemian, H., Panahi, R., & Zarrabi, M., 2013. Retention of phosphorous ions on natural and engineered waste pumice: Characterization, equilibrium, competing ions, regeneration, kinetic, equilibrium and thermodynamic study. **Applied Surface Science, 284**, 419/431.
28. Korkusuz, E.A., Beklioğlu, M., Demirer, G.N., 2004. Treatment efficiencies of the vertical flow pilot-scale constructed wetlands for domestic wasterwater treatment, **Tubitak Turkish Journal of Engineering and Enviornmental Sciences, 28**: 333/344.
29. Maden Tetkik ve Araştırma Genel Müdürlüğü. MTA. (**http://www.mta.gov.tr**), (Erişim Tarihi: Nisan 2018)
30. Mann, R.A., 1994. Phosphorus Removal in Constructed Wetlands: Substratum adsorption, Pergamon Press, Oxford, pp.97/105.
31. Masi, Fabio, 2005. Training Course Notes on Constructed Wetlands, MRC-Gebze, Kocaeli, Turkey, 01-04 July.
32. Masscheleyn, P. H., J. H. Pardue, R. D. DeLaune, and W. H. Patrick, Jr., 1992. Phosphorus release and assimilatory capacity of two lower Mississippi Valley freshwater wetland soils, **Wat. Res. Bul., 28**, 763/773.
33. MetCalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Dispoasl, Resuse. McGraw-Hill, New York, NY.
34. Mokry, L., W. Frossard, D. Andrews, A. Plummer, Jr. and J. Mancini, 1998. Use Of Constructed Wetlands To Supplement And Protect A North Central Texas Water Supply, Unpublished report, Alan Plummer Assoc. Inc. Arlington, Texas.
35. Njau, K.N., Minja, R.J., Katima, J.H., 2003. Pumice Soil: A Potential Wetland Substrate for Treatment of Domestic Wastewater, **Water Science and Technology, 48**(5):85/92.
36. Onar, A. N., Öztürk, B., 1993. Adsorption of Phosphate onto Pumice Powder, **Environmental Technology, 14**: 11, 1081/1087.

37. Ran, N., Agami, M. and Oron, G., 2004. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (Lemna gibba L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel, **Water Res. 38**(9), 2241/2248.

38. Reedy, K.R. and DeAngelo, E.M., 1994. Soil processes regulating water quality in wetlands, ın global wetlands, Old World and New (ed. W. Mitsch), Armsterdam, The Netherlands: Elsevier.

39. SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı.

40. Sakadevan, K., H. J. Bavor., 1998. Nutrient removal mechanisms in Constructed Wetlands, Water Resarch, 32, No:2, 393/399.

41. Saraçoğlu, G., 2008. Kırsal kesim atıksu arıtma sistemleri için geliştirilebilir yenileme teknolojileri–Durum Çalışması Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü.

42. Tanner, C.C., Sukias, J.P.S., M.P. Upsdell, 1999. Substratum phosphorus accumulation during maturation of gravel-bed constructed wetlands, **Wat.Sci. and Tech., 40**, No:3, 147/154.

43. Tunçsiper, B., Akça, L., 2011. Pilot ölçekli bir yapay sulakalan sisteminin arıtma performansının incelenmesi. **İtüdergisi/d, 5**(3).

44. TÜBİTAK 2002. Su Yönetimi ve Sürdürülebilir Kalkınma. Vizyon 2023: *Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli.*

45. Türkiye İstatistik Kurumu . Belediye Atıksu İstatiskileri, 2016. (**http://tuik.gov.tr**), (Erişim Tarihi: Mayıs 2019).

46. Türkman A.,Aslan Ş., Ege İ., 2001. Doğal zeolitlerle atıksulardan kurşun giderimi, **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 3**.

47. Stephenson, M., Turner, G., Pope, P., Colt, J., Knight, A., Tchobanoglous, G., 1980. The use and potential of aquaitc species for wastewater treatment, Appendix A: The environmental requirements of aquatic plants, Publication No.65, California State Water Resources Control Board, Sacramento.

48. Van Lier, J. B., Lettinga, G., 1999. Appropriate technologies for effective management of industrial and domestic waste waters: the decentralised approach. **Water Science and Technology, 40**(7), 171/183.

49. Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Haberl, R., Perfler, R., Laber, J., 1998. Removal mechanisms and types of constructed wetlands.

50. WWAP (World Water Assessment Programme) 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO.
51. Yavuz, M., Gode, F., Pehlivan, E., Ozmert, S., Sharma, Y.C., 2008. An Economical Removal of Cu+2 and Cr+2 on the New Adsorbents: Pumice and Polyacrylonitrile/pumice Composite, **Chemical Engineering Journal 137**:453/461.
52. Yetik, S., 2008. Atıksuların yapay sulakalanlarda arıtımının incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Fatma AKÇAKOCA
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 24.02.1995 - Kayseri
Medeni Durum: Bekar
e-mail: ftmaakcakoca@gmail.com
Yazışma Adresi: Fatma AKÇAKOCA

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2019
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2016
Lise	İncesu Anadolu Lisesi, Kayseri	2012

YABANCI DİL

İngilizce (iyi)