
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

EVSEL ATIKSU ARITIMDA YAPAY SULAK ALAN ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÖNERİLER

Eyüp Sabri YİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2022

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Eyüp Sabri YİĞİT

23/06/2022

EVSEL ATIKSU ARITIMDA YAPAY SULAK ALAN ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÖNERİLER

(Yüksek Lisans Tezi)

Eyüp Sabri YİĞİT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Sürdürülebilir atık su yönetimi uygulamaları, düşük sermaye, enerji tüketimi ve mekanik teknoloji gereksinimleri ile ilgili olmalıdır. Evsel atıksu arıtımında basit, ekipmanı kompleks olmayan, çıktıları ekonomik değere sahip ve kullanılabilen, ilk yatırım ve işletme maliyeti düşük olan uygun teknolojilerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, sulak alan arıtma sistemleri, ilk yatırım maliyeti düşük, bakım ve işletme kolaylığı nedeniyle, özellikle küçük yerleşimler için geleneksel arıtma sistemlerine verimli teknik alternatifler olabilir. Bu sitemler, düşük su derinliği, oluşan bitki örtüsü ve doğal ekosistemlerde bulunan ortamı taklit eden yerinde toprak kullanımı olarak tanımlanmıştır. Bitkiler, mikroorganizmalar, su, toprak ve güneş ışığını içeren çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle sistemde yer alır. Sulak alanlarda büyük bekletme sureleri arıtma verimini artırmaktadır. Ülkemizde bu tür sistemleri projelendirme, inşaat, işletme sırasında yapılan çeşitli hatalar sebebi ile etkin bir şekilde işletilememekte ya da çalışır durumda bulunmamaktadır. Yapay sulak alan tesislerinde ortaya çıkan problemlerin çözümü olarak detaylı ve dikkatli bir projelendirme aşaması, proje dosyasına uyularak gerçekleştirilen bir inşaat aşaması ve gerekli analizlerin, gözlemlerin ve iyileştirmelerin yapıldığı işletme aşaması birçok sorunun ortaya çıkmasını önleyecektir. Tezde, evsel atıksular için yapay sulak alanlar, avantaj ve dezavantajları, tasarım ve işletme problemlerinin değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Tez kapsamında evsel atık sular için yapay sulak alanlar, avantaj - dezavantajları, tasarım ve işletme problemleri incelenerek, Kazımkarabekir (Karaman) ilçesi yapay sulak alan atıksu arıtma tesisi, 2049 proje nüfusu 3 000 kişi, atıksu debileri (Q_{max}: 504 m^3/gün, Q_{proje}: 480 m^3/gün) hesaplanarak ön arıtım üniteleri ve yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alan sistemi yeniden tasarlanmıştır.

Bilim Kodu : 90301
Anahtar Kelimeler : Yapay sulak alan, atıksu, arıtma, tasarım ve işletme sorunları
Sayfa Adedi : 97
Danışman : Prof. Dr. Birol KAYRANLI

PROBLEMS AND RECOMMENDATIONS FACED IN ARTIFICIAL WETLAND WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS IN DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT

(M. Sc. Thesis)

Eyüp Sabri YİĞİT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

Sustainable wastewater management practice should be related to low capital cost, energy consumption, and mechanical technology requirements. For the treatment of domestic wastewater, it is of great importance to develop the appropriate technologies that are simple, noncomplex equipment, whose outputs have economic value, and have low initial investment and operating costs. Therefore, constructed wetlands can be technical alternatives to other treatment systems, especially for small local authorities, due to their low costs, maintenance, and ease of operation. The constructed wetland has been described as low water depth, vegetation, and the use of soils, mimic those found in natural ecosystems. Wastewater treatment takes place in the system with various biological chemical and physical processes involving plants, sunlight water, microorganisms, and soil. The existing constructed wetlands treatment systems in our country cannot be operated efficiently or are not in working condition due to various problems made during the projecting, construction, and operation phases. As a general solution to the problems encountered in constructed wetlands treatment systems, a detailed and careful project design phase, a construction phase carried out in accordance with the project file, and the operation phase where the necessary analyses, observations, and improvements are carried out will prevent the emergence of many problems. This thesis focuses on describing the constructed wetlands, advantages and disadvantages, design and operation problems, and design approach for domestic wastewaters. Within the scope of the thesis, investigating constructed wetlands treating domestic wastewater, advantages - disadvantages, design, and operation problems were described, Kazımkarabekir (Karaman) district constructed wetlands treatment system, 2049 project population 3 000 people, flow rates (Qmax: 504 m^3/day, Qproje: 480 m^3/day), pre-treatment units and constructed wetland system with the horizontal subsurface flow were redesigned.

Science Code : 90301
Key Words : Constructed wetland, wastewater, treatment, design and operation problems
Page Number : 97
Supervisor : Prof. Dr. Birol KAYRANLI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamızın temelini oluşturan Kazımkarabekir (Karaman) Atıksu Arıtma Tesisi Proje Raporu'nu paylaştıkları için İLBANK A.Ş. Müdür Aylin EFENDİOĞLU'na, tez konumun belirlenmesi ve tez çalışmalarının her aşamasında değerli yardımını, ilgisini esirgemeyen; bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak bana destek olan ve katkılarıyla çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Sayın Birol KAYRANLI'ya, tez çalışmam boyunca maddi ve manevi olarak beni her zaman destekleyen değerli aileme ve dostlarıma en içten duygularımla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLERİN LİSTESİ xiii

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

HARİTALARIN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ 3

2.1. Stabilizasyon Havuzları 4

2.2. Arazi Üzerinde Akıtma Sistemi 5

2.3. Yer Altına Sızma 6

2.4. Doğal Sulak Alanlar 6

2.5. Yapay Sulak Alanlar 7

2.5.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar (SYAYSA) 9

2.5.2. Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (YAYSA) 10

3. YAPAY SULAK ALANLARDA GİDERİM MEKANİZMALARI 15

3.1. AKM Giderimi 16

3.2. $BOİ_5$ Giderimi 16

3.3. Azot Giderimi 17

3.4. Fosfor Giderimi 20

Sayfa

3.5. Patojen Giderimi 22

3.6. Toksik ve Ağır Metal Giderimi 23

4. YAPAY SULAK ALANLARDA KULLANILAN BİTKİ TÜRLERİ VE SEÇİMİ 25

4.1. Batık Su Bitkileri 26

4.2. Köklü Su Bitkileri 26

4.3. Yüzücü Su Bitkileri 27

5. YAPAY SULAK ALANLARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI 31

5.1. Yapay Sulak Alanların Avantajları 31

5.2. Yapay Sulak Alanların Dezavantajları 31

6. YAPAY SULAK ALANLAR İÇİN YER SEÇİMİ VE TASARIMI 33

6.1. Ön Arıtım İhtiyacı ve Seçenekleri 33

6.1.1. Izgaralar 33

6.1.2. Foseptik 33

6.2. Topoğrafya 34

6.3. Zemin 34

6.4. Arazi Kullanımı 35

6.5. Arazi Hazırlama 35

6.6. Besleme Pompa İhtiyacı 35

6.7. Taban İzolasyonu 35

6.8. Bitki Seçimi 36

6.9. İklim 36

6.10. Taşkın Kontrolü 37

6.11. Giriş ve Çıkış Yapısı 37

Sayfa

6.12. Dolgu Malzemesi İçeriği ve Seçimi 38

6.13. Dizayn Parametreleri 41

6.13.1. Hidrolik bekletme süresi 42

6.13.2. Su derinliği 42

6.13.3. $BOİ_5$ yükleme hızı 42

6.13.4. Hidrolik yükleme hızı 43

6.13.5. Yüzey alanı 43

7. YAPAY SULAK ALANLARDA İŞLETME-BAKIM VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER 45

7.1. Yapay Sulak Alanlarda İşletme ve Bakım 45

7.2. Yapay Sulak Alanlarda Karşılaşılan Bazı Problemler ve Çözümleri 46

8. MATERYAL VE YÖNTEM 51

8.1. İnceleme Alanının Türkiye'deki Yeri 51

8.2. İnceleme Alanının Tanıtılması 51

8.3. Yörenin Topoğrafik Yapısı 52

8.4. Ulaşım İmkanları 53

8.5. İklim Özellikleri ve Meteorolojik Veriler 53

8.6. Yörenin Tarihi ve Turistik Yapısı 53

8.7. Yöredeki Endüstri Kuruluşları ve Ekonomi 54

8.8. Doğal Su Kaynakları ve Alıcı Ortam Özellikleri 55

8.9. Mevcut İçme Suyu ve Tesis Durumu 55

8.10. Mevcut Kanalizasyon İnşaatının Durumu 56

8.11. Jeoloji 56

8.12. Deprem Durumu 56

Sayfa

8.13. Kazımkarabekir Yapay Sulak Alan Atıksu Arıtma Tesisi Proje Hesapları ve Güncel Verilerle Tekrar Hesaplamaları 57

8.13.1. Nüfus hesapları 57

8.13.2. Debi, atıksu konsantrasyonu ve kirlilik yükü hesaplamaları 66

8.13.3. Foseptik ve ızgara hesaplamaları 71

8.13.4. Yüzey altı akışlı yapay sulak alan tasarımı 78

9. TARIŞMA VE BULGULAR 87

10. SONUÇ VE ÖNERİLER……. 89

KAYNAKLAR 91

ÖZGEÇMİŞ 97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Kirletici giderim mekanizmaları 15

Çizelge 3.2 Yapay sulak alanlarda azot dönüşüm süreçleri 18

Çizelge 3.3 Azot dönüşüm süreçlerinin gerçekleşme oranları 18

Çizelge 3.4. Fosfor giderim mekanizmaları gerçekleşme oranları 22

Çizelge 6.1. Yapay sulak alanlar için tipik boyutlandırma değerleri 41

Çizelge 8.1. Çevre merkezlere olan karayolu uzaklıkları 53

Çizelge 8.2. Kazımkarabekir alan kullanımı 55

Çizelge 8.3. Kazımkarabekir ilçesi su kaynakları 55

Çizelge 8.4. 2008-2014 yıllara göre adrese dayalı nüfus sayım sonuçları 57

Çizelge 8.5. Tasarım esnasında nüfus hesap sonuçları 58

Çizelge 8.6. 2008-2019 yıllara göre adrese dayalı nüfus sayım sonuçları 59

Çizelge 8.7. Aritmetik artış katsayısı değerleri 60

Çizelge 8.8. Aritmetik nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri 60

Çizelge 8.9. Geometrik artış katsayısı değerleri 61

Çizelge 8.10. Geometrik nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri 62

Çizelge 8.11. Eksponansiyel artış katsayısı değerleri 62

Çizelge 8.12. Eksponansiyel nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri 63

Çizelge 8.13. İller Bankası artış katsayısı değerleri 64

Çizelge 8.14. İller Bankası nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri 65

Çizelge 8.15. Hesaplanan nüfus sonuçları 65

Çizelge 8.16. Tasarımda kabul edilen kirlilik konsantrasyonları ve kirlilik yükleri 67

Çizelge 8.17. Tasarımda kabul edilen foseptik-YSA giderim verimleri ve beklenen çıkış suyu konsantrasyonları 67

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 8.18. Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi..... 67

Çizelge 8.19. Nüfusa bağlı olarak n1 sabiti değişimi 68

Çizelge 8.20. Güncel veriler ile hesaplanan debiler 69

Çizelge 8.21. Güncel veriler ile hesaplanan atıksu konsantrasyonları ve kirlilik yükleri..... 71

Çizelge 8.22. Güncel veriler için kabul edilen foseptik-YSA giderim verimleri ve belenen çıkış suyu konsantrasyonları..... 71

Çizelge 8.23. Güncel veriler ile hesaplanmış foseptik değerleri 75

Çizelge 8.24. Güncel veriler ile hesaplanmış ızgara değerleri..... 78

Çizelge 8.25. Yüzey altı akışlı sulak alan sistemleri için tipik ortam karakteristikleri . 79

Çizelge 8.26. Tasarımında kullanılan ve hesaplanan değerler..... 82

Çizelge 8.27. Güncel veriler için kullanılan ve hesaplanan değerler..... 85

ŞEKİLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1 Stabilizasyon havuzlarında arıtma mekanizması 4

Şekil 2.2 Arazi üzerinde akıtma sistemi 5

Şekil 2.3 Yeraltına sızdırma 6

Şekil 2.4 Atıksu arıtımı için yapay sulak alanları içeren bazı seçenekler 8

Şekil 2.5 Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlarda akış şeması 9

Şekil 2.6. Yeraltı akışlı yapay sulak alanın temel bileşenleri 10

Şekil 3.1. Kirletici giderim mekanizmaları 17

Şekil 3.2. Yapay sulak alanlarda fosfor döngüsü 21

Şekil 3.3. Sulak alanlarda ağır metal uzaklaştırma mekanizması 23

Şekil 6.1. Dört gözlü foseptik kesiti 34

Şekil 6.2. Yatay akışlı yapay sulak alanlarda dolgu malzemesi kesiti 38

Şekil 6.3. Onurem - Cowsim deney düzeneği 40

Şekil 8.1. Nüfus projeksiyonları 66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1 Stabilizasyon havuzu 5

Resim 2.2 Sapanca gölü doğal sulak alanı 7

Resim 2.3. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan 9

Resim 2.4. Düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alan 12

Resim 4.1. Su kamışı bitkisi görseli 27

Resim 4.2. Saz otu bitkisi görseli 28

Resim 4.3. Su sümbülü bitkisi görseli 28

Resim 4.4 Su mercimeği bitkisi görseli 29

Resim 4.5. Su eğreltisi bitkisi görseli 29

Resim 4.6. Japon şemsiyesi bitkisi görseli 30

Resim 6.1. Izgara çubukları geniş olan sistemde borunun tıkanması 33

Resim 6. 2 Yapay sulak alan giriş yapıları (a)yatay akışlı (b)düşey akışlı 37

Resim 6.3. Uygun yatak medya malzemesi 39

Resim 6.4. Uygun olmayan yatak medya malzemesi 39

Resim 7.1. Filtre malzemesi tıkanması kaynaklı göllenme gözlenen YSA 48

Resim 7.2. Foseptik veya baca tıkanıklığı gözlenen YSA 48

Resim 7.3. Bitkilendirilmesi yapılmamış, bitki hasadı yapılmamış YSA 49

Resim 7.4. Büyükoba yapay sulak alanı 49

Resim 7.5. Gökçehüyük yapay sulak alanı 49

Resim 7.6. Çavdar yapay sulak alanı 50

Resim 8.1. Kale kapısı 54

Resim 8.2. Paşa karpuzu 54

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 8.1. İnceleme alanının Türkiye'deki yeri 51

Harita 8.2. Karaman ili deprem haritası 57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde
<	Küçüktür
∝	Porozite
A	Kanal akış kesit alanı
Ac	Yatağın en kesit alanı
As	Yatağın yerleşim alanı
Asp	Spesifik alan
b	Kanal genişliği
C	Izgara sabit değeri
cm	Santimetre
Co	Giriş BOİ konsantrasyonu
Cs	Çıkış BOİ konsantrasyonu
d	Çubuk kalınlığı
e	2.7182 değeri
gr	gram
H	Hava payı
h	Yükseklik
ha	Hektar
Hk	Yük kaybı
hsu	Açık kanalda su yüksekliği
j	Eğim
K	Izgarada yatay açıklığı
K_{20}	20 °C'deki geçirgenlik sabiti
Ka	Aritmetik artış katsayısı
$K_{BOİ}$	BOİ sabiti
kg	Kilogram
Kg	Geometrik artış katsayısı

Simgeler	Açıklamalar
km	Kilometre
km^2	Kilometrekare
Ks	Hidrolik iletkenlik
Kt	10 °C'deki geçirgenlik sabiti
L	Uzunluk
l	Litre
$LBOİ_5$	BOİ yükleme hızı
Lw	Hidrolik yükleme hızı
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
mg	miligram
mm	Milimetre
n	Baz nüfus yılı ile tahmin yılı arasındaki zaman farkı
η	Beton pürüzlülük katsayısı
N	Nüfus
η	Izgara çubuk sayısı
n1	Debideki nüfusa bağlı zaman sabiti
N1	Seçilen t1 zamandaki nüfus
n2	Proje debisindeki nüfusa bağlı zaman sabiti
N2	Seçilen t2 zamandaki nüfus
n3	Minimum debideki nüfusa bağlı zaman sabiti
n4	Minimum debideki nüfusa bağlı zaman sabiti
Ng	Gelecekteki nüfus
No	Baz nüfus değeri
Ø	Çap
^oC	Derece santigrat
P	İller bankası nüfus artış katsayısı
Q	Debi
q	Kişi başı atık su oluşumu
Qev	Evsel atık su debisi
Qevmax	Maksimum evsel atık su debisi

Simgeler	Açıklamalar
Qmax	Maksimum atık su debisi
Qmin	Minimum atık su debisi
Qort	Ortalama debi
Qproje	Proje atık su debisi
Qsanayi	Sanayi atık su debisi
Qyağmur	Yağmur suyu debisi
r	Eksponansiyel artış katsayısı
R	Hidrolik yarıçap
sa	Saat
sn	Saniye
ß	Izgara çubuk şekil faktörü
T	Atıksuyun yataktaki alıkonma süresi
t	Sıcaklık
t	Zaman
V	Hız
V1	Çubuklar arası maksimum su hızı
V2	Izgara kanalında maksimum su hızı
Vızg	Izgara çubukları arasındaki su hızı
Vyak	Yaklaşım kanalındaki hız
w	Çubuklar arası boşluk
W	Izgara serbest genişliği
X	Izgara abak değeri
$\mathcal{V}$	Hacim
$\mathcal{W}$	YSA yatak genişliği

Kısaltmalar	Açıklamalar
AKM	Askıda katı madde
ANAMNOX	Anaerobik Amonyum Oksidasyonu
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
BOİ$_5$	Beş günlük biyolojik oksijen ihtiyacı
BOİu	Birinci kademe nihai biyokimyasal oksijen ihtiyacı

Kısaltmalar	Açıklamalar
DIP	Çözünebilir inorganik fosfor
DOP	Çözünebilir organik fosfor
DYAYSA	Düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
N_2	Diazot
N_2O	Nitröz oksit
N_2O_4	Nitrik oksit
NH_3	Amonyak
NH3-N	Amonyak azotu
NH_4+	Amonyum
NO_2	Nitrit
NO_3	Nitrat
PIP	Çözünmez inorganik fosfor
POP	Çözünmez organik fosfor
PPE	Polifenilen Eter
PVC	Polivinil klorür
SYAYSA	Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan
TN	Toplam azot
TP	Toplam fosfor
UV	Ultraviyole
YAYSA	Yüzey altı akışlı yapay sulak alan
YSA	Yapay sulak alan
YYAYSA	Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar

1. GİRİŞ

Ülkemizde su kaynaklarının korunması konusunda hassasiyetin artması ile atıksu arıtımı her geçen gün artmakta ve büyük yerleşim alanlarının çoğunluğunda atıksu arıtma tesisleri işletilmekte veya yapım aşamasındadır. Ancak küçük yerleşim alanlarında arıtma tesisleri, ilk yatırım finans gereksinimi, teknik personel yetersizliği, uygun arıtım teknolojilerin belirlenmemesi vb. sebepler nedeniyle yapılamamakta veya sağlıklı işletilememektedir.

Bu nedenle, küçük yerleşim alanlarından kaynaklanan arıtılamayan atıksular su kirliliği sorunu oluşturmakta ve bu yerleşim yerlerinde atıksuların arıtılamaması nedeniyle ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu ortaya çıkan koku ve görsel sorunlar, ülke ekonomisine katkı sağlayabilecek küçük turistik alanların cazibelerini yitirmelerine ve kırsal kalkınmanın önüne dolaylı bariyer olmasına sebep olmaktadır [1].

Eş değer nüfusu 2 000'inin altında olan yerleşimlerin atık sularının arıtımı için kullanılan arıtma sistemleri küçük arıtma sistemleri sınıfında olup, bu tür yerleşim yerlerinde uygulanabilecek arıtma sistemleri, üç değişik tipte toplanmaktadır. Bunlar; doğal arıtma sistemleri, geleneksel arıtma sistemleri ve her ikisinin de birlikte uygulandığı sistemleridir [2].

Doğal arıtma sistemleri ekonomik ve basit olmaları sebebi ile son zamanlarda en çok gündeme gelen arıtma alternatifidir. Doğal arıtma sistemlerinin bazı çeşitleri yeraltına sızdırma, stabilizasyon havuzları, arazide arıtma, doğal ve yapay sulak alanlardır (YSA) [3].

Yapay sulak alan tesisleri dolgu malzemesi, bitkiler ve mikroorganizmalar vb. unsurlar ile atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden yararlanılarak arıtıldığı düşük enerji maliyetli ekolojik ve basit sistemlerdir. Bu sistemler, dışarıdan kimyasal madde eklenmesine ihtiyaç duymaması ve düşük enerji ihtiyacının yanı sıra inşaat işleri bakımından da ekonomiklerdir. Bunu yanı sıra çıkış suyun tarımsal sulamada kullanılabilmesi ve arıtımda kullanılan bitkilerden hayvan yemi, çeşitli eşya yapımında faydalanılabilmesi de söz konusudur. Fakat geleneksel atıksu arıtma tesislerine oranla yüksek alan ihtiyaçları bulunmaktadır [4].
Yapay sulak alan tesisleri ile atıksu arıtımında BOİ (Biyolojik oksijen ihtiyacı), AKM (Askıda katı madde), NH3-N (Amonyak azotu) ve TP (Toplam fosfor) gibi parametrelerin

giderimi yapılabilmekte ve yüksek çıkış suyu kalitesine ulaşılabilmektedir. Arıtma verimleri, sulak alanın tasarımı ve türüne, iklime, bitki çeşidine ve mikrobiyal yapı gibi birçok faktöre bağlıdır [5].

Çeşitli üstünlükleri nedeni ile son yıllarda atıksu arıtımın da yapay sulak alanların kullanımı artmaktadır. Projelendirme, inşaat ve işletme aşamalarında gerekli özen gösterildiği taktirde düşük maliyet ile yüksek ağır metal ve organik madde giderimleri sağlanabilmektedir. Bu tür sistemler kullanılarak pek çok yerleşimin veya endüstriyel tesisin atıksu arıtma sorunu oldukça ekonomik bir biçimde çözülebilir. Özellikle arazini ucuz ve geniş olduğu konumlarda yapay sulak alan ile atıksu arıtımı ekonomiktir. Fakat projelendirme, inşaat ve işletme aşamalarında gerçekleştirilen çeşitli hatalar ve uygulamalar neticesinde yapay sulak alan tesislerinde istenilen sonuçlar alınamamaktadır.

2. DOĞAL ARITIM SİSTEMLERİ

Doğal arıtım; doğal malzemelerin ve yöntemlerin kullanıldığı atıksu arıtma işlemlerinin genel ismidir.

Doğal bir çerçevede su, toprak, atmosfer, mikroorganizmalar ve bitkilerin etkileşimi ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler gerçekleşmektedir. Doğal arıtma sistemleri bu süreçlerden faydalanarak atıksu arıtımı gerçekleştirmektedir [1,6].

Doğal arıtma sistemleri, doğal sistemler için eşsiz olan bitki alımı, fotooksidasyon, fotosentez gibi süreçlerin yanı sıra filtrasyon, sedimantasyon, adsorpsiyon/absorpsiyon, gaz transferi, iyon değiştirme, kimyasal oksidasyon ve redüksiyon, kimyasal çökeltme ve biyolojik bozunma gibi bitkili ve mekanik arıtma mekanizmalarının çoğunu kapsamaktadır. Atıksu arıtımında kullanılabilecek biyolojik sistemlerden en ekonomik ve ekolojik olanı doğal arıtma sistemleridir [1,7].

Atıksu arıtımında kullanılan doğal arıtım sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Arazi üzerinde akıtma,
- Stabilizasyon havuzları,
- Yeraltına sızdırma,
- Doğal sulak alanlar,
- Yapay sulak alanlar.

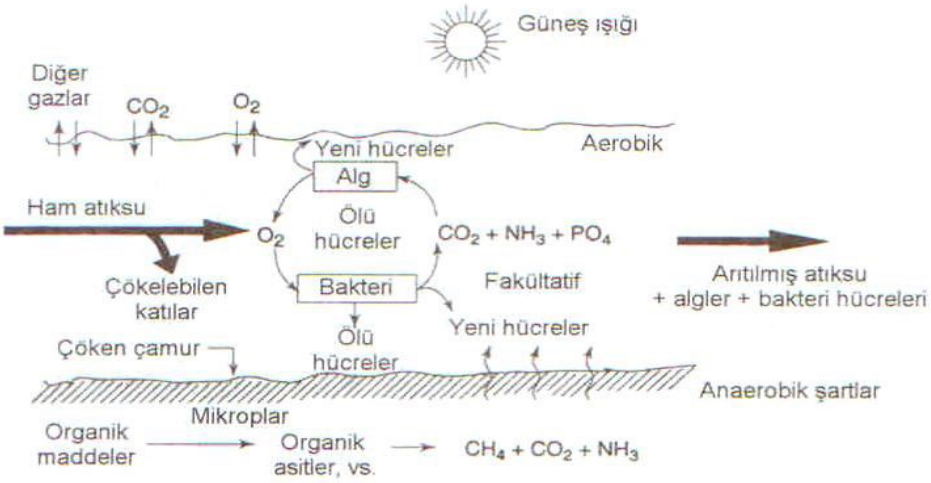
Doğal arıtım sistemleri çoğunlukla doğal yapıya fazla müdahale edilmeden oluşturulan sistemlerdir. Bu sistemlerde ayrı reaktör veya tanklarda enerji girişi sonucu proses hızları artırılmış sistemlerin tersine doğal hızlarda ve tek bir ekosistem reaktöründe eş zamanlı olarak meydana gelmeye eğilimlidirler. Bu neden ile geniş alan ihtiyaçları vardır. Ayrıca yer altı suyunu kirletme ihtimalleri bulunmaktadır. Bu ihtimalin ortadan kaldırılabilmesi sebebi ile daha kontrollü şartlara sahip yapay sulak alanlar geliştirilmiştir [8].

2.1. Stabilizasyon Havuzları

Stabilizasyon havuzlarını temel olarak üç grupta sınıflandırılırlar. Bunlar;

- Aerobik havuzlar,
- Fakültatif havuzlar,
- Anaerobik havuzlardır.

Stabilizasyon havuzları atıksudan nütrient, organik madde ve koliform gerilmesi amacı ile dünyada biyolojik arıtım ünitesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [9,10]. Stabilizasyon havuzlarında gerçekleşen temel arıtım mekanizmaları (Şekil 2.1) dengeleme etkisi, ön çökeltim ve organik maddenin anaerobik çürütülmesi ve aerobik oksidasyonu şeklinde özetlenebilmektedir [10].



Şekil 2.1. Stabilizasyon havuzlarında arıtma mekanizması [2]

Stabilizasyon havuzlarının avantajları, basit ve işletiminin güvenilirliğinden kaynaklanmaktadır. Doğal arıtım sebebi ile oluşan çamur miktarı azdır ve çamur stabil halde bulunduğu için ek bir çamur arıtıma sistemine gereklilik yoktur. Buna karşın doğal arıtım süreçlerinin yavaş gerçekleşmesi dolayısıyla yüksek havuz hacimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıcak iklimler atıksu arıtımında stabilizasyon havuzu tercihlerini olumlu etkilemektedir.

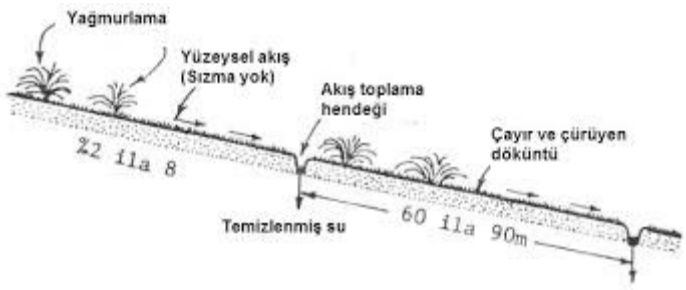
Stabilizasyon havuzları yeterli büyüklükte ve ekonomik arazinin mevcut, iklimin elverişli, alıcı ortamın yüksek arıtım verimliliği gerektirmediği, tesisin inşa edileceği bölgeye yakın yerleşim yerlerinin bulunmadığı ve yüksek teknolojili bir tesisin işletilemeyeceği endişesinin bulunduğu durumlarda tercih edilebilmektedir [11]. Bir stabilizasyon havuzu örneği Resim 2.1'de görülmektedir.



Resim 2.1. Stabilizasyon havuzu [10]

2.2. Arazi Üzerinde Akıtma Sistemi

Bu sistemde atıksu %2-8 arasında eğime sahip ve üst tabakasında bitki örtüsü bulunan araziye yüzeysel olarak uygulanmaktadır. Yüzeye uygulanan atıksuyun arıtımı toprak yüzeyinden aşağı doğru ince bir film halinde akarken fiziksel, kimyasal ve biyolojik anlamda değişikliğe uğraması esasına dayanır. Arıtılmış olan sular alt tarafta bulunan su toplama hendeklerine ulaşmaktadır (Şekil 2.2) [2,12].

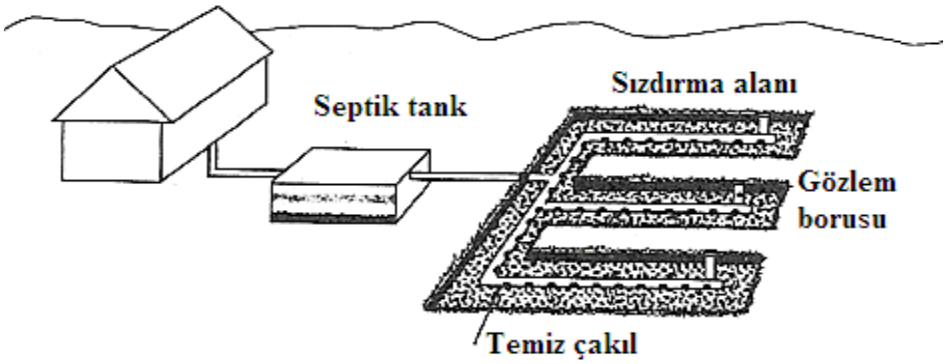


Şekil 2.2. Arazi üzerinde akıtma sistemi [2]

Yüzeysel akış sistemi uygulamalarında arazinin geçirimsiz veya nispeten az geçirimli olması, yeraltı suyu seviyesi ve iklim koşullarına dikkate alınan bazı hususlardır. Bu sistemler genellikle besleme ve bekleme olmak üzere iki kademede işletilmektedir. Ancak arazi üzerinde akıtma sistemi ile atıksu arıtımı gelişmiş ülkelerde sık kullanılan bir metot değildir [2].

2.3. Yer Altına Sızma

Yer altına sızdırma yönteminde septik tankta toplanan atık sular özel dağıtıcı borular ile öncelikle dolgu malzemesi içerisine ardından ise zemine sızdırılır (Şekil 2.3). Atıksu ilk etapta dolgu malzemesinden sızdırıldığı için doğrudan zemine sızdırmadan daha yüksek arıtım verimine sahiptir. Bu sızdırma metodunda bazen dolgu malzemesinde tıkanmalar gerçekleşebilir fakat dolgu malzemesi değiştirilerek sıkışma ve tıkanma engellenir [2,12].



Şekil 2.3. Yeraltına sızdırma [2]

Geçirimliliğin çok düşük, yeraltı su seviyesinin yüksek, zemin eğiminin yüksek, taşkınların meydana geldiği ve atıksuyun, su kaynaklarının yakınlarında oluştuğu durumlarda zemine sızdırma yöntemi ile atıksu arıtımı düşünülmemelidir [2].

2.4. Doğal Sulak Alanlar

Doğal sulak alanlar karasal ve sucul ekosistemin parçalarıdır. Bataklıklar, sığ göller ve nehir yatakları doğal sulak alanlara örnek olarak verilebilir (Resim 2.2). Doğal sulak alanlar sığ olmaları nedeni ile derin su kütlelerinden ayrılmaktadırlar. Doğal sulak alanları oluşturan

başlıca üç bileşen vardır. Bu bileşenler suyun varlığı, su bitkileri ve özgün toprak yapılarıdır [13,14].

Doğal sulak alanlar, çoğu gelişmekte olan ülkelerde evsel ve hatta endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Diğer atıksu arıtımı yöntemleri ile kıyaslandığında uygun ve ucuz bir yöntemdir. Ancak atıksu arıtımında doğal sulak alanların kullanımı bu kaynakların aynı zamanda temiz su kaynağı olarakta kullanılması düşüncesinin mevcut olduğu durumlarda çeşitli problemlere sebep olacaktır. Bu neden ile atıksu arıtımı için doğal sulak alanların kullanılması doğal kaynakların sürdürülebilir gelişimi gibi noktalarla çelişki içinde bulunmaktadır [13,15].



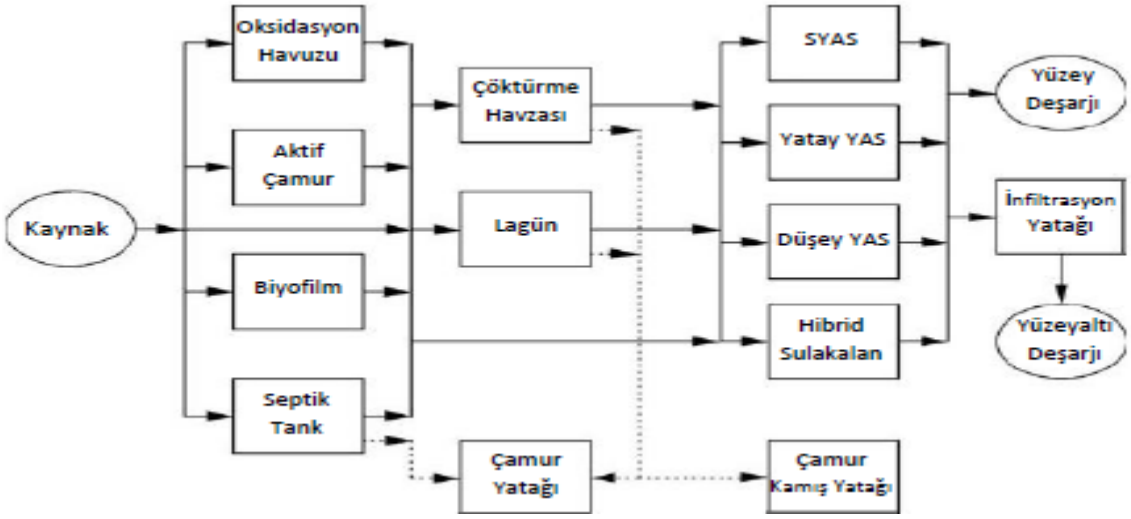
Resim 2.2. Sapanca gölü doğal sulak alanı

2.5. Yapay Sulak Alanlar

Yapay sulak alan atıksu arıtma sistemleri birden çok sucul canlının arıtma üzerinde etkili olduğu, sıklıkla dar, uzun ve sığ yataklardan olmaktadır. Çeşitli dolgu malzemeleri kullanılarak suyun filtrelenmesi, ekimi yapılan su bitkileri ve yatak içerisindeki mikroorganizmalar neticesinde atıksuyun arıtıldığı sistemlerdir. Yapay sulak alanlar doğal yapıların kontrollü şekilde yapılan küçük taklitleridir [16].

Bu sistemler evsel atık suların, çeşitli endüstriyel atıkların, asit maden drenajı sularının, tarımsal atıkların, kentsel yağmur sularının, ötrofik göl sularının, düzenli depolama sahası sızıntı sularının arıtılmasında, doğanın korunmasında, nitratla kirletilmiş akiferlerin ve nitrifiye kanalizasyon çıkış sularının denitrifikasyonunda kullanılmışlardır [7,17,18].

Yapay sulak alanlar, arazinin ucuz olduğu ve yetişmiş personelin bulunmadığı yerleşimler için uygun bir arıtım teknolojisidir. Bu yöntem hedeflenen arıtma ihtiyacı doğrultusunda çeşitli arıtma alternatifleri ile beraber uygulanabilmektedir. Yapay sulak alanların doğrudan ham atıksu arıtımı için kullanılması tavsiye edilmemektedir. Arıtma veriminin iyileştirilmesi için uygun bir ön arıtmanın ardından ikincil arıtma alternatifi olarak kullanılması yapay sulak alanların verimini artırmaktadır [2,19]. Yapay sulak alanlar tesisleri genellikle ızgaralar ve septik tanklar gibi diğer ön arıtma yapıları ile birleştirilerek kullanılmaktadırlar [20]. Atıksu arıtımı için yapay sulak alanları içeren bazı seçenekler Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Atıksu arıtımı için yapay sulak alanları içeren bazı seçenekler [20]

Doğal sulak alanlar, atıksu arıtımı için kullanılabilirken, bu kaynakların korunmak istenmeleri yapay sulak alanları etkili arıtım alternatifi yapmaktadır. Yapay sulak alanlar, doğal ekosisteme yapılacak deşarj sonucu oluşabilecek sınırlamalar olmadan doğal sulak alanların bütün arıtım kapasitesini sağlamaktadırlar. Yapay sulak alan sistemleri temel olarak iki grupta sınıflandırılabilmektedir. Bunlar;

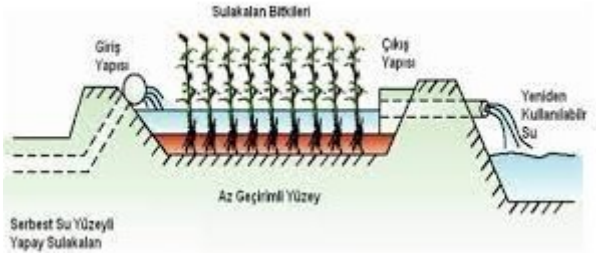
- Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar (SYAYSA),

- Yüzey altı akışlı yapay sulak alandır (YAYSA).

2.5.1. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar (SYAYSA)

Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar çoğunlukla köklü bitkileri desteklemek amacı ile toprak veya farklı bir taban malzemesi kullanılarak oluşturulmuş kanal veya havuzlardır.

Düşük akış hızı, sığ su seviyesi ve su bitkileri ile piston akım şartları oluşturabilmek için dar-uzun havuzlar şeklinde tasarlanırlar. Tabanları sızıntılar neticesinde yer altı suyunun kirlenmesi önlemek maksadı ile kil gibi geçirimsiz malzemeler ile kaplanmaktadır (Şekil 2.5) [15,21,22].



Şekil 2.5. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlarda akış şeması

SYAYSA'da su yüzeyi atmosfer ile temas halindedir. SYAYSA atıksuyun arıtımın yanı sıra estetik doğal bir görünüme de sahiplerdir (Resim 2.3). Doğal sulak alanları çok iyi taklit etmeleri sebebi ile balıklar, böcekler, amfibiler, yumuşakçalar, kuşlar, sürüngenler ve memeliler gibi çok çeşitli canlılar için doğal bir yaşam alanı oluştururlar. Serbest yüzeyli yapay sulak alanlarda su yüzeyine yakın bölgeler ve bitki kökleri çevresi aerobik iken havuz diplerinde anaerobik şartlar görülmektedir [8,23].



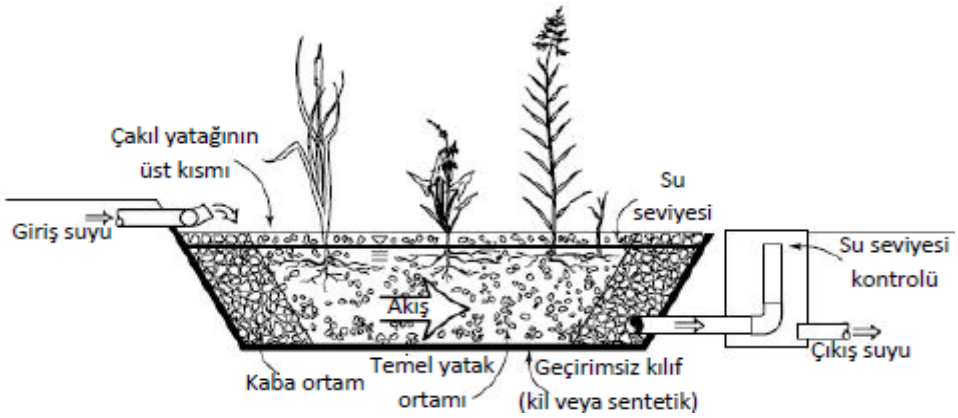
Resim 2.3. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan

SYAYSA'da atıksu genellikle bir ön arıtma işleminden geçirilir ve sisteme sürekli olarak beslenir. Bu esnada bitkilerin sap, gövde ve kökleri nedeniyle atıksu yavaşça akarken bitkisel alım, sedimantasyon, filtrasyon, oksidasyon, indirgenme, adsorpsiyon ve çökelme gibi etkiler ile atıksu arıtımı meydana gelmektedir [24,25].

SYAYSA sistemlerinin en önemli dezavantajları koku oluşma problemi, sivrisinek/vektörlerin üremesi ve diğer atıksu arıtma yöntemlerine nazaran daha geniş arazi ihtiyacıdır. Avantajları ise yapım, işletim ve bakım maliyetlerinin düşük olmasıdır.

2.5.2. Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (YAYSA)

Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar geçirimsiz malzemeler ile oluşturulan taban üzerine köklü su bitkilerini destekleyecek nitelikte kum ya da çakıl vb. dolgu malzemeleri ile doldurulmuş havuzlar ya da kanallardan meydana gelmektedir (Şekil 2.6). YAYSA sisteminde atıksu, dolgu malzemesi içerisinde ilerlemekte ve atmosfer ile temas halinde değildir. Sağlanan taban eğimi neticesinde su akışı gerçekleşmektedir [8,9].



Şekil 2.6. Yeraltı akışlı yapay sulak alanın temel bileşenleri [20]

YAYSA içerisinde atıksu dolgu malzemesi içerisinde ilerlerken filtrasyon, sorpsiyon, çökelme, mikrobiyolojik bozunum, fiziksel ve kimyasal vb. işlemlerle ile arıtım gerçekleşir.

Günümüzde ilk yatırım maliyeti, işletim ve bakım masraflarının düşük olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. YAYSA sistemlerinin bakım maliyetleri alternatif seçeneklere oranla daha küçük olsa da genel olarak SYAYSA sistemlerinden daha yüksek maliyetlidirler.

Temel itibari ile yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar atık suyun akış yönüne göre;

- Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (YYAYSA),
- Düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (DYAYSA),

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [26]. Ek olarak bu sistemlerin beraber kullanıldığı hibrit sistemlerde mevcuttur.

Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar, serbest akışlı yapay sulak alanlara kıyasla bazı avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Arıtma sürecinde atık suyun yüzey altında bulunması nedeniyle koku oluşumu, hastalık bulaştırıcı sinek barındırma riski, insan ve vahşi yaşam için patojen organizmalara maruz kalma tehlikesi yoktur.
- Yüzey altı akışlı sistemlerde atık suyun sistem içerisinde ilerlerken arıtımı gerçekleştiren aktif ortamla olan teması, serbest yüzey akışlı sisteme oranla daha fazladır. Bu nedenle aynı özelliklere sahip atıksuyun arıtımı için gerekli olan alan ihtiyacı, yüzey altı sistemler için daha azdır.
- Yapay sulak alanlarda su sıcaklığının azalmasıyla arıtım verimi azalmaktadır. Yüzey altı akışlı sistemlerde suyun yüzey altından akması ve bitkilerin yapraklarını dökerek yüzeyi kaplaması nedeni ile kış aylarında donma olayı ya da riski daha düşüktür [4,12,27,28].

<u>Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar</u>

Yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanlarda atıksu havuzun başından beslenir ve yavaşça yatağın yüzeyi altında bulunan dolgu malzemesi boyunca yatay bir şekilde ilerler ardından çıkış bölgesinde, yapısında toplanır. Atıksu akış esnasında atıksu aerobik, anoksik ve anaerobik bölgelere temas halindedir. Aerobik bölgeler bitki-atıksu ortamına oksijen transferi gerçekleştiren bitki kökleri ile rizomların yakın çevresidir [29,30].

Yatay yüzey altı akışlı sistemlerinde aerobik şartların oluşması için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması yapraklardan köklere transferdir. Bu nedenler anaerobik şartlardan

kaçınabilmek için bitki köklerinin, yatay yüzey altı akışlı sistemin bütün derinliği boyunca uzaması gerekir [26].

Yatay yüzey altı akışlı sisteminde atıksuyun; ortam yüzeyinin altında, bitkilerin kökleri ve köksapları içinde/etrafında akması amaçlanmaktadır.

Düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alan

Düşey yüzey altı akışlı sistemler prensip olarak klasik biyolojik filtrelere (damlatmalı filtreler) çok benzerdir. Tasarım olarak yatay yeraltı akışlı sistemden farkı giriş ve toplama yapısıdır.

Düşey yüzey altı akışlı sistemde atıksular üstten beslenir, kademeli olarak yatağa sızar ve tabanda drenaj boruları yardımı ile toplanır (Resim 2.4). Hızlı drenaj yapıldığı taktirde atmosferden atıksu hacmine eşit hacimde oksijen çekilebilir. Böylece yatak çok iyi oksijenlenmiş olur [26,31].

Düşey yüzey altı akışlı sistemlerin yatay yüzey altı akışlı sistemlere göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Daha düşük alan ihtiyacı, yüksek oksijen iletimi dolayısıyla nitrifikasyon kapasitesinin fazla olması bazı avantajlarındandır. Akış yönü mesafesinin kısa olması, denitrifikasyon kapasitesinin düşük olması, maliyetinin daha yüksek olması ve özellikle fosfor gideriminin düşük olması ise dezavantajlarındandır [4,26].



Resim 2.4. Düşey yüzey altı akışlı yapay sulak alan

Hibrit Sistemler

Hibrit sistemler genellikle yatay ve düşey yüzey altı akışlı sistemleri bir arada kullanılarak, tek kademede giderilemeyen kirleticilerin birleştirilmiş sistemlerde giderilebilmesi için tasarlanan sistemlerdir.

Nitrifikasyon için en iyi verim düşey yüzey altı akışlı ve denitrifikasyon için ise yatay yüzey altı akışlı sistemler ile elde edilmektedir.

3. YAPAY SULAK ALANLARDA GİDERİM MEKANİZMALARI

Yapay sulak alanlarda pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreç iç içe gerçekleşmektedir. En temel biyolojik süreçler ise bitki solunumu, fotosentez, fermantasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve mikrobiyal fosfor giderimidir. Belirli maddeler özellikle metaller ise kimyasal süreçler ile çökebilen, çözünemeyen bileşiklere dönüştürülür [26,30,32,33].

Yapay sulak alanlarda giderimi gerçekleşen temel kirleticiler;

- AKM,
- $BOİ_{5,}$
- Organik karbon,
- Azot,
- Fosfor,
- Patojenler ve
- Ağır metaller olarak sıralanabilir.

Çizelge 3.1'de kirletici parametrelerin gideriminde gerçekleşen bazı mekanizmalar gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kirletici giderim mekanizmaları [32]

Kirletici	Giderim Mekanizması
Organik Madde ($BOİ_5$)	Biyolojik Bozunma, Sedimantasyon, Mikrobiyal Alım
AKM	Sedimantasyon, Filtrasyon
Azot	Sedimantasyon, Nitrifikasyon, Denitrifikasyon, Mikrobiyal Alım, Volatilizasyon
Fosfor	Sedimantasyon, Filtrasyon, Adsorpsiyon, Bitkisel ve Mikrobiyal Alım
Patojen	Doğal Ölüm, Sedimantasyon, Filtrasyon, UV Bozunması, Adsorpsiyon
Ağır Metaller	Sedimantasyon, Adsorpsiyon, Bitkisel Alım

3.1. AKM Giderimi

Yapay sulak alanlar içerisindeki bitkiler suyu bloke ederek akış hızını yavaşlatırken, katı maddeler yer çekimi etkisi ile çökelir ya da filtrasyon işlemi ile giderilir.

Serbest yüzey akışlı sistemlerde AKM giderimi çökelme şeklinde gerçekleşir. Çökelme hızı ise atıksuyun akış hızına, ortamın sıcaklığına, partiküllerin ebatlarına, havuzun derinliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sedimantasyon tersinir bir prosestir. Yapay sulak alanlarda atık su akış hızının çok düşük olması sebebi ile çökelen katıların tekrar süspansiyon haline geçmesi çok önemli bir problem değildir. Fakat rüzgârın etkisiyle oluşan türbülans, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu gaz çıkışlarını oluşturur ve bu türbülans her büyüklükte ve çeşitteki organizmaların su içerisinde hareketlenmesini, sağlar ve dolayısıyla çökelen partiküllerin tekrar süspansiyon haline geçmesine sebebiyet verebilir [26].

Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlarda AKM giderimi serbest yüzey akışlı olanlara göre farklılık göstermektedir. Yüzey altı akışlı sistemlerde büyük çoğunlukla köklerde adsorpsiyon yöntemi ile AKM giderilir. Yüzey altı akışlı sistemlerde arıtmada en büyük sorun ise kimi zaman tıkanmaların gerçekleşmesidir. Tıkanmaların önlenebilmesi için yapay sulak alan girişine bir çökeltim havuzu (foseptik tank) yerleştirilir.

3.2. $BOİ_5$ Giderimi

Atıksu içersin de bulunan organik maddeler temel olarak biyolojik oksidasyon ve filtrasyon prosesleri ile giderilmektedir. Organik maddelerin bir kısmı ise çökelme ve çeşitli biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar ile giderilmektedir. Başlıca biyokimyasal bozunma reaksiyonları, bitkilerin su altında kalan bölümleri (aerobik) ve dip birikintilerinin yüzeylerinde (anaerobik) gerçekleşmektedir [30].

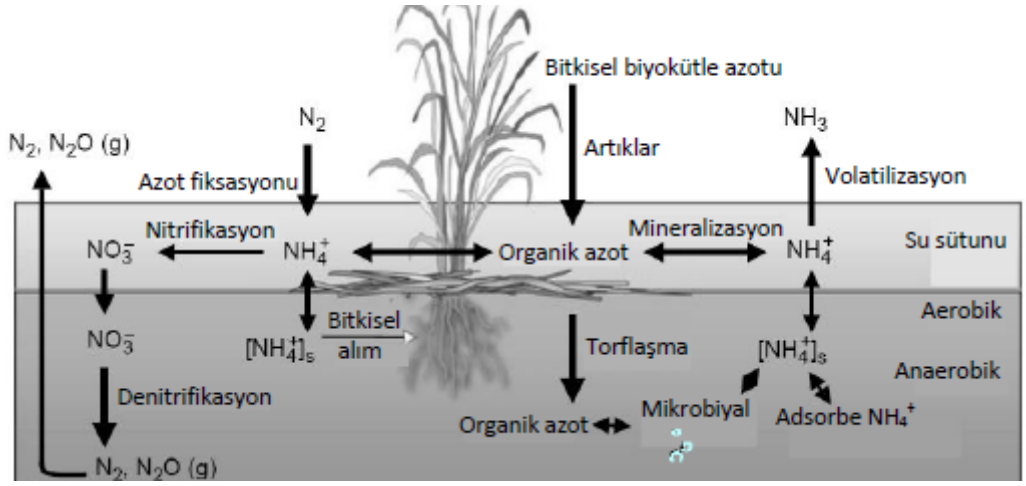
Yapay sulak alanlarda bu mekanizmaların gerçekleşebilmesi için gerekli oksijen kaynağı serbest yüzey akışlı sistemlerde havadan ve bitki yapraklarından köklere transferken, yüzey altı sistemlerde ise bitki yapraklarından köklere transfer ile sınırlıdır [2,26].

BOİ parametresi yapay sulak alan tasarım, işletilmesinde ve arıtma sistemlerinin verimliliğinin ölçülmesi ve performansının değerlendirilmesinde önemli bir parametredir.

3.3. Azot Giderimi

Yapay sulak alanlarda azot; çözünmüş, partikül, organik ve inorganik azot formlarında bulunmaktadır. Azotun sulak alanlardaki en önemli inorganik formları; nitrit (NO_2-), nitrat (NO_3 -) ve amonyumdur (NH_4+). Gaz halindeki azot; diazot (N_2), nitröz oksit (N_2O), nitrik oksit (NO_2 ve N_2O_4) ve amonyaktır (NH_3) [33].

Yapay sulak alan içesindeki azot dönüşümleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Kirletici giderim mekanizmaları [34]

Yapay sulak alanlarda azot giderimini etkileyen bazı faktörler;

- Sistem tasarımı,
- Bitkinin absorblama gücü,
- Uygun karbon miktarı,
- pH değerine bağlı olarak amonyağın uçuculuğu,
- Zemin tabakalarının cinsi ve
- Bekletme süresi olarak sıralanabilir.

Sulak alanlardaki temel azot dönüşüm süreçleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir. Azot sürekli olarak inorganikten organik bileşiklere, organikten tekrar inorganik bileşiklere kimyasal dönüşüm halindedir.

Çizelge 3.2. Yapay sulak alanlarda azot dönüşüm süreçleri [33]

Süreç	Dönüşüm
Volatilizasyon	Amonyak N (Sulu) → Amonyak N (Gaz)
Amonifikasyon	Organik N → Amonyak N
Nitrifikasyon	Amonyak N → Nitrit N → Nitrat N
Nitrat Amonifikasyonu	Nitrat N → Amonyak N
Denitrifikasyon	Nitrat N → Nitrik N → Gaz N_2, N_2O
N_2 Fiksasyonu	Gaz N_2 → Amonyak N
Bitkisel/Mikrobiyal Alım(Özümleme)	Amonyak, Nitrit, Nitrat N → Organik N
Amonyak Adsorpsiyonu	-
Organik Azot Gömme	-
ANAMMOX (Anaerobik Amonyum Oksidasyonu)	Amonyum N → Gaz N_2

Bu süreçlerin tamamı atık sudan azot gidermezler. Atık sudan nihai olarak azot gideren mekanizmalar; amonyak volatilizasyonu, denitrifikasyon, bitkisel alım (Bitki hasadı ile), amonyak adsorpsiyonu, ANAMMOX ve organik azot gömmedir. Diğer süreçler ise (amonifikasyon, nitrifikasyon vb.) azotu diğer azot formlarına dönüştürmektedir. Çizelge 3.3'de yapay sulak alan sistemlerinde azot dönüşüm süreçlerinim gerçekleşme oranları verilmiştir [17,24,26].

Çizelge 3.3. Azot dönüşüm süreçlerinin gerçekleşme oranları [33]

Süreç	SYAYSA	YYAYSA	DYAYSA
Volatilizasyon	Orta	Yok	Yok
Amonifikasyon	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Nitrifikasyon	Orta	Çok Düşük	Çok Yüksek
Nitrat Amonifikasyonu	?	?	?
Denitrifikasyon	Orta	Çok Yüksek	Çok Düşük
N2 Fiksasyonu	?	?	?
Mikrobiyal Alım	Düşük	Düşük	Düşük
Bitkisel Alım[1]	Düşük	Düşük	Düşük
Amonyak Adsorpsiyonu	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük

Çizelge 3.3. (devam) Azot dönüşüm süreçlerinin gerçekleşme oranları [33]

Süreç	SYAYSA	YYAYSA	DYAYSA
Organik Azot Gömme	Düşük	Düşük	Çok Düşük
Ufalanma ve Sızma	?	?	?
ANAMMOX	?	?	?

[1]Bitki hasadı ile.

Volatilizasyon; bir kimyasal maddenin sıvı veya katı durumdan gaz veya buhar durumuna dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Alg gruplarının gün boyunca fotosentez aktiviteleri ile yüksek pH değerleri oluşturduğu açık su yüzeyine sahip yapay sulak alalarda volatilizasyon azot giderimi için önemli bir yol olabilir [28,35,36].

Amonifikasyon; atıksudan azot gidermez. Diğer süreçlerde kullanılmak üzere organik azotu amonyağa dönüştürür. Bu süreç hem aerobik hem de anaerobik koşullarda gerçekleşmesi nedeni ile tüm yapay sulak alan sistemlerinde gerçekleşmektedir [28,35,36].

Nitrifikasyon; yapay sulak alan sistemlerinde amonyağın ototrofik bakterilerce indirgenerek kademeli olarak nitrite ve nitrata dönüşümüdür. Bu proses nitrosomonas ve nitrobakter bakterileri tarafından gerçekleştirilmektedir. Nitrifikasyon bütün yapay sulak alan tiplerinde gerçekleşmektedir, ancak bu sürecin boyutu oksijen konsantrasyonuna bağlı durumdadır. Nitrifikasyon azot giderimi için sınırlayıcı bir süreçtir [33,35,36].

Nitrat amonifikasyonu, sulak alanlarda azot dönüşüm süreçleri arasında en az çalışan süreçlerden bir tanesidir. Bu neden ile bu süreç ve arıtım üzerindeki rolü hakkında pek bir bilgi yoktur. Bu süreç düşük redoks potansiyeli altında gerçekleşmektedir.

Denitrifikasyon; nitrat ve nitritin, anaerobik koşullarda mikroorganizmalar (*Pseudomanas, Alcaligenes, Arthrobacter* vb.) tarafından redüksiyona uğrayarak elemental azota dönüşümüdür. Bu sürecin hızı ortamda bulunan organik karbon tarafından belirlenmektedir [28,35,36].

Gaz azotun fiksasyonu; azot fiksasyonu atmosferik azotu organizmalar tarafından emilen amonyağa dönüştüren kimyasal bir süreçtir. Azot fiksasyonu, atmosferik nitrojeni esasen

bitkilerin daha kolay kullanabileceği bir forma dönüştürmektedir. Bu süreç ile yapay sulak alanda azot giderimi hakkında yeterince veri yoktur. Bu nedenle bu süreç ile giderim ihmal edilir [35,36].

Bitkisel alım; bitkiler tarafından kullanılabilen azot formları amonyak ve amonyumdur. Bitkiler azotun yalnızca küçük bir kısmını bünyelerine alabilmektedirler. Giderimin sağlanabilmesi için bitkilerin hasat edilmesi gerekmektedir. Bitkilerin azot alımı, mikrobiyal denitrifikasyona kıyasla daha düşük bir seviyededir. Ancak, mevsimsel stabilizasyonun olduğu bölgelerde, bitki hasadının sık yapılabildiği şartlarda özellikle düşük yüklemeli sistemlerde bitkisel alım ile önemli bir giderim sağlayabilmektedir [9,26,35].

Yapay sulak alanlarda geniş bir arıtma alanı gözden çıkarılmadıkça, tek kademeli sistemler önemli oranlarda toplam azot gidermekten uzaktırlar. Bu nedenle, asıl hedef toplam azot gidermek ise hibrit sistemler daha iyi bir çözümdür [33].

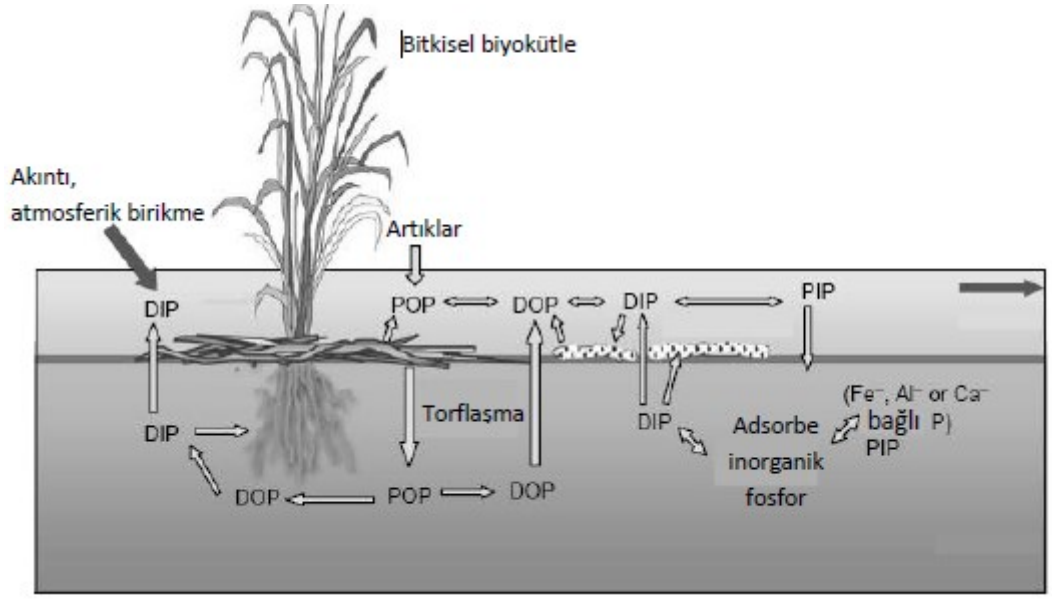
3.4. Fosfor Giderimi

Yapay sulak alanlarda fosfor hem organik hem de inorganik formda bulunmaktadır. Yapay sulak alan sistemine giren fosforun dönüşüm ve taşınım süreçlerini takip edebilmek için fosfor formlarını;

- Çözünebilir inorganik fosfor (DIP),
- Çözünebilir organik fosfor (DOP),
- Çözünmez inorganik fosfor (PIP),
- Çözünmez organik fosfor (POP) şeklinde sınıflandırmak uygundur.

Çözünmez ve çözünebilir organik formlarda da dayanıksız ve refrakter bileşenler olarak ikiye ayrılabilir. Çözünebilir inorganik fosfor, biyolojik şekilde kullanılabilir olarak değerlendirilir. Ancak, çözünebilir organik ve çözünemez formlar genelde biyolojik olarak kullanılabilmesi için öncelikle inorganik formlara dönüştürülmeleri gerekmektedir [34].

Yapay sulak alan içerisindeki fosfor dönüşümleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Yapay sulak alanlarda fosfor döngüsü [34]

Yapay sulak alanlar fosforun tüm formlarında ara dönüşümler için uygun bir ortam sağlamaktadır. Bu dönüşüm süreçleri;

- Adsorpsiyon / desorpsiyon,
- Turba (torf) oluşumu,
- Çökelme / çözünme,
- Ufalanma ve sızma,
- Bitkisel / mikrobiyal alım,
- Mineralizasyon ve gömülme şeklinde sayılabilir.

Yapay sulak alanlarda fosfor giderimi çoğunlukla absorpsiyon, adsorpsiyon, çökelme ve filtrasyonun bir arada gerçekleştiği tutulma kavramı ile açıklanmaktadır. Bunun yanı sıra bitki bünyesine alımda diğer bir giderim mekanizmasıdır [37,38].

Absorpsiyon ve adsorpsiyon mekanizmaları adsorbent bileşenin, sıvı ya da gaz fazından genellikle katı bir faza olan hareketini ifade etmektedir. Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlarda fosforun adsorpsiyon ve absorpsiyon miktarı dolgu malzemesi çeşidine ve türüne göre değişim göstermektedir. Yapay sulak alanlarda için yaygın olarak kullanılan dolgu malzemelerinin (yıkanmış çakıl, kırma taş) filtrasyon ve sorpsiyon kapasitesi düşüktür.

Genleştirilmiş kil agrega gibi birkaç filtrasyon malzemesi yapay sulak alanlarda denenmiş ve fosfor için yüksek giderim verimleri sağlamıştır [39,40].

Çökelme, fosfat iyonlarının demir, alüminyum, kalsiyum ve magnezyum gibi metal katyonları ile reaksiyona girerek amorf veya kristal katılar oluşturması ve bu yapıların çökelmesi olarak ifade edilebilir.

Bitkisel alım, fosforun çoğu bitki kökleri tarafından alınır. Genellikle, büyüme sezonunun başında (çoğu bölgede ilkbaharın başları), maksimum büyüme hızına ulaşılmadan önce fosfor alımı en yüksek değerdedir. Bitki bünyesine alım ile fosfor giderimin sağlanabilmesi için bitkilerin döküntü yaparak fosforun tekrar suyu karışması engellenmeli ve hasat işlemi gerçekleştirilmektedir. Yüzücü bitkilerin hasadının kolay olması nedeni ile yüksek bir verim sağlanabilmektedir [41].

Çizelge 3.4'de yapay sulak alan sistemlerinde fosfor giderim mekanizmalarının gerçekleşme oranları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Fosfor giderim mekanizmaları gerçekleşme oranları [33]

Mekanizmalar	SYAYSA	YYAYSA	DYAYSA
Adsorpsiyon/Absorpsiyon	Düşük	Yüksek	Yüksek[1]
Çökelme[2]	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Bitkisel [3] ve Mikrobiyal Alım	Düşük	Düşük	Düşük

[1]Özel filtrasyon malzemeleri kullanıldığında.
[2]Yıkanmış çakıl veya kırma taş kullanıldığında.
[3]Bitki hasadı ile.

3.5. Patojen Giderimi

Yapay sulak alanlarda patojenler genellikle bakteriler, virüsler ve parazitlerdir. Doğal ölüm, sedimantasyon, filtrasyon, güneş ışığı (UV), ısı etkileri, zooplanktonların bünyesine katılma ve pH etkileri ile patojen mikroorganizmaların büyük oranda giderimi gerçekleşmektedir. Yapay sulak alanlar patojen mikroorganizmaların yaşama ve üremeleri için uygun ortamlardır. Bu nedenle tam bir giderim için dezenfeksiyona ihtiyaç duyulmaktadır [24,26].

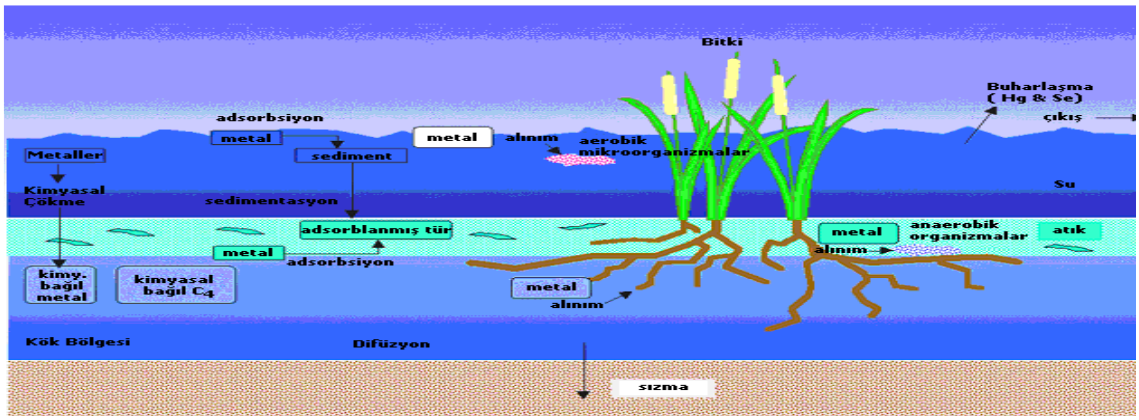
3.6. Toksik ve Ağır Metal Giderimi

Bitkilerin büyümesi için eser miktarlarda (baryum, berilyum, bor, kobalt, bakır, iyot, demir, magnezyum, molibden, nikel, selenyum, kükürt ve çinko) bazı metallere ihtiyaç duyulurken, bu aynı metaller daha yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilir. Diğer metallerin bilinen biyolojik bir rolü yoktur ve çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik olabilir (arsenik, kadmiyum, kurşun, cıva ve gümüş) [26].

Yapay sulak alan içerisindeki atıksulardan ağır metaller sedimantasyon, adsorpsiyon, flokülasyon, iyon değiştirme, kimyasal çökelme, oksidasyon-redüksiyon ve bitkisel alım mekanizmaları ile uzaklaştırılmaktadır (Şekil 3.3).

Yapay sulak alanlara giren atıksular çözünen ve çözünmeyen türde metaller içebilmektedir. Çözünmeyen metaller AKM'ye benzer şekilde sudan ayrılmaktadır.

Metallerin bitki bünyesine alımları kök bölgesinde gerçekleşmektedir. Bu alım miktarı bitki ve metal türüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Su mercimeği gibi yüzen bitkilerin mükemmel kadmiyum, bakır ve selenyum akümülatörleri olduğu, ancak krom için sadece orta derecede akümülatörler ve nikel ve kurşun için zayıf akümülatörler olduğu bilinmektedir [42].



Şekil 3.3. Sulak alanlarda ağır metal uzaklaştırma mekanizması

4. YAPAY SULAK ALANLARDA KULLANILAN BİTKİ TÜRLERİ VE SEÇİMİ

Yapay sulak alanlarda kullanılacak bitki türü seçimi, sık bir bitki örtüsü oluşturmak kadar önemlidir. Bitki türü seçimi yapılırken bölgenin iklim ile toprak yapasına uygunluğu, bölgede bulunan diğer çeşitli hayvan ile bitki türlerine adapte olabilecek lokal ve yöresel bitkilerin seçilmesi esas alınmalıdır. Bunun yanı sıra tercih edilen bitki türü, hızla büyümeli, köklerinin derine nüfuz etme kabiliyeti yüksek, etkin oksijen transferi özelliği bulunan, mikroorganizmalar için maksimum yüzey alanı sağlayacak, besi maddeleri yönünden zengin atıklara dayanabilecek ve sulak ortamda yaşayabilecek özelliklere sahip olmalıdır [9,26,28,43].

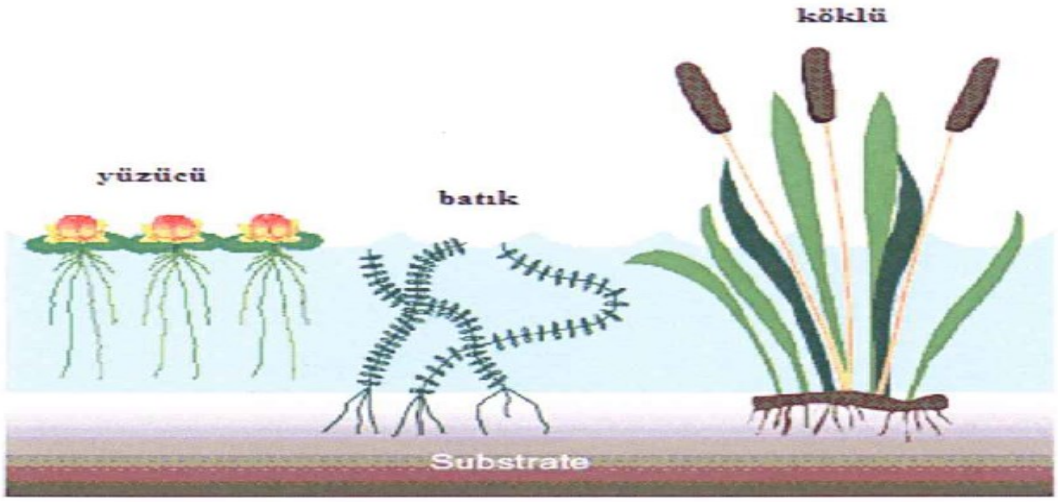
Yapay sulak alan içesinde bulunan bitkilerin çeşitli işlevleri bulunmaktadır. Bu işlevlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Atıksu içerisindeki besinleri kendi bünyelerinde tutarlar ve besin dönüşümündeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerde besinleri azaltıcı etkileri bulunur.
- Yapay sulak alan içerisindeki su akışına direnç göstererek hidrolik bekleme süresini arttırırlar,
- Askıda katı maddelerin çökelmesini kolaylaştırırlar,
- Ölümlerinden sonra suda besin oluştururlar,
- Mikrobiyal büyüme için geniş yüzey alanı sağlarlar,
- Fotosentez ile kök bölgesinde oksijen transferi sağlarlar.

Yüzey altı akışlı sistemlerde su kamışı ve saz otları özellikle tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise kök yapılarının yapay sulak içerisinde daha derine inerek daha derin havuz yapılarına imkân sağlamasıdır [9,26,28,43].

Yapay sulak alanlarda bitki türleri yaşam şekline göre üç şekilde gruplandırılmaktadır (Resim 4.1) [4]. Bu gruplar;

- Batık su bitkileri,
- Köklü su bitkileri,
- Yüzücü su bitkileridir.



Resim 4.1. Yapay sulak alan bitkileri [35]

4.1. Batık Su Bitkileri

Batık su bitkileri arasında yelpaze otu, su kekiği, binyaprak ve boynuz otu sık karşılaşılan bitkilerdir. Bu bitkiler su sütunu içerisinde batık olarak yaşarlar. Su sütunu içerisinde köksüz, askıda bulanabilecekleri gibi köklü olarak dip çökeltilerine tutunmuş şekilde de bulunabilirler. Gelişimleri için iyi ışık almaları gerekmektedir. Su yüzeyinin alg vb. bir etken sebebi ile kapanması ve ışık geçinin engellenmesi gelişimlerinin etkilemektedir. Genel olarak batık su bitkilerinin nutrient giderim kapasiteleri düşüktür. Batık su bitkilerinin yapay sulak alanlarda kullanımları sınırlıdır.

4.2. Köklü Su Bitkileri

Yapay sulak alan sistemlerinde en sık kullanılan bitki türleri köklü su bitkileridir. En sık karşılaşılan köklü su bitkileri sığırsazıgiller, kedikuyruğugiller, köpeksazıgiller ve hasırsazıgillerdir. Bunlara genel bir isim ile su kamışı denilmektedir. Ülkemizde bataklık ve su birikintileri kenarlarında oldukça sık olarak rastlanmaktadırlar. Köklü su bitkilerinin nutrient giderim verimleri oldukça yüksektir [44].

4.3. Yüzücü Su Bitkileri

En sık karşılaşılan yüzücü su bitkileri su mercimeği, su sümbülü, su marulu ve su eğreltisidir. Bu bitkilerin yaprakları su yüzeyinde kök kısımları ise su sütunu içerisinde bulunmaktadır. Ülkemizde yüzücü su bitkilerinin tamamı bulunmaktadır [27,44].

Yapay sulak alanlarda sık kullanılan bazı su bitkileri türleri ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Su Kamışı (*Typha latifolia*)

Ilıman ve tropik iklimlerde son derece yaygın, **ç**ok sıcak bölgelerde son derece istilacı olabilecek bir bitkidir (Resim 4.1). Genellikle 1,2-1,5 m maksimum 3 metreye kadar uzayabilmekte ve kökleri 60 cm'den daha derine inebilmektedir. Tohumlama veya kesilen dalların ekimiyle çoğalması sağlanabilir. İyi gelişen bir su kamışı günde 5 cm'ye kadar uzayabilmektedir. Haziran-Ekim ayları arasında çiçeklenmekte ve 0- 1 930 m aralığındaki rakımları arasındaki bölgede bulanabilmektedirler. Ülkemizin batı ve orta kesimlerinde yayılış gösteren bu bitki türü rizomlu çok yıllık bitkidir [27,45,46].



Resim 4.1. Su kamışı bitkisi görseli

Saz Otu (*Phragmites australis*)

Poaceae (Buğdaygiller) familyasındandır. Sürünücü rizomlu ve çok yıllık bitkilerdir (Resim 4.2). Genellikle 3- 3,5 m'ye kadar uzayabilmekte ve kökleri 75 cm'den daha derine inebilmektedir. Rizomları yatay olarak bir yıl içerisinde 1- 2 m aralığında uzayabilmektedir. Hafif tuzlu suya toleranslı olan saz otları, su kamışlarına göre daha derine uzanabilen kök

yapısına sahiptir. Saz otları için uygun ortam pH değeri 4,8- 8,2 aralığındadır. Yaygın üreme şekli rizomla olur. 0- 2 000 m aralığındaki rakımları arasındaki bölgede bulanabilmektedirler [45,46].



Resim 4.2. Saz otu bitkisi görseli

Su sümbülü

Parlak yeşil renkli geniş yapraklı, çiçekli ve çok yıllık yüzücü bir su bitkisidir (Resim 4.3). Kökleri 30 cm derinliğe kadar inebilmektedir. Atıksu içerisinde yaşayan su sümbüllerinin en tepesinden köklerine kadar olan uzunlukları 0,5-1,2 m aralığında değişebilmektedir. Çok geniş kök yapıları bulunması neticesinde mikroorganizmaların tutunması için yüksek yüzey alanı sağlamaktadırlar [45,46,47]. Düşük sıcaklıklara ve don olayına karşı oldukça hassaslarıdır ve 10 ^{o}C'nin altındaki sıcaklıklarda büyüme hızı oldukça düşmektedir.



Resim 4.3. Su sümbülü bitkisi görseli

Su mercimeği

Lemna spp., Wolffa spp. ve *Spirodela spp.* olarak isimlendirilen üç türü oldukça yaygındır. Yeşil renkli ve birkaç mm genişliğinde yapraklara sahip yüzücü bir su bitkisidir (Resim 4.4). Kökleri 1-2 cm derinliğe kadar inebilmektedir En hızlı çoğalan ve en küçük boyuttaki çiçekli istilacı bitki türüdür. Çoğalması yapraklarındaki küçük bir hücrenin bölünerek yeni bir yaprak oluşturması şeklindedir. Her bir yaprak 10-20 yeni yaprak üretme kapasitesine sahiptir. Uygun sıcaklık koşullarında (27 °C'de) sayıları 4 günlük bir süreçte 2 katına kadar artabilmekte ve havuz yüzeyini tamamen kaplayabilmektedir [45,46,47].



Resim 4.4. Su mercimeği bitkisi görseli

Su eğreltisi

Çiçeksiz bir yüzücü su bitkisidir (Resim 4.5). Hassas yapılı olması nedeni ile parazit hastalıklarına vb. hastalıklara yakalanma oranları oldukça yüksektir. Yaprakları arasında boşluk bulunması nedeni ile su yüzeyini tamamen kaplamamaktadır. Yaprakları arasındaki bu mevcut boşluklarda sivrisinek vb. canlıların hızla ürediği görülebilmektedir. Kök yapıları su mercimeğine göre daha derine inebilmektedir. Genelde su mercimeği ile birlikte kullanılmaktadır. Su eğreltileri düşük sıcaklık değerlerine karşıda oldukça hassas bir bitkidir. Düşük sıcaklıklarda yeşil rengini kaybedip solabilmekte hatta canlılığını tamamen yitirebilmektedir [45,46].



Resim 4.5. Su eğreltisi bitkisi görseli

Japon Şemsiyesi **(***Cyperus albostriatus***)**

Otsu gövdeli, koyu yeşil renkte yapraklara sahip çok yıllık bir bitkidir (Resim 4.6). 1-2 m uzunluğa 5-50 cm yaprak genişliğine ulaşabilmektedir. Tropikal bir bitki nedeni ile genelde nemli ortamları tercih etmektedir. İnce uzun sapları ucunda şerit şeklinde ve şemsiye benzeri dairesel etrafına açılan yaprakları vardır bu neden ile japon şemsiyesi olarak isimlendirilmektedir. İlkbahar mevsiminde sarı-yeşil renkte küçük çiçekler açarak hızlı büyüme sürecine girmektedir [45,46].



Resim 4.6. Japon şemsiyesi bitkisi görseli

5. YAPAY SULAK ALANLARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Yapay sulak alanlar ile atıksu arıtımının da diğer arıtma seçenekleri gibi avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Ancak dezavantajlarına göre avantajı daha üstün gelmektedir.

5.1. Yapay Sulak Alanların Avantajları

- İnşası diğer arıtma seçeneklerine göre daha az maliyetlidir.
- İşletme ve bakım masrafları oldukça düşüktür.
- İşletme ve bakımı periyodik yapıldığından dolayı sürekli işgücünden ziyade periyodik işgücü ister.
- Atıksuyun akışındaki değişiklikleri tolere edebilir.
- Suyun yeniden kullanılabilir hale gelmesini ve tekrardan kullanımını kolaylaştırır.
- Peyzaja uygun olarak inşa edilebilmekte ve estetik görüntü sağlamaktadır.
- Su kalitesini iyileştirmekte ve canlılar için doğal ortam oluşturmaktadır.
- Kamu yararı açısından çevreye duyarlı sistemlerdir [2,4,7,9,26,28].

5.2. Yapay Sulak Alanların Dezavantajları

- Geleneksel atık su arıtma sistemlerinden daha geniş alanlar gerektirir.
- Yapay sulak alanlar arazinin müsait ve şartların elverişli olduğu yerlerde ekonomiktir.
- Mevsimsel ve çevresel değişimler neticesinde daha az istikrarlı olabilir ve arıtma veriminde değişimler meydana gelebilmektedir.
- Kirleticilerin hücumu veya su akışındaki dalgalanmalar arıtma etkinliğini geçici olarak azaltabilir.
- Arıtımda kullanılan sucul bitkilerin her sene ekimi yapılmalıdır [2,4,7,9,26,28].

6. YAPAY SULAK ALANLAR İÇİN YER SEÇİMİ VE TASARIMI

6.1. Ön Arıtım İhtiyacı ve Seçenekleri

Atıksu içerisinde bulunabilecek dal-yaprak parçaları, kum tanecikleri, çakıl gibi katı maddeler yapay sulak alanlarda tıkanmalara sebep olabilmektedir. Bu sebeple yapay sulak alan tasarımında atıksular ön arıtımdan geçirilmelidir. Ülkemizde ızgara ve foseptikler sık kullanılan ön arıtım yöntemleridir.

6.1.1. Izgaralar

Izgaralar atıksu içerisindeki iri katı maddelerin ayrılması için teşkil edilmektedir. Ayrıca mevcut ise pompaların korunmasında da faydalı yapılardır.

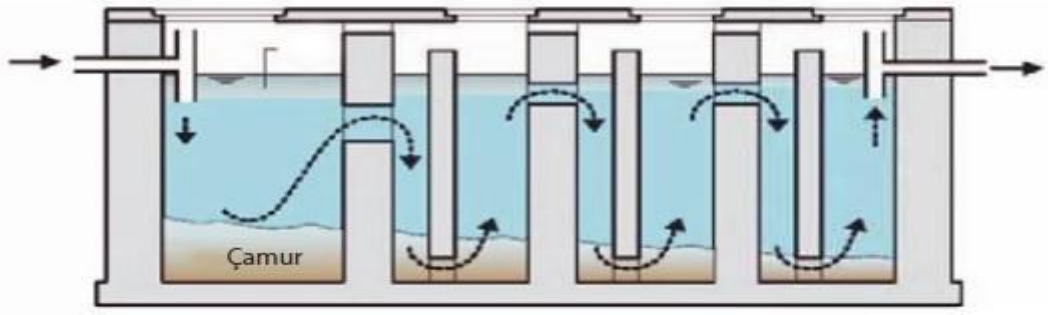
Izgara yapıları seçilirken özellikle çubuk aralıkları iyi hesap edilmelidir. Çubuk aralıklarının büyük seçilmesi ızgara sonrasında tıkanmalara (Resim 6.1), küçük seçilmesi ise ızgaraların çabuk tıkanmasına ve sık sık temizlenme ihtiyacına sebep olmaktadır.



Resim 6.1. Izgara çubukları geniş olan sistemde borunun tıkanması [9]

6.1.2. Foseptik

Foseptik yapılarının ana amacı aktif çamur ile giriş atık suyunun temas süresini artırmaktır Foseptik içerisine teşkil edilen perdeler yardımı ile atıksu üstten alta doğru bölmeler içesinde ilerlemekte bu esnada AKM ve organik madde gideriminde de aktif rol almaktadırlar. Foseptik tankları iki. üç ve dört bölmeli olarak inşa edilebilmektedirler. Ülkemizde genellikle 4 bölmeli foseptikler tercih edilmektedir (Şekil 6.1) [27].



Şekil 6.1. Dört gözlü foseptik kesiti [9]

Foseptiklerde de ızgaralarda olduğu gibi meydana gelebilecek bir tıkanma atıksuyun yapay sulak alan havuzuna ulaşmasını engelleyecek ve foseptik dışına taşacaktır. Bu tıkanmaları önleyebilmek için belirli zaman aralıklarında çamur çekilmelidir [2].

6.2. Topoğrafya

Yapay sulak alan sistemleri için arazi seçiminde uniform topoğrafyaya sahip düz ya da hafif eğimli araziler seçilmelidir. Bunun nedeni ise SYAYSA'lar düz havuz veya kanallarda, YAYAS'lar ise hafif eğimli olarak inşa edilmesidir. Yapay sulak alan inşa edilecek alanların eğimi %5'ten az olmalıdır. Daha dik veya düz alanlarda gerekli hafriyat masrafları artmaktadır [2].

6.3. Zemin

Yapay sulak alan sistemleri için düşük geçirimliliğe (<5 mm/saat) sahip zemin tabakasına sahip alanlar en çok tercih edilenlerdir. Yer altı suyun kirlenmesini ve su kayıplarını önlemek için sızma miktarı minimize edilmelidir. Düşük miktarda geçirimliliğe sahip doğal zeminlerde inşa esnasında sıkıştırma ve benzeri yöntemler kullanılarak zemin geçirimliliği azaltılabilmektedir.

Daha yüksek geçirimliliğe sahip zeminlerde ise kil veya geçirimsiz astarlar malzemeler kullanılarak zemine geçirimsizlik özelliği kazandırılır.

6.4. Arazi Kullanımı

Yapay sulak alanlar arazi seçiminde yaban hayatına katkısı, bazı durumlarda uygun su temini seçenekleri olabilmeleri ve mevcut sulak alanı zenginleştirmeleri nedenleriyle doğal sulak alanların yakınlarındaki boş araziler tercih edilmelidir.

6.5. Arazi Hazırlama

Yapay sulak alanın üzerindeki bulunan ağaç, bitki, ot vb. uzaklaştırılması gerektiğinde bölgeden kaldırılmalıdır ancak mümkün olduğunca bölgenin doğal bitki örtüsü korunmalıdır.

Arazi kazından çıkan toprak taş, bitki içermediği sürece yapay sulak alanda dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

Mümkün olduğu kadar arazinin ve alanın eğiminden yararlanılarak proje tasarımı ve sulak alan inşası gerçekleştirilmelidir. Alanda kademelendirme gerçekleştirilebilir. Yağışlı bölgelerde su basması ve taşkınlar dikkate alınarak gereken kot oluşturulmalıdır. Sağlam ve düzgün sulak alan hazne tabanının hazırlanması için malzeme sıkıştırma işlemleri yapılmalıdır [48].

6.6. Besleme Pompa İhtiyacı

Yapay sulak alanlara atık suyun girişinin cazibeli (pompasız) olması istenmektedir. Ancak bazı durumlarda pompa kullanımı gerekli olmaktadır. Pompa ihtiyacın olduğu durularda atıksuyun homojen dağılımının sağlayabilecek ve kot farklarını karşılayabilecek bir pompa seçilmelidir. Pompa kullanılan sistemler öncesinde pompanın korunması için uygun fiziksel arıtım gerçekleştirilmelidir.

6.7. Taban İzolasyonu

Yapay sulak alan havuzlarının dipleri ve yanal yüzleri geçirimsizliği sağlamak amacı ile izole edilmelidir. Yapay sulak alan tabanı, PVC, HDPE, PPE gibi geçirimsiz malzemeler (jeomembran), beton ya da kil ile kaplanabilmektedir [26].

İzolasyon için polietilen jeomembran kullanılması söz konusu ise membranın ek yerleri birbirinin üzerine bindirilerek yapıştırılmalıdır. Kaplama işleminin ardından geçirimsizliği onaylamak için test gerçekleştirilmelidir. Bu test esnasında havuzlar temiz su ile doldurulup 24 saat bekletildiğinde kayıp su miktarının havuz hacminin %0,6'sını geçmediği tespit edilmelidir. Jeomembran serilmeden önce membranın zarar görmemesi için membranın altına 5 ile 10 cm arası kum ile dolgu yapılabilmektedir [48].

Yapay sulak alanın bulunduğu bölge kil bakımından zengin koşullara sahip ise mevcut toprağın sıkıştırılarak geçirimsizliğin sağlanması düşünülebilir. Yapay sulak alanın bulunduğu konuma yakın bir kil temin noktası mevcut ise kil kullanımı daha ekonomik olabilmektedir.

6.8. Bitki Seçimi

Yapay sulak alan bitkileri arıtım süreçlerine katkı sağlamaktadır. Yapay sulak alan sistemlerinde bitki örtüsü seçilirken aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir.

- Yöresel olarak yetişebilen bir tür olması,
- Köklerinin derine nüfuz etme kabiliyeti yüksek olması,
- Büyük saçaklı, lifli köklere sahip olması ve güçlü rizomları olması,
- Nütrient asimilasyonu ve atıksuyun yapay sulak alan içerisinde maksimum yer değiştirmesini sağlamak için fazla biokütleye ve kalın gövdeye sahip olması,
- Mikroorganizmalar için maksimum yüzey alanı sağlaması,
- Etkin oksijen transferi özelliği olmasıdır [9,27,45,46,47].

6.9. İklim

Yapay sulak alanların en verimli çalışabileceği iklimler sıcak iklimlerdir. Doğal arıtma sistemleri mikroorganizmaların ve bakterilerin arıtım sürecinde faaliyet göstermesi nedeniyle sıcaklığa karşı duyarlı yapıdadırlar. Sıcaklığın belirli bir derecenin altına düşmemesi uygun ve verimli bir arıtmanın gerçekleşmesi için önemli bir noktadır [26,27].

YAYSA'larda su seviyesi zeminin altında olması SYAYSA'larda da ektili olan dökülen bitki örtüsünün su yüzeyini kaplaması belirli miktarda izolasyon sağlamaktadır.

6.10. Taşkın Kontrolü

Yapay sulak sistemleri inşa edilirken taşkın alanlarının dışında bir araziye inşa edilmelidir. Ancak bölge yapısı itibari ile buna elverişli değil ise gerekli taşkın önlemleri alınarak yapay sulak alan korunmalıdır. Yüzey akışını artıracak yapıda araziler yapay sulak alanlar için uygun sahalar değildir.

6.11. Giriş ve Çıkış Yapısı

Yapay sulak alanlarda giriş ve çıkış yapıları atıksuyun homojen dağıtılması, akışının izleyeceği güzergahın kontrol edilebilmesi ve su seviyesinin ayarlanabilmesi için kullanılan yapılardır.

Giriş yapıları sistem içerisinde kısa devreler nedeniyle ölü bölgelerin oluşmasını engellemek, homojen atıksu dağılımını sağlamak amacıyla atıksu tek bir noktadan verilmemeli çok sayıda ve düzenli delikler içeren yapıda olmalıdır (Resim 6.2) [9].

Giriş yapıları zeminin üzerinde ya da zemini altında olabilmektedirler. Zemin üzerinde olan yapılar bakım ve onarım işlemlerinde kolaylık sağlamakta ancak üzerinde su yosunu büyüme ihtimali vardır. Zemin altındaki sistemlerde ise tam tersi olarak su yosunu büyüme ihtimali yoktur fakat bakım ve onarım işlemleri daha zordur.



(a) (b)

Resim 6.2. Yapay sulak alan giriş yapıları (a) yatay akışlı (b) düşey akışlı [9]

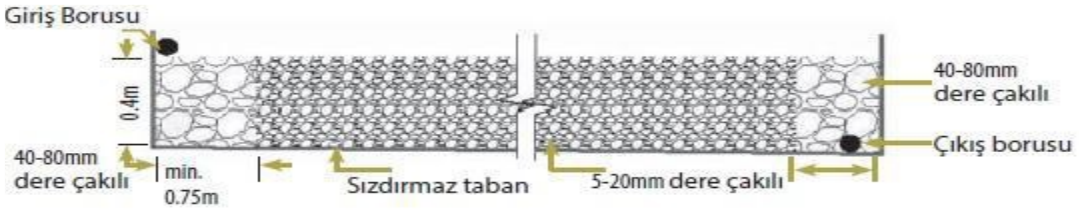
Yapay sulak alanlarda çıkış yapıları atıksuyun toplanmasının yanı sıra istenilen seviyede çıkış sağlayabilen ve su seviyesi kontrol altına tutabilen özellikte olmalıdır. Çıkış yapısının istenilen şartları sağlayabilmesi için bulunduğu noktaya monte etmek veya başka metotlar ile sabitlemek uygun değildir [27].

6.12. Dolgu Malzemesi İçeriği ve Seçimi

Yapay sulak alanlarda dolgu malzemeleri çeşitli işlevlere sahiptir. Bu işlevlerden bazıları aşağıdaki gibi sayılabilmektedir.

- Yüzey alanı oluşturarak bitki köklerinin tutunabilmesine yardımcı olmak,
- Atıksuyun havuz içerisinde dağılma ve toplanmasına yardımcı olmak,
- Mikroorganizmaların tutunabilmesi için yüzey alanı sağlamak,
- Atıksuyun filtrelemesine yardımcı olmaktır [23,49].

Çok küçük boyutlara sahip dolgu malzemelerinin kullanılması hidrolik iletkenliğin azalmasına ve yapay sulak alanda yüzeysel akışa neden olabilmektedir. Çok büyük boyutlara sahip dolgu malzemelerinin kullanılması ise birim hacim başına düşen ıslak yüzey alanın düşük seviyede olması sebebiyle mikrobiyal büyümeye de olumsuz etkilere neden olabilmektedir [29]. Yatay akışlı yapay sulak alanlarda dolgu malzemesi kesiti Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Yatay akışlı yapay sulak alanlarda dolgu malzemesi kesiti

Yapay sulak alan sistemlerinde köşeli ve geniş dolgu malzemeleri bitki köklerinin yayılımın olumsuz etkilemektedir. Dolgu malzemeleri uygun dane boyutlarına sahip olmalıdır (Resim 6.3). İstenmeyen ebattaki küçük malzemelerin (Resim 6.4) bulunması havuzunun tıkanmasına ve belli bir süre sonra işlev göremez hale gelmesine neden olmaktadır. Bu gibi

çeşitli nedenler dolayısıyla yapay sulak alan sistemlerinde dolgu malzemesi olarak yıkanmış elenmiş dere çakılının kullanılması önerilmektedir [23,27].



Resim 6.3. Uygun yatak medya malzemesi [9]



Resim 6.4. Uygun olmayan yatak medya malzemesi [9]

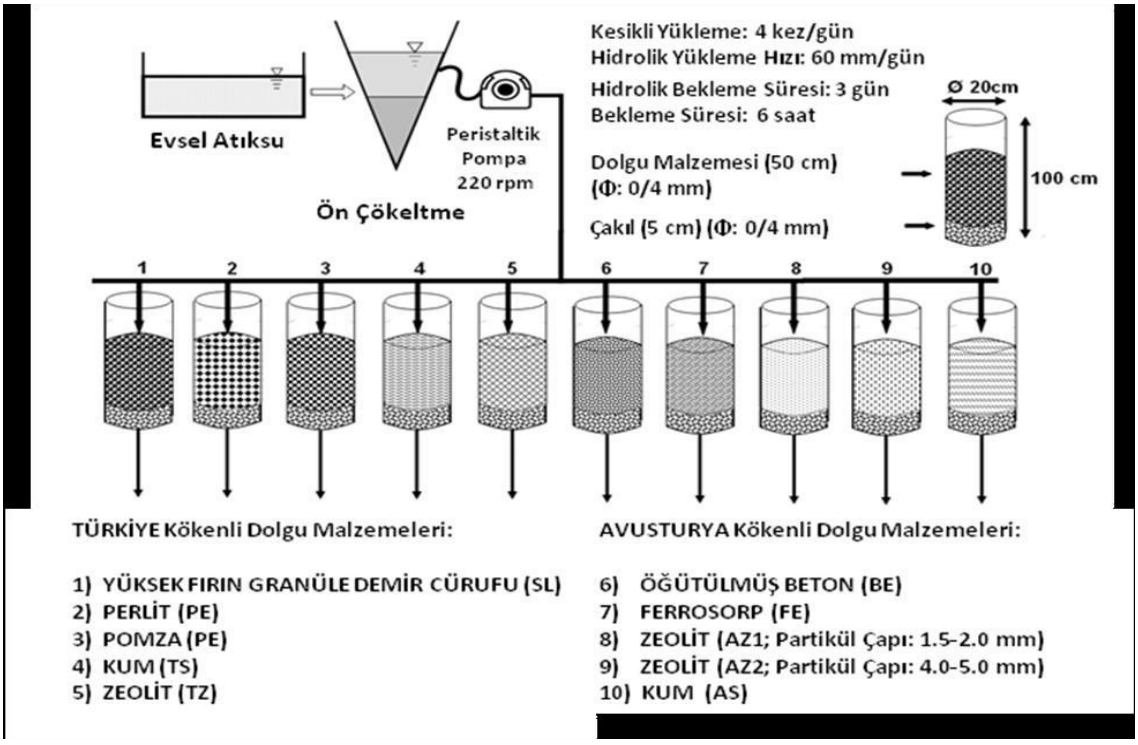
Yatay akışlı yapay sulak alan sistemlerinde tıkanmaların önüne geçebilmek ve yatay bir akış sağlaması amacıyla giriş ve çıkış bölümlerinde dolgu malzemelerinin dane boyutlarının 8 mm ile 40 mm aralığında, arıtım bölümünde ise bu değerlerin 5 mm ile 20 mm aralığında olması tavsiye edilmektedir [27].

Düşey akışlı yapay sulak alan sistemlerinde ise giriş bölümlerinde 20 mm ile 40 mm aralığında değişen dane boyutlarına sahip, çıkış bölümlerinde 5 mm ile 10 mm aralığında değişen dane boyutlarına sahip dolgu malzemelerin kullanılması uygundur. Arıtma

bölümlerinde ise 1 mm ile 4 mm aralığında değişen dane boyutlarında malzemelerin kullanılması tavsiye edilmektedir [27].

Onurem- Cowsim Çalışması

Yapay sulak alanlar klasik arıtma sistemlerine oranla daha fazla alana ihtiyaç duymaktadır. Bu alan ihyacının azaltılması ve azot- fosfor giderim veriminin arttırılması için çeşitli dolgu malzemeleri ile araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bir tanesi Onurem- Cowsim çalışmasıdır. Bu laboratuvar düzeyinde gerçekleştirilen çalışmada Avusturya-Viyana kanalizasyon sisteminden günlük olarak alınan ve birincil arıtımdan geçmiş atıksu kullanılmıştır. 8 ay boyunca devam ettirilen bu çalışmada Türkiye ve Avusturya'dan alınan 10 farklı filtre malzemesi düşey akışlı kolanlarda kesikli bir şekilde atık suya maruz bırakılmıştır (Şekil 6.3) [50].



Şekil 6.3. Onurem - Cowsim deney düzeneği [50]

Bu çalışma ile evsel atıksuların ikincil arıtımında kullanılacak yapay sulak alanların dolgu malzemelerinin seçiminde porozitesi ve besin (azot, fosfor) giderim kapasitesi yüksek dolgu malzemelerinin kullanımı azot türevi besinlerin gideriminde önemli katkı sağlayacağı anlaşılmıştır [50].

Onurem-Cowsim projesinde kullanılan filtre malzemeleri birbirinden farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahip olmasına rağmen, öğütülmüş beton haricindeki diğer filtre malzemeleri ile %99,5'in üstündeki bir verimlilik yüzdesi ile amonyum giderimi sağlanmıştır [50].

Bu çalışma dolgu malzemesi seçiminde sadece besin giderim yüzdesi değil aynı zamanda fiziko-kimyasal özelliklerin de son derece önemli olduğu saptanmıştır. Bundan dolayı dolgu malzemesi seçiminde sadece besin giderimi değil fiziko-kimyasal özelliklere de bakılmalıdır [50].

6.13. Dizayn Parametreleri

Yapay sulak alanlar için temel dizayn parametreleri;

- Hidrolik bekletme süresi,
- Su derinliği,
- $BOİ_5$ yükleme hızı,
- Hidrolik yükleme hızı,
- Yüzey alandır.

Yapay sulak alanların boyutlandırılması için önerilen tipik aralıklar Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Yapay sulak alanlar için tipik boyutlandırma değerleri [47]

Dizayn Parametresi	Birim	Sistemin Tipi	
		SYAYSA	YAYSA
Hidrolik Bekletme Süresi	gün	4-15	4-15
Su Derinliği	metre	0,1-0,6	0,3-0,75
$BOİ_5$ Yükleme Hızı	$kg/m^2gün$	<0,0067	<0,0067
Hidrolik Yükleme Hızı	$m^3/m^2gün$	0,014-0,05	0,014-0,05
Spesifik Alan	$m^2/m^3gün$	71,6-21-4	71,6-21,4

6.13.1. Hidrolik bekletme süresi

Hidrolik bekletme süresi yapay sulak alan performansını doğrudan etkileyen bir faktördür. İdeal bekletme süresinden kısa bekletme süreleri kirletici ayrışması için gereken süreyi sağlamazken, uzun bekletme süreleri havuz içerisinde durgun ve anaerobik şartların oluşumuna sebebiyet verebilmektedir [4,33].

Mevsimsel değişimlerin hidrolik bekleme süresi üzerinde etkileri bulunmaktadır. Bunlar yaz-sıcak mevsimlerde gerçekleşen buharlaşma, kış-soğuk mevsimlerde gerçekleşen donma olaylarıdır [4,33].

6.13.2. Su derinliği

Bitkilerin sisteme oksijen transferi gerçekleştirmesi, mikroorganizmalar için yüzey alanı sağlaması etkileri sonucunda etkin bir artıma katkıları vardır. Bu nedenler ile yapay sulak alan sistemlerinin su derinliği bitki köklerinin ulaşabileceği optimum derinliğe bağlıdır [27].

Soğuk iklimlerde su yüzeyinde don oluşma ihtimali ve sıcaklığın düşmesi sonucu yavaşlayan mikroorganizma faaliyetleri neticesinde hidrolik bekletme süresindeki artışları tolere edebilmek için işletme derinliği kış aylarında arttırılmalıdır.

6.13.3. $BOİ_5$ yükleme hızı

Yapay sulak alan sistemlerinde $BOİ_5$ yüklemesi sonucunda atıksuyun oksijen ihtiyacı uygulanan bitki yapısının oksijen transfer kapasitesini aşmayacak şekilde sınırlandırılmalıdır ve alan yükleme kriteri kullanılarak kontrol sağlanmalıdır. Çünkü havuz içerisindeki gerçek yük uniform bir şekilde dağılmamakta havuz girişinde daha konsantre bulunmaktadır [26].

Hızlı büyüyen bitkiler için değerlendirilmiş oksijen transfer hızları, 5- 45 gr/m^2-gün arasında değişmekte olup çoğu sistemler için tipik olarak düşünülen ortalama değer 20 gr/m^2-gün (200 kg/ha-gün) dür. Oksijen, açıktaki yaprak ve gövdeden toprak altındaki gövde ve kök kısmına transfer edilmektedir [4].

Yüzey altı akışlı sistemlerde $BOİ_5$ yükleme hızı üst değeri, BOİU/BOİ5 = 1,5 alınarak 20 gr/m^2-gün tipik oksijen transfer değeri için 133 kg/ha-gün olarak verilmektedir. Havuz içerisinde gerçek yükün uniform olarak dağılmaması neticesinde nihai $BOİ_5$ yükleme hızının oksijen transfer hızının yarısı kadar olması tavsiye edilmektedir [4,26].

6.13.4. Hidrolik yükleme hızı

Yapay sulak alan sistemlerinde hidrolik yükleme hızı genellikle esas dizayn parametrelerinden değildir. Ancak farklı sistemlerin kıyaslanabilmesi için ideal bir parametredir. Uygulamalarda kullanılan hidrolik yükleme hızları, 150 ila 500 m^3/ha-gün aralığında değişmektedir [36,51].

Spesifik alan; sistemin alan ihtiyacının ön tespitini hızlı bir şekilde gerçekleştirmek ve hidrolik yükleme hızına alternatif olarak sistemler arasında boyutlandırma kıyası yapmak için kullanılan bir parametredir. Uygulamalarda kullanılan spesifik alan ihtiyaçları 2,1-6,9 ha / (1 000 m^3-gün) arasında değişmektedir [9,51].

6.13.5. Yüzey alanı

Yapay sulak alan sistemlerinde yüzey alanının hesaplanmasında atıksu debisi ve atıksu içerisinde bulunan BOİ konsantrasyonu dikkate alınarak hesaplanabileceği gibi, kişi başına düşen alan olarak da hesaplanabilmektedir [24,26].

Organik madde konsantrasyona bağlı yüzey alan hesap denklemi, aşağıda verilmiştir.

$$As = [Qort\,(\ln Co - \ln Cs)] / K_{BOİ} \qquad (6.1)$$

7. YAPAY SULAK ALANLARDA İŞLETME-BAKIM VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Yapay sulak alanların istenen arıtım veriminde stabil bir şekilde çalışabilmesi için sadece uygun tasarım yapılmış olması yeterli değildir. Yapay sulak alanlarda işletme ve bakım işlemlerinin yapılması da çok önemlidir. Sistemin belirli zaman periyotlarında izlenmesi, gerekli durumlarda müdahalelerin yapılması gerekmektedir. İnşa edilmesinin ardından kendi haline bırakılan bakımı ve işletmesi sağlanmayan yapay sulak alanların birçoğu verimli bir şekilde çalışamamakta ve estetik olarak kötü bir görünüme sahip olmaktadır.

7.1. Yapay Sulak Alanlarda İşletme ve Bakım

Yapay sulak alanların işletilmesinde personel ve zaman ihtiyacı çok düşüktür. Sistemlerin özellikle pompa kullanıldığı durumlarda haftalık kontrol edilmesi yerinde olacaktır.

İşletme sırasında yapılacak işlemlerden bazıları şunlardır;

- Giriş yapısında eşit akış dağılımın, giriş ve çıkış yapılarında akışı engelleyecek bir madde ve deformasyonun olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Sistem içerisindeki su seviyesi kontrol edilmelidir.
- Giriş ve çıkış atık suyu debisi ve karakteristiği kontrol edilmelidir. Sistem performansı incelenmelidir.
- Tesisten rahatsız edici koku ve sivrisinek varlığı kontrolü yapılmalıdır.
- Bitkilerin canlılık durumu kontrol edilmeli, istenmeyen bitki türlerinin, ölü bitki artıklarının uzaklaştırılması gerekmektedir.
- Bitki türüne göre belirli zamanlarda bitki hasadı gerçekleştirilmelidir.
- Izgaraların ve foseptik yapılarının kontrolü ve periyodik temizlenmesi var ise pompaların kontrolü yapılmalıdır.
- Bariyer, çit vb. yapıların sağlamlığı kontrol edilmelidir [9,24].

7.2. Yapay Sulak Alanlarda Karşılaşılan Bazı Problemler ve Çözümleri

Yapay sulak alan arıtma tesislerinde genellikle benzer sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Bu sorunlar proje aşamasında, inşaat aşamasında ve işletme aşamasında olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilmektedir.

Proje Aşamasında

- Hatalı nüfus-debi hesaplamaları ve öngörülen atıksu karakterizasyonundaki hatalar.
  Projelendirme aşamasında yapılan nüfus-debi-atıksu karakterizasyonu hataları nedeni ile yapay sulak alan inşa edilecek arazinin çok büyük veya küçük seçilmesi, istenilen arıtma verimine ulaşılamaması gibi sorunlara neden olmaktadır. Çeşitli nüfus tahmin metotlarını doğru şekilde uygulayarak ve atıksu analizlerini yaparak doğru sonuçlara ulaşılabilir.
- Himaye çitinin ve servis yolunun düşünülmemesi.
  Yapay sulak alan tesisi projelendirilmesinde himaye çitinin projelendirilmemesi nedeni ile yapay sulak alanın bir süre sonra yerel hayvanların otlama alanı dönüşmesi ve giriş çıkışların kontrol edilmememe gibi sorunlar gözlenmektedir. Bu sorunların önüne geçebilmek için yeterli özelliklere sahip himaye çiti projelendirilme ve uygulanmalıdır.
- Yanlış bitki örtüsü seçilmesi ve kök sayısının yanlış hesaplanması.
  Yapay sulak alan bitki örtüsü seçiminde yerel iklime, toprağı, diğer bitki ve hayvan türlerine adapte olabilecek ve çabuk yetişebilecek yerel ve yöresel bitki türleri seçilmelidir [9,24,52].

İnşaat Aşamasında

- Giriş-çıkış borularının ve yatak medya malzemesinin uygun seçilmemesi nedeniyle meydana gelen tıkanmalar.
  Giriş çıkış yapılarının tıkanmasına katı maddeler neden olabilir. Giriş yapısının tıkanmaması için, tasarım ve inşa aşamasında dağıtımı homojen yapacak ve kolay tıkanmayacak çapı büyük malzeme kullanılmalıdır. Ayrıca, tıkanma olmaması için, sulak alan öncesi, ızgara, çökeltim veya foseptik tankları inşa edilmelidir.

- Bitki örtüsünün uygun sayıda ve uygun zamanda (mevsimde) ekiminin gerçekleştirilmemesi.

  Yapay sulak alan projelerinin yüklenici firmalar tarafından inşaatı dolayısı ile proje teslim tarihlerinden kaynaklanan uygun olmayan zamanlarda ekim yapılması, ekimi gerçekleştirilen bitki örtüsünün yok olmasına neden olmaktadır. Proje esnasında ve teslim tarihi konusunda bitkilerin özellikleri dikkate alınmalıdır.
- Projenin raporunda belirtilen esaslara inşaat aşamasında uyulmaması

  Proje müellifi tarafından hazırlanan projelendirme esas ve kriterlere uyularak tesisin inşası yapılmalıdır [9,24,52].

İşletme Aşamasında

- İşletme personeli düşünülmemesi ve sistemin bakımlarının-kontrollerinin yapılmaması.

  Resim 7.1'de görülebildiği gibi düzenli bakımı yapılmayan bir tesis de göllenme meydana gelebilmektedir. Yapay sulak alan tesislerinin de diğer atıksu arıtma tesisleri gibi hassas ve devamlı takibi gerekmektedir. Bu tesisler için bakım onarım tabloları oluşturulmalı ve uzman personeller görevlendirerek işletmenin takibi sağlanmalıdır.
- Bitki hasadının yapılmaması ve ölü bölgelere yeniden ekim gerçekleştirilmemesi.

  Yapay sulak alan kurulacak bölgenin iklim şartlarına uygun bitki seçimi yapılmalı ve bu bitkilerin tıkanmalara sebebiyet vermeyecek şekilde belli sıklıklarda hasadının yapılmalı ve ölü bölgelere yeni bitki ekimi yapılması gereklidir.
- Foseptiklerin ve manuel ızgaraların temizlenmemesi.

  Resim 7.2'de görülebildiği gibi düzenli kontörlü ve temizlenmesi yapılmayan giriş ünitelerinde tıkanmalar meydana gelebilmektedir. Yapay sulak alan öncesindeki foseptik ve ızgaralar dolma sıklığına göre belirlenen aralıklarda aksatılmadan temizlenmeli böylelikle sonradan gelen ekipmanlarda oluşan tıkanmanın önüne geçilmelidir.
- Bitki örtüsünün yok olması.

  İşletme aşamasında bakımı yapılmayan bir tesiste ekimi yapılan bitki yerine baskın ve yabani türler alabilmektedir (Resim 7.3). Su seviyesinin ayarlanamaması ve yabani otların baskınlığı bitki örtüsünün yok olmasına sebep olabilecek unsurlardandır. Bitki yönetiminde ilk amaç yapay sulak alan içerisindeki bitki grubunun devamlılığını sağlamaktır. Bitki örtüsünün devamlılığı için, su seviyesinin optimum seviyede

tutulması, organik yükün azaltılması, insektisit kullanımı ve yeniden bitki ekimi yapılması uygulanabilir.

- Koku oluşumu.

  Kötü kokunun kaynağı, genellikle, aşırı BOİ ve amonyak yüklemeleri ile meydana gelen anaerobik koşullarla alakalıdır. Koku; tasarım esaslarına uyulan ve düzgün işletilen yapay sulak alanlarda nadiren sorun oluştururlar. Atıksu yatağında ki kokunun önlenmesi için yapay sulak alan yatağında düzgün bir şekilde dağılması sağlanmalıdır [9,24,52].



Resim 7.1. Filtre malzemesi tıkanması kaynaklı göllenme gözlenen YSA [9]



Resim 7.2. Foseptik veya baca tıkanıklığı gözlenen YSA [9]



Resim 7.3. Bitkilendirilmesi yapılmamış, bitki hasadı yapılmamış YSA [9]

Bakım onarım faaliyetleri ile sorunları giderilen bazı tesislerin yeniden işletmeye alınması sonrası elde edilen bazı görseller (Resim 7.4) (Resim 7.5) (Resim 7.6) verilmektedir.



Resim 7.4. Büyükoba yapay sulak alanı



Resim 7.5. Gökçehüyük yapay sulak alanı



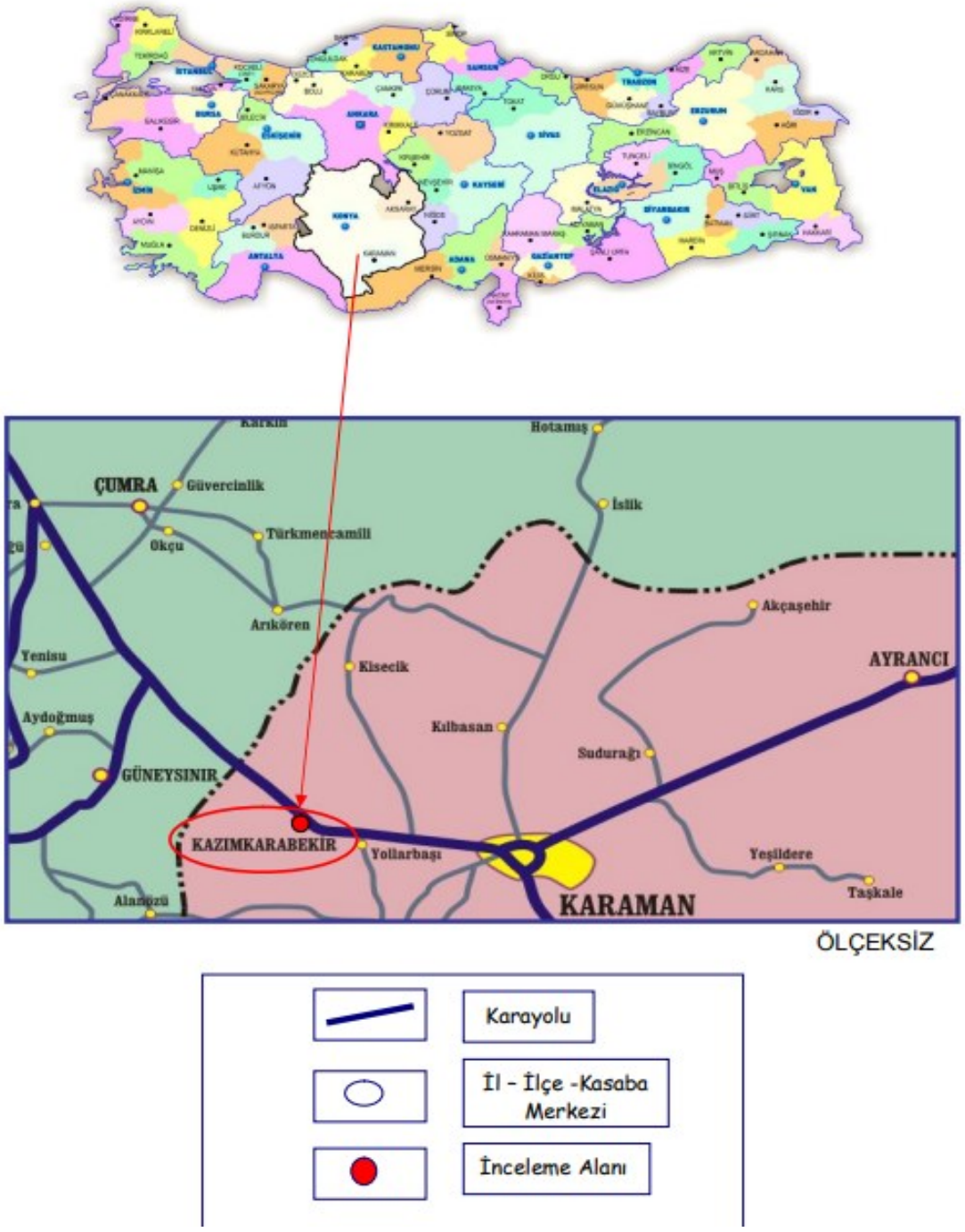


Resim 7.6. Çavdar yapay sulak alanı

8. MATERYAL VE YÖNTEM

8.1. İnceleme Alanının Türkiye'deki Yeri

Karaman Kazımkarabekir ilçesinin Türkiye'deki yeri Harita 8.1'de gösterilmektedir.



Harita 8.1. İnceleme alanının Türkiye'deki yeri

8.2. İnceleme Alanının Tanıtılması

Kazımkarabekir yurdumuzun İç Anadolu Bölgesinde Karaman iline bağlı, ilçelerden biridir. Kazımkarabekir 1989 yılında Karaman'ın il olmasıyla ilçe hüviyetine kavuşmuştur. İsmini Kazımkarabekir Paşa' dan almıştır. Kazımkarabekir İlçesi; Konya-Karaman Devlet yolu üzerinde Konya İline 85 km, Karaman İline 23 km mesafededir. İlçenin kuzeyinde Çumra, güneyinde Hadim, batısında Güneysınır, doğusunda Karaman yerleşimleri bulunmaktadır [53,54,55].

385 km^2'lik bir alana sahip olan ilçe İç Anadolu Bölgesinin güneyinde 37° 14' kuzey paraleli ve 32° 57' doğu meridyeni üzerindedir. İlçenin denizden yüksekliği 1 030 metredir [53,54,55].

Nüfus genellikle ilçe merkezinde toplanmıştır. İlçenin toplam 6 köyü mevcut olup; batıda Özyurt, Akarköy, Kızılkuyu, kuzeybatısında Sinci, doğusunda Mecidiye ve Karalgazi köyleridir [53,54,55].

8.3. Yörenin Topoğrafik Yapısı

İlçenin güneybatısında yer alan Hacıbaba dağı (Busala Dağı) 2 481 metre yüksekliğindeki zirvesiyle İç Anadolu Bölgesinin Konya bölümünde en yüksek noktadır. Kazımkarabekir'in güneybatısındaki Hacıbaba Dağı ile kuzey doğusundaki Karadağ (2 271metre) volkan topluluğu arasında geniş düzlükler uzanır [53,54,55].

İlçenin sınırları içerisinde yer alan ve kuzeybatı- güneydoğu istikametinde uzanan Hacıbaba Dağı Orta Toroslarla İç Anadolu Platosunun birbirine bağlandığı geniş bölgesinde olup, Orta Torosların İç Anadolu'ya doğru bir uzantısını teşkil eder [53,54,55].

Bu dağın kuzey yamacı Konya kapalı havzasına; güney yamacı ise Göksu Nehri vasıtası ile Akdeniz havzasına su gönderir. Dağın, güney ve kuzey yamaçlarının gösterdiği bu özellik açısından asimetrik bir topografya ortaya koyar. Bu asimetrik topografyadan dolayı dağın kuzey yamacının akarsu şebekesi, güney yamacına nazaran daha az gelişmiştir. Yani kuzey yamaçtaki derelerin hem debileri daha az hem de boyları daha kısadır [53,54,55].

8.4. Ulaşım İmkanları

Kazımkarabekir ilçesinin çevre il ve ilçe yerleşimlere ulaşımı Konya-Karaman bağlantısı olan karayolu ile sağlanmaktadır. Yerleşim bu yol üzerindedir [53,54,55]. İlçenin çevre merkezlere olan karayolu uzaklıkları Çizelge 8.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 8.1. Çevre merkezlere olan karayolu uzaklıkları

Yerleşimler	Uzaklık (km)
Karaman İli	23
Konya İli	85
Güneysınır İlçesi	42
Çumra İlçesi	65

8.5. İklim Özellikleri ve Meteorolojik Veriler

Karaman ili coğrafi yerleşim yeri olarak Akdeniz'e yakın olmasına rağmen dağların (Toroslar) denize paralel uzanmasından dolayı deniz etkisinden uzak kalmaktadır. Ancak bazı vadilerden gelen deniz rüzgarlarının etkisiyle küçük iklim bölgeciklerine rastlanmakta ise de karasal bir iklim hüküm sürmektedir. Bu iklim tipinin özelliği kışları sert, soğuk ve karlı, yazları ise sıcak ve kurak geçmesidir. Yağışlar genellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında yağmur, kışın ise kar şeklindedir. Yaz aylarında genellikle hiç yağış görülmez. İlçede karasal iklimin özelliğine bağlı olarak yağış rejimi düzenli değildir Ayrıca gece ve gündüz sıcaklıkları arasında büyük farklar görülmektedir. İlçenin genel bitki örtüsü steplerle kaplıdır. Yıllık ortalama sıcaklığı 11,5 ^{o}C olup yıllık toplam yağış miktarı 345 mm'dir [53,54,55,56].

8.6. Yörenin Tarihi ve Turistik Yapısı

İlçeye; Selçuklular, Beylikler ve Osmanlılar döneminde "Gaferiyat" ve "Gefr-iyad" isimleri verilmiştir. Cumhuriyet dönemi öncesinde ise "Gafferiyat" ismi kullanılmış ve 1956 yılında "Kazımkarabekir" ismi verilmiştir [53,54,55].

İlçe; konum olarak tarihi süreç içinde ipek ve baharat yolunun Anadolu'da ki devamı denilen Halep-Adana yolu üzerindeki ana ulaşım hattında bulunması nedeniyle önem kazanmış ve öne çıkmıştır [53,54,55].

İlçenin tarihi yapılardan bazıları ise; Kale Kapısı (Resim 8.1), Büyük (Nevruzoğlu) Cami ve Eminettin Cami'dir [53,54,55].



Resim 8.1. Kale kapısı

8.7. Yöredeki Endüstri Kuruluşları ve Ekonomi

Tarım, ilçenin ekonomisinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ekilebilir arazilerde arpa, buğday, yulaf, şeker pancarı ve mısır yetiştirilmektedir. Tarla bitkileri üretiminin yanı sıra bağ-bahçe tarımda önemli bir yeri bulunmaktadır. Bölgede sulama yetersizdir. Bu nedenler sulanabilir alanlar dışında meyve üretimi yapılamamaktadır. En çok üretilen meyveler kayısı, elma, armut ve eriktir. Bunlara ek olarak ilçenin sembolü sayılabilecek "Paşa Karpuzu" (Resim 8.2) olarak isimlendirilen karpuz cinside yetiştirilmektedir [57,58].



Resim 8.2. Paşa karpuzu

Tarım üretiminin yanı sıra ilçenin ekonomisine hayvancılıkta etki rol oynamaktadır. Özellikle küçükbaş hayvan yetiştiriciliği yapılmaktadır [57,58,59]. İlçenin alan kullanımları Çizelge 8.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 8.2. Kazımkarabekir alan kullanımı [59]

Alan Adı	Kazımkarabekir Alan Kullanım Türü		Karaman Alan Kullanım Türü		Türkiye Alan Kullanım Türü		Kazımkarabekir Alan Kullanımı		
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	Karaman (%)	28.Orta Anadolu Havzası (İle düşen) Arazi (%)	Türkiye (%)
Tarım Arazisi	21 521,8	55,86	264 880,60	30,03	24 294 680,8	31,00	8,13	1,15	0,09
Çayır-Mera	5 703,8	14,80	290 098,82	32,88	14 616 687,3	18,65	1,97	0,64	0,04
Diğer	1 350	3,50	160 972,82	18,25	21 389 783,0	27,30	0,84	0,93	0,01
Orman	9 951,7	25,83	166 241,62	18,24	18 056 548,9	23,04	5,99	3,33	0,06
Toplam	38 527,3	100	882 193,37	100	78 357 700,0	100	4,37	1,20	0,05

8.8. Doğal Su Kaynakları ve Alıcı Ortam Özellikleri

Kazımkarabekir Belediyesi yapay sulak alan atıksu arıtma tesisi yapılacak alanın yanından ve yakın çevresinden geçen dere, kanal vb. bulunmamaktadır (Çizelge 8.3). Bu nedenle atıksu arıtma tesisinde arıtılan sular tesis çıkışında bulunan havuzda toplanmaktadır.

Çizelge 8.3. Kazımkarabekir ilçesi su kaynakları [59]

Su Kaynakları	Mevcudiyet	Kullanım Şekli
Baraj	Yok	Yok
Yeraltı su kaynakları	Yeraltı su kaynakları bulunmaktadır	Sulama
Akarsular	Bölgedeki akarsuların çoğu mevsimlik geçici akarsulardır	Yok
Göller ve göletler	Yok	Sulama

8.9. Mevcut İçme Suyu ve Tesis Durumu

Kazımkarabekir Beldesinin ilk içmesuyu şebekesi 1953 yılında Devlet Su İşleri Konya Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Daha sonra 1968 yılında İller Bankası tarafından

içmesuyu tesisleri yapılmıştır. İhtiyaç dahilinde 1994 de projesi 1997 de içmesuyu şebeke inşaatı yenilenmiştir. Toplam 92 000 metre hat döşenmiştir.

Mevcut 50 + 200 + 75 m^3 lük depolara 600 + 100 m^3 lük depolar ilave edilmiştir. Mevcut terfi hattı 7,5 litre su getirirken ilave yapılan inşaatla 15 litre su daha getirilmiştir. Beldede kaynak suyu yalnızca 1 litre olup 12 adet mahalle çeşmesine gelmektedir. Diğer sular terfi hattı ile kuyulardan temin edilmektedir [60].

8.10. Mevcut Kanalizasyon İnşaatının Durumu

Kazımkarabekir (Karaman) Kanalizasyon Şebeke Kesin İlbank Genel Müdürlüğünce 13.01.2011 tarihinde tasdik ve ihale edilmiştir [60].

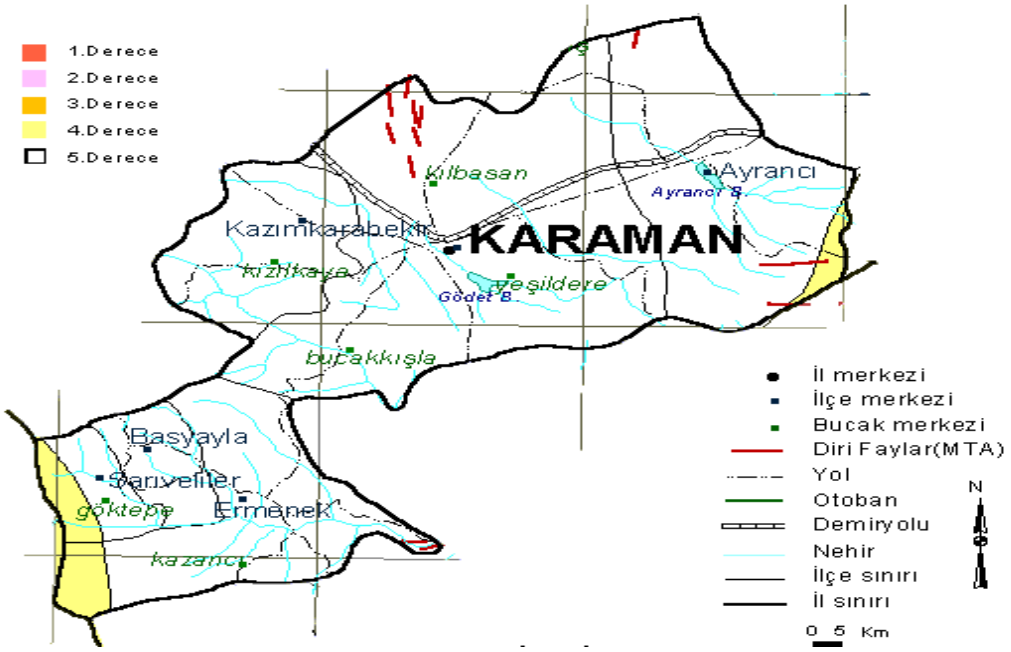
Tasdik edilen projeye göre;
1.Kademe L = 56 800 m
1. Kademe ø 200 L = 53 310 m.
1. Kademe ø 300 L = 3 490 m.
2. Kademe L = 89 629 m
2. Kademe ø 200 L = 89 629 m
Toplam L (1.kademe + 2.kademe) = 142 939 m

8.11. Jeoloji

İnceleme alanının güneyindeki yükseltilerde Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, inceleme alanı ve çevresindeki düzlük kesimlerde Neojen yaşlı kireçtaşı, kil taşı, marn ve çakıl taşlarından oluşan birimler ile inceleme alanının güneyinde yamaçlarda Kuvaterner yaşlı dağ eteği çökelleri, akarsu çökelleri ve traverten gelişimleri gözlenir. Ayrıca inceleme alanını kuzeydoğusunda bulunan Karadağ'da volkanik kayaçlar yüzeylemektedir [53,54,55].

8.12. Deprem Durumu

Kazımkarabekir (Karaman) ilçesi Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında "Beşinci derece deprem bölgesinde" bulunmaktadır (Harita 8.2) [61].



Harita 8.2. Karaman ili deprem haritası [61]

8.13. Kazımkarabekir Yapay Sulak Alan Atıksu Arıtma Tesisi Proje Hesapları ve Güncel Verilerle Tekrar Hesaplamaları

8.13.1. Nüfus hesapları

Tasarımda kullanılan hesaplar

Projenin tasarımı esnasında Kazımkarabekir Belediyesinin 2008-2014 yılları arası adrese dayalı nüfus sayım sonuçları hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Çizelge 8.4. 2008-2014 yıllara göre adrese dayalı nüfus sayım sonuçları

Belediye	Yıllara Göre Adrese Dayalı Nüfus Sayım Sonuçları						
Kazımkarabekir	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	3447	3312	3169	3092	3060	3055	3094

Proje 35 yıl hedef nüfusuna göre tasarlandığından tüm hesaplamalarda nüfus projeksiyonu proje bitiş yılı olan 2014 yılından, 35 yıl sonrasına 2049 yılına kadar yapılmıştır. Belde turistik özellikte olmadığından yaz-kış nüfus farkı bulunmadığı kabul edilmiştir.

Tasarım esnasında nüfusun hesaplanmasında 4 hesap yöntemi kullanılmıştır. Bunlar;

- Aritmetik artış yöntemi,
- Geometrik artış yöntemi,
- Eksponansiyel artış yöntemi ve
- İller Bankası nüfus artış metodudur.

Hesaplamaların ardından bulunan sonuçlar Çizelge 8.5'de verilmektedir.

Çizelge 8.5. Tasarım esnasında nüfus hesap sonuçları

Yıllar	Nüfus Hesap Metodu				
	Aritmetik	Geometrik	Eksponansiyel	İller Bankası	
				$Ç_{imar+}$ Ç = 1,00	$Ç_{max}$ = 1,27
2019	3 289	3 296	2 827	3 252	3 295
2024	3 484	3 511	2 584	3 418	3 510
2029	3 679	3 741	2 361	3 592	3 738
2034	3 874	3 985	2 158	3 775	3 982
2039	4 069	4 246	1 972	3 968	4 241
2044	4 264	4 523	1 803	4 170	4 517
2049	4 459	4 819	1 647	4 383	4 812

Proje kapsamında kullanılan gelecek nüfus yöntemleri sonucunda Eksponansiyel metot kabul edilmiş ve nüfus değeri 2 000 kişi alınmıştır.

Güncel verileri göre hesaplar

Gelecek nüfus değerlerinin yeniden hesaplanması esnasında Kazımkarabekir Belediyesinin 2008-2019 yılları arası adrese dayalı nüfus sayım sonuçları kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Çizelge 8.6. 2008-2019 yıllara göre adrese dayalı nüfus sayım sonuçları [56]

Yıllar	Adrese Dayalı Nüfus Sayım Sonuçları
2008	3 447
2009	3 312
2010	3 169
2011	3 092
2012	3 060
2013	3 055
2014	3 094
2015	3 145
2016	3 365
2017	3 266
2018	3 325
2019	3 265

Çizelge 8.6'da verilen güncel nüfus değerleri kullanılarak projede olduğu gibi aşağıda verilen 4 yöntem ile nüfus hesapları yapılmıştır.

- Aritmetik artış yöntemi,
- Geometrik artış yöntemi,
- Eksponansiyel artış yöntemi,
- İller Bankası nüfus artış metodu.

Aritmetik artış yöntemi

Yıllık nüfus artışı : $Ka = \frac{N2 - N1}{t2 - t1}$ (8.1)

Gelecekteki nüfus artışı : Ng = No + (Kaort . n) (8.2)

Aritmetik artış katsayısı (Ka) hesapları

Örnek hesaplama:

Ka 2009 – 2008 = $\frac{3\,312 - 3\,447}{2009 - 2008}$ = -135

Örnek hesaplamaya göre aritmetik artık katsayıları hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Çizelge 8.7. Aritmetik artış katsayısı değerleri

Yıllar	Aritmetik Artış Katsayıları
2009-2008	-135
2010-2009	-143
2011-2010	-77
2012-2011	-32
2013-2012	-5
2014-2013	39
2015-2014	51
2016-2015	220
2017-2016	- 99
2018-2017	59
2019-2018	-60
Ka ortalama	-16,54

Gelecek nüfus (Ng) hesapları

Örnek hesaplama:

Ng 2024 = 3 265 + (-16,54 . 5) = 3 182

Örnek hesaplamaya göre gelecek nüfus değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.8'de verilmiştir.

Çizelge 8.8. Aritmetik nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri

Yıllar	Gelecek Nüfus Değerleri
2024	3 182
2029	3 099
2034	3 016
2039	2 934
2044	2 831
2049	2 768

Geometrik artış yöntemi

Geometrik artış katsayısı : $Kg = \frac{\ln (N2/N1)}{t2 - t1}$ (8.3)

Gelecekteki nüfus : $\ln Ng = \ln No + (Kgort \cdot n)$ (8.4)

Geometrik artış katsayısı (Kg) hesapları

Örnek hesaplama:

Kg 2009-2008 = $\frac{\ln (3\ 312/3\ 447)}{2009 - 2008}$ = -0,0339

Örnek hesaplamaya göre geometrik artış katsayısı değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.9'de verilmiştir.

Çizelge 8.9. Geometrik artış katsayısı değerleri

Yıllar	Geometrik Artış Katsayıları
2009-2008	-0,0339
2010-2009	-0,0441
2011-2010	-0,0245
2012-2011	-0,0104
2013-2012	-0,0016
2014-2013	0,0126
2015-2014	0,0163
2016-2015	0,0676
2017-2016	-0,0298
2018-2017	0,0179
2019-2018	-0,0182
Kg ortalama	-0,0043

Gelecek nüfus (Ng) hesapları

Örnek hesaplama:

Ng 2024 = ln 3 265 + (-0,0043 . 5) = 8,069 $e^{8,069}$ = 3 193

Örnek hesaplamaya göre gelecek nüfus değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.10'da verilmiştir.

Çizelge 8.10. Geometrik nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri

Yıllar	Gelecek Nüfus Değerleri
2024	3 193
2029	3 127
2034	3 059
2039	2 995
2044	2 930
2049	2 869

Eksponansiyel artış yöntemi

Eksponansiyel artış katsayısı : $r = \frac{\ln N2 - \ln N1}{t2 - t1} . 100$ (8.5)

Gelecek nüfus : $Ng = No . e^{(rort . n)}$ (8.6)

Eksponansiyel artış katsayısı (r) hesapları

Örnek Hesaplama:

r 2009-2008 = $\frac{\ln 3\,312 - \ln 3\,447}{2009 - 2008} . 100$ = %-3,99

Örnek hesaplamaya göre eksponansiyel artış katsayısı değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.11'da verilmiştir.

Çizelge 8.11. Eksponansiyel artış katsayısı değerleri

Yıllar	Eksponansiyel Artış Katsayıları
2009-2008	%-3,99
2010-2009	%-4,41
2011-2010	%-2,46
2012-2011	%-1,04
2013-2012	%-0,16

Çizelge 8.11. (devam) Eksponansiyel artış katsayısı değerleri

Yıllar	Eksponansiyel Artış Katsayıları
2014-2013	%1,27
2015-2014	%1,63
2016-2015	%6,76
2017-2016	%-2,99
2018-2017	%1,79
2019-2018	%-1,82
r ortalama	%-049 = 0,0049

Gelecek nüfus (Ng) hesapları

Örnek hesaplama:

Ng 2024 = 3 265 . $e^{(-0,0049\,.\,5)}$ = 3 185

Örnek hesaplamaya göre gelecek nüfus değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.12'de verilmiştir.

Çizelge 8.12. Eksponansiyel nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri

Yıllar	Gelecek Nüfus Değerleri
2024	3 185
2029	3 108
2034	3 033
2039	2 960
2044	2 888
2049	2 818

İller bankası nüfus artış yöntemi

İller Bankası artış katsayısı : $P = \left(\sqrt[n]{\frac{N2}{N1}} - 1\right) . 100$ (8.7)

Gelecek nüfus : $Ng = No . \left(\frac{P}{100} + 1\right)^{n}$ (8.8)

İller bankası artış katsayısı (P) hesapları

Örnek hesaplama:

P 2009-2008 = $\left(\sqrt[1]{\frac{3\,312}{3\,447}} - 1\right)$. 100 = -3,916

Örnek hesaplamaya göre İller Bankası artış katsayısı değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.13'de verilmiştir.

Çizelge 8.13. İller Bankası artış katsayısı değerleri

Yıllar	İller Bankası Artış Katsayıları
2009-2008	-3,916
2010-2009	-4,317
2011-2010	-2,429
2012-2011	-1,034
2013-2012	-0,163
2014-2013	1,276
2015-2014	1,648
2016-2015	6,995
2017-2016	-2,942
2018-2017	1,806
2019-2018	-1,806
P ortalama	-0,443

İller Bankası yönetmeliğine göre P nüfus artış katsayısı sınırlanmıştır.

- P<1 ise P = 1
- 1< P <3 ise P = P
- P<1 ise P = 1 alınır.

P = -0,443 olduğundan P = 1 alınmıştır.

Gelecek nüfus (Ng) hesapları

Örnek hesaplama:

Ng 2024 = 3 265 . $\left(\frac{1}{100}+1\right)^{5}$ = 3 431

Örnek hesaplamaya göre gelecek nüfus değerleri hesaplanarak bu değerler Çizelge 8.14'de verilmiştir.

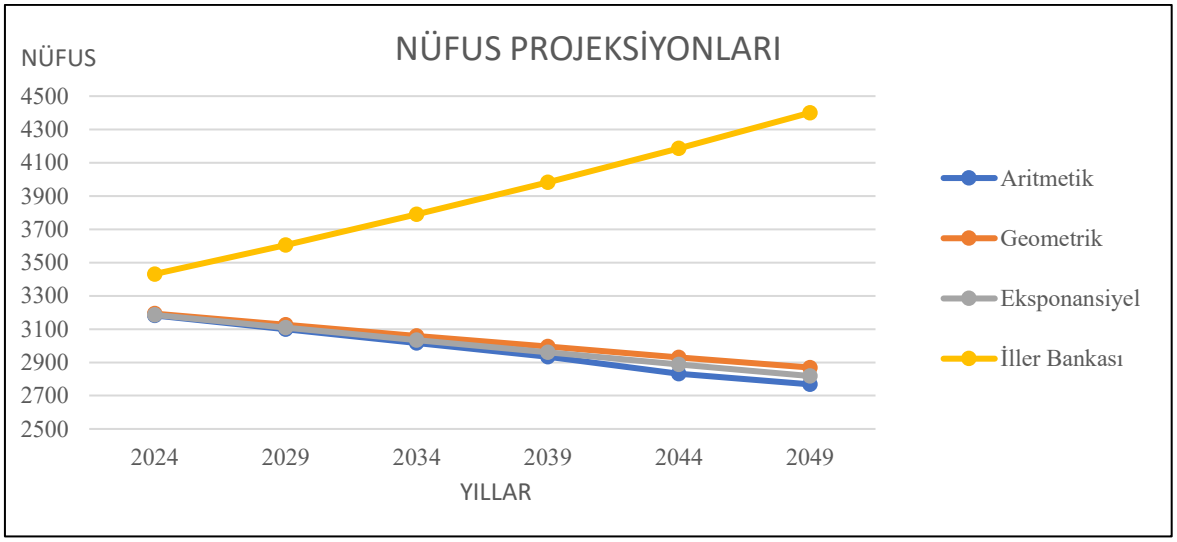
Çizelge 8.14. İller Bankası nüfus artış yöntemi gelecek nüfus değerleri

Yıllar	Gelecek Nüfus Değerleri
2024	3 431
2029	3 606
2034	3 790
2039	3 983
2044	4 187
2049	4 400

Kullanılan nüfus hesap yöntemleri sonuçunda hesaplanan değerler Çizelge 8.15'de verilmektedir. Bu değerler kullanılarak oluşturulan nüfus projeksiyonu grafiği Şekil 8.1'de verilmektedir.

Çizelge 8.15. Hesaplanan nüfus sonuçları

Yıllar	Nüfus Hesap Metotları			
	Aritmetik	Geometrik	Eksponansiyel	İller Bankası
2024	3 182	3 193	3 185	3 431
2029	3 099	3 127	3 108	3 606
2034	3 016	3 059	3 033	3 790
2039	2 934	2 995	2 960	3 983
2044	2 831	2 930	2 888	4 187
2049	2 768	2 869	2 818	4 400



Şekil 8.1. Nüfus projeksiyonları

Yapılan hesaplamalar sonucunda nüfus tahminleri ve şu ana kadarki adrese dayalı nüfus sonuçları incelendiğinde bölgenin nüfusunun tüm dünyada olduğu gibi bölge nüfusun şehirlere yöneldiği dolayısıyla nüfusun azalacağına kanaat getirilmiştir. Bu nedenle gelecek nüfus tahmin metotlarından geometrik yöntem sonuçlarının diğer hesaplamalarda kullanılmasına karar verilmiştir.2 869 kişi bulunan nüfus 3 000 kişi olarak alınmıştır.

8.13.2. Debi, atıksu konsantrasyonu ve kirlilik yükü hesaplamaları

Tasarımda kullanılan hesaplamalar

Proje dosyasında atıksu debisinin hesaplanmasında tesis kapasitesi 2 000 kişi, kişi başı atık su oluşumu değeri 100 l/kişi.gün alınmıştır. Buradan atıksu debisi 200 m^3/gün hesaplanmıştır.

Q = 2 000 kişi . 100 l/kişi.gün = 200 m^3/gün

Atıksu konsantrasyonları belirlenirken, kanalizasyon sistemi oluşmadığı, arıtma tesisi işletmeye alınmadığı ve alıcı ortam bulunmadığından atıksudan numune alınarak analizi yaptırılmamıştır. Bu nedenle Çizelge 8.16'da verilen değerler kabul edilmiştir ve kirlilik yükleri hesaplanmıştır. Tasarımda kabul edilen foseptik-YSA giderim verimleri ve belenen çıkış suyu konsantrasyonları Çizelge 8.17'de verilmektedir.

Çizelge 8.16. Tasarımda kabul edilen kirlilik konsantrasyonları ve kirlilik yükleri

Parametre	Evsel Atıksu Ortalama Konsantrasyonu (mg/l)	Kirlilik Yükü (kg/gün)
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	250	50
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	350	70
Askıda Katı Madde	200	40
pH	6-9	-

Çizelge 8.17. Tasarımda kabul edilen foseptik-YSA giderim verimleri ve belenen çıkış suyu konsantrasyonları

Parametre	Evsel Atıksu Ortalama Konsantrasyonu (mg/l)	Foseptik Ortalama Giderim Verimi (%)	Yapay Sulak Alan Ortalama Giderim Verimi (%)	Beklenen Çıkış Suyu Konsantrasyonu (mg/l)
BOİ	250	20-30	80	40
KOİ	350	20	70	84
AKM	200	40	90	12

Güncel verileri göre hesaplamalar

Atıksu debisinin hesaplanmasında tesis kapasitesi 3 000 kişi alınmıştır. Kişi başı atıksu oluşumu değeri ve kirlilik yükleri Çizelge 8.18.'den alınmış, atıksu konsantrasyonları hesaplanmıştır.

Çizelge 8.18. Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi [2]

Nüfus Aralığı	Atıksu Oluşumu l/kişi.gün	KOİ gr/kişi.gün	BOİ gr/kişi.gün	AKM gr/kişi.gün	TN gr/kişi.gün	TP gr/kişi.gün
2 000-10 000	80	55	40	35	5	0,9
10 000-50 000	90	75	45	45	6	1,0
50 000-100 000	100	90	50	50	7	1,1

Debi hesaplamaları

N =3 000 kişi
Kişi başı atık su oluşumu (q): 80 l/kişi.gün alınmıştır.

Evsel atıksu debisi hesaplaması

$$Qev = q \cdot N \quad (8.9)$$

Qev = 80 l/kişi.gün . 3 000 kişi
Qevmax = 240 m^3/gün

Sanayi debisi hesaplaması:

Bölgede sanayi kuruluşu bulunmadığı için sanayi debisi sıfır olarak alınmıştır.

Yağmur suyu debisi hesaplaması

Yağmur suyu debisi evsel atıksu debisinin %5-10'u aralığında kabul edilebilmektedir. Hesaplamalarda %10 kabul edilmiştir.

Qyağmur = 240 m^3/gün . 0,1
Qyağmur = 24 m^3/gün

Proje debisi hesaplaması

$$Qproje = \frac{Qevmax}{n1} + \frac{Qsanayi}{n2} \quad (8.10)$$

Çizelge 8.19. Nüfusa bağlı olarak n1 sabiti değişimi [62]

Nüfus	<1000	1 000-10 000	10 000-100 000	100 000-1 000 000	>1 000 000
n1	10	12	14	16	18-20

Nüfusa bağlı olarak n1 sabiti değişimi Çizelge 8.19'da verilmektedir.

n1 sabiti =12 sa/gün alınmıştır.

$$Qproje = \frac{240\ m^3/gün}{12/24}$$

$$Qproje = 480\ m^3/gün$$

Maksimum debi hesaplaması

$$Qmax = \frac{Qevmax}{n1} + Qyağmur + Qsanayi \quad (8.11)$$

$$Qmax = \frac{240\ m^3/gün}{12/24} + 24\ m^3/gün$$

$$Qmax = 504\ m^3/gün$$

Minimum debi hesaplaması

$$Qmin = \frac{Qev}{n3} + \frac{Qsanayi}{n4} \quad (8.12)$$

n3 = 37-40 arasında bir değerdir. [62]

n3 = 37 seçilmiştir.

$$Qmin = \frac{240\ m/gün}{37/24}$$

$$Qmin = 155\ m^3/gün$$

Hesaplamaların sonunda elde edilen debi değerleri Çizelge 8.20'de verilmektedir.

Çizelge 8.20. Güncel veriler ile hesaplanan debiler

Debiler	m^3/gün	m^3/sa	l/sn
Qev	240	10	2,77
Qyağmur	24	1	0,27
Qproje	480	20	5,55
Qmax	504	21	5,83
Qmin	153	6,37	1,77

Atıksu konsantrasyonları ve kirlilik yükleri hesaplamaları

Qproje = 480 m^3/gün
N = 3 000 kişi
Kirlilik Yükü (kg/gün) = Konsantrasyon (mg/l) . Debi (m^3/gün)

Kirlilik yükleri hesaplamaları

BOİ yükü: 40 gr/kişi.gün . 3 000 kişi = 120 kg/gün
KOİ yükü: 55 gr/kişi.gün . 3 000 kişi = 165 kg/gün
AKM yükü: 35 gr/kişi.gün . 3 000 kişi = 105 kg/gün
TN yükü: 5 gr/kişi.gün . 3 000 kişi = 15 kg/gün
TP yükü: 0,9 gr/kişi.gün . 3 000 kişi = 2,7 kg/gün

Atıksu konsantrasyonları hesaplamaları

BOİ konsantrasyonu: $\frac{120\ \text{kg/gün}}{480\ \text{m}^3/\text{gün}}$ = 250 mg/l
KOİ konsantrasyonu: $\frac{165\ \text{kg/gün}}{480\ \text{m}^3/\text{gün}}$ = 344 mg/l
AKM konsantrasyonu: $\frac{105\ \text{kg/gün}}{480\ \text{m}^3/\text{gün}}$ = 219 mg/l
TN konsantrasyonu: $\frac{15\ \text{kg/gün}}{480\ \text{m}^3/\text{gün}}$ = 31,25 mg/l
TP konsantrasyonu: $\frac{2{,}7\ \text{kg/gün}}{480\ \text{m}^3/\text{gün}}$ = 5,62 mg/l

Hesaplamaların sonunda elde edilen atıksu konsantrasyonları ve kirlilik yükleri Çizelge 8.21'de verilmektedir. Güncel veriler için kabul edilen foseptik-YSA giderim verimleri ve belenen çıkış suyu konsantrasyonları Çizelge 8.22'de verilmektedir.

Çizelge 8.21. Güncel veriler ile hesaplanan atıksu konsantrasyonları ve kirlilik yükleri

Parametre	Evsel Atıksu Ortalama Konsantrasyonu (mg/l)	Kirlilik Yükü (kg/gün)
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	250	120
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	344	165
Askıda Katı Madde	219	219
Toplam Azot	31,25	15
Toplam Fosfor	5,62	2,7
pH	6-9	-

Çizelge 8.22. Güncel veriler için kabul edilen foseptik-YSA giderim verimleri ve belenen çıkış suyu konsantrasyonları

Parametre	Evsel Atıksu Ortalama Konsantrasyonu (mg/l)	Foseptik Ortalama Giderim Verimi (%)	Yapay Sulak Alan Ortalama Giderim Verimi (%)	Beklenen Çıkış Suyu Konsantrasyonu (mg/l)
BOİ	250	20-30	80	35
KOİ	344	20	70	82
AKM	219	40	90	13
TN	31,25	-	70	9,3
TP	5,62	-	30	3,9

8.13.3. Foseptik ve ızgara hesaplamaları

Tasarımda kullanılan hesaplamalar

Foseptik Hesaplamaları

Proje kapsamında 200 m^3 hacimli 4 Gözlü Çöktürme Tipi Foseptik tasarlanmıştır. Foseptik, betonarme, sızdırmasız ve atık suyun maksimum -1 m'den geldiği kabul edilerek tasarlanmıştır. Yapılmış olan foseptiğin boyutları aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

Dört Gözlü Foseptiklerde;

1. Göz : 2/5 $\mathcal{V}$,

2. Göz : 1/5 $\mathcal{V}$,

3. Göz : 1/5 $\mathcal{V}$,

4. Göz : 1/5 $\mathcal{V}$ orantısına göre hesaplanacaktır.

Buna göre;

1. Göz : 2/5 . 200 m^3 = 82,5 m^3,

2. Göz : 1/5 . 200 m^3 = 41,25 m^3,

3. Göz : 1/5 . 200 m^3 = 41,25 m^3,

4. Göz : 1/5 . 200 m^3 = 41,25 m^3,

Hesaplanan foseptiğin derinliği 3,3 m seçilerek 1. göz 5,50 m genişliğinde, 6,0 m uzunluğunda, diğer gözler ise 5,50 m genişliğinde, 3,0 m uzunluğunda tasarlanmıştır.

Bu durumda yeni hacim:

(3,3 . 5,5 . 6) + 3.(3,3 . 5,5 . 3) = 272,25 m^3/gün olarak bulunmuştur.

Izgara hesaplamaları

Kaba ızgara hesaplamaları

Giriş boru çapı, ø	: 200 mm HDPE boru	
Tasarımda kullanılacak debi	: 100 m^3/gün	
Kaba ızgara sayısı	:1 kanal	
Kanal genişliği, b	: 0,31 m (1 kanal için)	
Çubuklar arası mesafe, w	: 40 mm	
Çubuk kalınlığı, d	: 10 mm	
Çubuk sayısı, η	: b = ((η + 1) . b2) + (b1 . η))	(8.13)
Çubuk sayısı (hesaplanan)	: 5,40 adet	
Çubuk sayısı (seçilen)	: 6 adet	
Izgara serbest genişliği, W	: W = b - (b1 . η)	(8.14)
	: 0,25 m	

Hız kontrolleri

Kanal taban eğimi, j : 0.00100 m/m (1 /1000)
Beton pürüzlülük katsayısı, η : 0,013
Izgara çubuk Şekil faktörü, ß : 2,42
Izgaranın yatayla yaptığı açı : 75°

$K = (Qmaks \cdot \eta) / (b^{8/3} \cdot j^{1/2})$ (8.15)
: 0,0216
X : 0,1070

Açık kanalda su yüksekliği, hsu : $hsu = X \cdot b$ (8.16)
: 0,03 m

Çubuklar arası maksimum su hızı, V1 : 0,28 m/sn
Izgara kanalında maksimum su hızı, V2 : 0,23 m/sn

Izgara yük kaybı, Hk: $Hk = [V1^2 - V2^2] / 2g \times (1/C)$ (8.17)
: 0,002 m

İnce ızgara hesaplamaları

İnce ızgara sayısı : 1 adet
Kanal genişliği, b : 0,31 m (1 kanal için)
Çubuklar arası mesafe, w : 20 mm
Çubuk kalınlığı, d : 10 mm
İnce ızgaradaki çubuk sayısı Eş. 8.13 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.
Çubuk sayısı (hesaplanan) : 9,5 adet
Çubuk sayısı (seçilen) : 10 adet
Izgara serbest genişliği, Eş. 8.14 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.
: 0,11 m

Hız kontrolleri

Kanal taban eğimi, j : 0,00050 m/m (1/2 000)
Beton pürüzlülük katsayısı, ɳ : 0,013
Izgara çubuk şekil faktörü, ß : 2,42
Izgaranın yatayla yaptığı açı : 75°

Izgara yatay açıklığı Eş. 8.15 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.
K : 0,0306
X : 0,135

Açık kanalda su yüksekliği, hsu Eş. 8.16 kullanılarak hesaplanmıştır.
: 0,0419 m
Çubuklar arası maksimum su hızı, V1 : 0,5 m/sn
Izgara kanalında maksimum su hızı, V2 : 0,18 m/sn

Izgara yük kaybı, Hk Eş. 8.17 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.
: 0,016 m

<u>Güncel verileri göre hesaplamalar</u>

Foseptik Hesaplamaları

504 m^3 hacimli 4 Gözlü Çöktürme Tipi Foseptik tasarlanmıştır. Foseptik, betonarme, sızdırmasız ve atık suyun maksimum -1 m'den geldiği kabul edilerek tasarlanmıştır. Tasarlanmış foseptiğin boyutları aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

Dört Gözlü Foseptiklerde;
1. Göz : 2/5 $\mathcal{V}$,
2. Göz : 1/5 $\mathcal{V}$,
3. Göz : 1/5 $\mathcal{V}$,
4. Göz : 1/5 $\mathcal{V}$ orantısına göre hesaplanacaktır.

Buna göre;

1. Göz : 2/5 . 504 m^3 = 202 m^3,

2. Göz : 1/5 . 504 m^3 = 101 m^3,

3. Göz : 1/5 . 504 m^3 = 101 m^3,

4. Göz : 1/5 . 504 m^3 = 101 m^3

Hesaplanan foseptiğin derinliği 4 m seçilerek 1. göz 6,5 m genişliğinde, 8 m uzunluğunda, diğer gözler ise 6,5 m genişliğinde, 4 m uzunluğunda tasarlanmıştır.

Bu durumda yeni hacim:

(4 m . 6,5 m . 8 m) + (4 m . 6,5 m .4 m).3 = 520 m^3/gün olarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalar sonucunda elde edilmiş foseptik boyutları Çizelge 8.23'de verilmiştir.

Çizelge 8.23. Güncel veriler ile hesaplanmış foseptik değerleri

Foseptik	Derinlik (m)	Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Hacim (m^3)
1.Göz	4	6,5	8	208
2.Göz	4	6,5	4	104
3.Göz	4	6,5	4	104
4.Göz	4	6,5	4	104

Izgara hesaplamaları

$$Q = \frac{1}{\eta} . R^{2/3} . j^{1/2} . A \quad (8.18)$$

Q =504 m^3/gün = 0,00583 m^3/sn

η = 0,013

$$R = \frac{b . h}{b + 2h} \quad (8.19)$$

j = 0,001

$$A = b.h \quad (8.20)$$

$$0{,}00583\ m^3/sn = \frac{1}{0{,}013} . \left(\frac{b.h}{b+2h}\right)^{2/3} . (0{,}001)^{1/2} . (b.h)$$

b = 0,4 m seçilir ise; h = 0,07 m bulunur.

$$Vyak = \frac{Q}{b.h} \quad (8.21)$$

$$Vyak = \frac{0{,}00583\ m^3/sn}{0{,}4\ m\ .\ 0{,}07\ m} = 0{,}2\ m/sn$$

Kaba ızgara hesaplamaları

Çubuk kalınlığı (d) = 1 cm seçildi.
Çubuklar arası boşluk (w) = 4 cm seçildi.

Çubuk sayısı (η)

$$b = (\eta + 1)\ .\ w + (\eta\ .\ d) \quad (8.22)$$

40 cm = (η +1) . 4 + (η . 1)
η = 7,2 ≅ 8 adet bulunur.

Izgara serbest genişliği (W)

$$W = b - (n\ .\ d) \quad (8.23)$$

W = 40 cm – (8 . 1)
W = 32 cm bulunur.

$$Vızg = \frac{Q}{W.h} \quad (8.24)$$

$$Vızg = \frac{0{,}00583\ m^3/sn}{0{,}32\ m\ .0{,}07\ m} = 0{,}26\ m/sn$$

Yük kaybı (Hk)

$$Hk = \left(\frac{Vızg^2 - Vyak^2}{2\ .\ g}\right).\frac{1}{0{,}7} \quad (8.25)$$

$$Hk = \left(\frac{0{,}26^2 - 0{,}2^2}{2\ .\ 9{,}81}\right).\frac{1}{0{,}7} = 0{,}002\ m$$

Izgara uzunluğu (L)

Izgara yatay açısı = 60 ° seçildi.
Hava payı = 0,5 m seçildi.

H = 0,5 m + 0,07 m = 0,57 m

$$L = \frac{H}{\sin\propto} \quad (8.26)$$

$$L = \frac{0{,}57\ m}{\sin 60} = 0{,}66\ m$$

İnce ızgara hesaplamaları

Çubuk kalınlığı (d) = 1 cm seçildi.
Çubuklar arası boşluk (w) = 2 cm seçildi.

Çubuk sayısı (η)

Çubuk Sayısı Eş. 8.22 kullanılarak hesaplanmıştır.
40 cm = (η +1) . 2 + (η . 1)
η = 12,6 ≅ 13 adet bulunur.

Izgara serbest genişliği (W)

Izgara serbest genişliği Eş. 8.23 kullanılarak hesaplanmıştır.
W = 40 cm – (13 . 1)
W = 27 cm bulunur.

Izgaradaki hız Eş. 8.24 kullanılarak hesaplanmıştır.

$V_{ızg} = \frac{0{,}00583\ m^3/sn}{0{,}27\ m\ .\ 0{,}07\ m}$ =0,3 m/sn

Yük kaybı (Hk)

Izgara Yük Kaybı Eş. 8.25 kullanılarak hesaplanmıştır.

$Hk = \left(\frac{0,3^2 - 0,2^2}{2\ .\ 9,81}\right).\frac{1}{0,7} = 0,0036$ m

Izgara uzunluğu (L)

Izgara yatay açısı = 60 ° seçildi.

Hava payı = 0,5 m seçildi.

H = 0,5 m + 0,07 m = 0,57 m

Izgara Uzunluğu Eş. 8.26 kullanılarak hesaplanmıştır.

$L = \frac{0,57\ m}{sin60} = 0,66$ m

Hesaplamalar sonucunda elde edilmiş ızgara değerleri Çizelge 8.24'de verilmiştir.

Çizelge 8.24. Güncel veriler ile hesaplanmış izgara değerleri

	Kaba Izgara	İnce Izgara
Çubuk Kalınlığı (cm)	1	1
Çubuklar Arası Boşluk (cm)	4	2
Çubuk Sayısı	8	13
Izgara Serbest Genişliği (cm)	32	27
Izgara Çubukları Arası Hız (m/sn)	0,26	0,3
Yük Kaybı (m):	0,002	0,0036

8.13.4. Yüzey altı akışlı yapay sulak alan tasarımı

Tasarım esnasında Bkz. Çizelge 6.1'de aralık değerleri kullanılarak hesaplanan değerlerin uygunlukları değerlendirmelidir

Tasarım esnasında kullanılacak dolgu malzemesi için porozite, hidrolik iletkenlik ve K_{20} değerleri Çizelge 8.25 kullanılarak belirlenmektedir.

Çizelge 8.25. Yüzey altı akışlı sulak alan sistemleri için tipik ortam karakteristikleri [2]

Ortamın Tipi	Maksimum % 10 Dane Büyüklüğü (mm)	Porozite α	Hidrolik İletkenlik (k_s) m^3/m^2.gün	K_{20}
Orta Kum	1	0,42	420	1,84
Kuvars Kum	2	0,39	480	1,35
Çakıllı Kum	8	0,35	500	0,86

Tasarımda kullanılan hesaplamalar

Giriş BOİ konsantrasyonu (Co): 157,5 mg/l

Çıkış BOİ konsantrasyonu (Cs): 23 mg/l

Atık debisi (Q): 200 m^3/gün

Nüfus(N): 2 000 kişi

Minimum su sıcaklığı (ţ): 10 °C

Yatak Dolgu malzemesi: Çakıllı kum alınmıştır. Çizelge 8.25'dan ∝, Ks, K_{20} değerleri alınmıştır.

Yatak Eğimi (j): %1

Yatak Sayısı: 4 adet alınmıştır.

Yatağın Alan Başı Su Yüksekliği (h): 0,7 m alınmıştır.

Yatakta kullanılacak dolgu malzemesinin Kt derecesindeki geçirgenlik hesaplaması

$$Kt = K_{20} \cdot 1{,}1^{(t-20)} \quad (8.28)$$

$$Kt = 0{,}86 \cdot 1{,}1^{(10-20)}$$

$$Kt = 0{,}33 \text{ gün}^{-1}$$

Atıksuyun yataktaki alıkonma süre hesaplaması

$$T = \frac{-\ln(Cs/Co)}{Kt} \quad (8.29)$$

$$T = \frac{-\ln(23 \text{ mg/l} \,/\, 157{,}5 \text{ mg/l})}{0{,}33}$$

$$T = 5{,}83 \text{ gün}$$

Yatak en kesit alanı hesaplaması

$$Ac = \frac{Q}{Ks \,.\, j} \tag{8.30}$$

$$Ac = \frac{50\ m^3/gün}{500\ .\ 0{,}01}$$

$$Ac = 10\ m^2$$

Yatak genişliği hesaplaması

$$\mathcal{W} = \frac{Ac}{h} \tag{8.31}$$

$$\mathcal{W} = \frac{10\ m^2}{0{,}7\ m}$$

$\mathcal{W}$ = 14,02 m olarak bulunmuştur. Fakat hidrolik yükleme değerlerine uygun olmadığından 20 m kabul edilmiştir.

Yatak uzunluğu hesaplaması

$$L = \frac{T\ .\ Q}{\mathcal{W}\ .\ h\ .\ \propto} \tag{8.32}$$

$$L = \frac{5{,}83\ gün\ .\ 50\ m^3/gün}{20\ m\ .\ 0{,}7\ m\ .\ 0{,}35}$$

$$L = 60\ m$$

Gerekli yatak alanı hesaplaması

$$As = L\ .\ \mathcal{W} \tag{8.33}$$

$$As = 60\ m\ .\ 20\ m$$

$$As = 1\ 200\ m^2$$

Hidrolik yükleme hızı hesaplaması

$$Lw = \frac{Q}{As} \tag{8.34}$$

$$Lw = \frac{50\ m^3/gün}{1\ 200\ m^2}$$

$$Lw = 0{,}04\ m^3/m^2.gün$$

Spesifik alan hesaplaması

$$Asp = \frac{1}{Lw} \quad (8.35)$$

$$Asp = \frac{1}{0{,}04\ m^3/m^2\ .\ gün}$$

$$Asp = 25\ m^3/m^2\ .\ gün$$

$BOİ_5$ yükleme hızı hesaplaması

$$LBOİ_5 = Q\ .\ Co \quad (8.36)$$

$$LBOİ_5 = 50\ m^3/gün\ .\ 157{,}5\ mg/l$$

$$LBOİ_5 = 7{,}875\ kg/gün$$

$$BOİ_5\ yükleme\ hızı = \frac{7{,}875\ kg/gün}{1\ 200\ m^2}$$

$BOİ_5$ yükleme hızı = 0,0065 kg/m^2.gün

Kişi alan ihtiyacı hesaplaması:

$$Kişi\ başı\ alan\ ihtiyacı = \frac{As}{N} \quad (8.37)$$

$$Kişi\ başı\ alan\ ihtiyacı = \frac{4\ 800\ m^2}{2\ 000\ kişi}$$

Kişi başı alan ihtiyacı = 2,4 m^2/kişi

Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Çizelge 8.26'da verilmektedir.

Çizelge 8.26. Tasarımında kullanılan ve hesaplanan değerleri

Parametre	Sembol	Birim	Değer
Atık Debisi	Q	m^3/gün	200
Nüfus	N	kişi	2 000
Giriş BOİ Konsantrasyonu	Co	mg/l	157,5
Çıkış BOİ Konsantrasyonu	Cs	mg/l	23
Minimum Su Sıcaklığı	t	°C	10
Yatak Eğimi	j	%	1
Kullanılan Bitki Türü	-	-	-
Yatak Sayısı	-	adet	4
Yatağın Alan Başı Su Yüksekliği	h	m	0,7
Yatağın Alan Sonu Su Yüksekliği	h	m	1,3
Yatak Uzunluğu	L	m	60
Yatak Genişliği (Bir Yatak İçin)	w	m	20
Yatağın Yerleşim Alanı (Bir Yatak İçin)	As	m^2	1 200
Yatağın En Kesit Alanı (Bir Yatak İçin)	Ac	m^2	10
Dolgu Malzemesi	-	-	Çakıllı Kum
Hidrolik İletkenlik	Ks	m^3/m^2.gün	500
20 °C'deki Geçirgenlik Sabiti	K_{20}	$gün^{-1}$	0,86
Porozite	$\propto$	-	0,35
10 °C'deki Geçirgenlik Sabiti	Kt	$gün^{-1}$	0,33
Atık Su Alıkonma Süresi	T	gün	5,83
Hidrolik Yükleme Hızı (Bir Yatak İçin)	Lw	m^3/m^2.gün	0,04
Spesifik Alan (Bir Yatak İçin)	Asp	m^3/m^2.gün	25
$BOİ_5$ Yükleme Hızı (Bir Yatak İçin)	-	kg/m^2.gün	0,0065
Kişi Başı Alan İhtiyacı	-	m^2/kişi	2,4

<u>Güncel verileri göre hesaplamalar</u>

Giriş BOİ konsantrasyonu (Co): 175 mg/l

Çıkış BOİ konsantrasyonu (Cs): 35 mg/l

Atık debisi (Q): 480 m^3/gün

Nüfus (N): 3 000 kişi

Minimum su sıcaklığı (ţ): 10 ˚C

Yatak dolgu malzemesi: Çakıllı kum seçilmiştir. Çizelgeden (Bkz. Çizelge 8.25) ∝, Ks, K_{20} değerleri alınmıştır.

Yatak eğimi (j): %0,75

Seçilen bitki cinsi: *Phragmites australis* (Saz Otu)

Yatağın alan başı su yüksekliği (h) saz otu kullanılması nedeni ile 0,4 m seçilmiştir.

Yatakta kullanılacak dolgu malzemesinin Kt derecesindeki geçirgenlik hesaplaması

Yatay dolgu malzemesi Eş. 8.28 kullanılarak hesaplanmıştır

$Kt = 0{,}86 \cdot 1{,}1^{(10-20)}$

$Kt = 0{,}33$ gün^{-1}

Atıksuyun yataktaki alıkonma süre hesaplaması

Yatay alıkonma süresi Eş. 8.29 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T = \frac{-\ln(35\ mg/l\ /\ 175\ mg/l)}{0{,}33}$$

T = 4,9 gün

4< T <15 uygundur.

Yatak en kesit alanı hesaplaması

Yatak en kesit alanı Eş. 8.30 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Ac = \frac{480\ m^3/gün}{500\ .\ 0{,}075}$$

$Ac = 128\ m^2$

Bir yatak için: $\frac{128}{10} = 12{,}8\ m^2$

Yatak genişliği hesaplaması

W = Eş. 8.31

$$W = \frac{128\ m^2}{0{,}4\ m}$$

W = 320 m

Bir yatak için: $\frac{320}{10} = 32$ m

Yatak uzunluğu hesaplaması

Yatak uzunluğu Eş. 8.32 kullanılarak hesaplanmıştır.

$L = \frac{4{,}9 \text{ gün} \cdot 480 \text{ m}^3/\text{gün}}{320 \text{ m} \cdot 0{,}4 \text{ m} \cdot 0{,}35}$

L = 52,5 m

Gerekli yatak alanı hesaplaması

Yatak genişliği Eş. 8.33 kullanılarak hesaplanmıştır.

As = 52,5 m . 320 m

As = 16 800 m^2

Bir yatak için: $\frac{16\,800 \text{ m}^2}{10}$ = 1 680 m^2

Hidrolik yükleme hızı hesaplaması

Hidrolik bekletme süresi Eş. 8.34 kullanılarak hesaplanmıştır.

$Lw = \frac{480 \text{ m}^3/\text{gün}}{16\,800 \text{ m}^2}$

Lw = 0,0285 m^3/m^2.gün

0,014< Lw <0,050 uygundur.

Spesifik alan hesaplaması

Spesifik alan ihtiyacı Eş. 8.35 kullanılarak hesaplanmıştır.

$Asp = \frac{1}{0{,}0285 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{gün}}$

Asp = 35,7 m^3/m^2.gün

71,6< Asp <21,4 uygumdur.

$BOİ_5$ yükleme hızı hesaplaması

$BOİ_5$ yükleme hızı Eş. 8.36 kullanılarak hesaplanmıştır.

$LBOİ_5 = 480\ m^3/gün\ .\ 175\ mg/l$

$LBOİ_5 = 84\ kg/gün$

$BOİ_5$ yükleme hızı$= \frac{84\ kg/gün}{16\ 800\ m^3}$

$BOİ_5$ yükleme hızı$= 0{,}005\ kg/m^2.gün$

$BOİ_5$ yükleme hızı $<0{,}0067$ uygundur.

Kişi alan ihtiyacı hesaplaması

Kişi başı alan ihtiyacı Eş. 8.37 kullanılarak hesaplanmıştır.

Kişi başı alan ihtiyacı $= \frac{16\ 800\ m^2}{3\ 000\ kişi}$

Kişi başı alan ihtiyacı $= 5{,}6\ m^2/kişi$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Çizelge 8.27'de verilmektedir.

Çizelge 8.27. Güncel veriler için kullanılan ve hesaplanan değerleri

Parametre	Sembol	Birim	Değer
Atık debisi	Q	m^3/gün	480
Nüfus	N	kişi	3 000
Giriş BOİ Konsantrasyonu	Co	mg/l	175
Çıkış BOİ Konsantrasyonu	Cs	mg/l	35
Minimum Su Sıcaklığı	t	°C	10
Yatak Eğimi	j	%	0,75
Kullanılan Bitki Türü	-	-	Saz Otu
Yatak Sayısı	-	adet	10
Yatağın Alan Başı Su Yüksekliği	h	m	0,4
Yatağın Alan Sonu Su Yüksekliği	h	m	0,8
Yatak Uzunluğu	L	m	52,5
Yatak Genişliği	W	m	32
Yatağın Yerleşim Alanı	As	m^2	1 680
Yatağın En Kesit Alanı	Ac	m^2	12,8
Dolgu Malzemesi	-	-	Çakıllı Kum

Çizelge 8.27. (devam) Güncel veriler için kullanılan ve hesaplanan değerleri

Parametre	Sembol	Birim	Değer
Hidrolik İletkenlik	Ks	m^3/m^2.gün	500
20 °C'deki Geçirgenlik Sabiti	K_{20}	$gün^{-1}$	0,86
Porozite	$\propto$	-	0,35
10 °C'deki Geçirgenlik Sabiti	Kt	$gün^{-1}$	0,33
Atık Su Alıkonma Süresi	T	gün	4,9
Hidrolik Yükleme Hızı	Lw	m^3/m^2.gün	0,0285
Spesifik Alan	Asp	m^3/m^2.gün	35,7
$BOİ_5$ Yükleme Hızı	-	kg/m^2.gün	0,005
Kişi Başı Alan İhtiyacı	-	m^2/kişi	5,6

9. TARTIŞMA VE BULGULAR

Projelerin ilk ve en önemli aşaması olan diğer kademelerin temel unsurunu oluşturan gelecek nüfus hesaplama yöntemleri ve işlemlerinin literatür dikkate alınarak yapılması büyük önem arz etmektedir.

Proje hesaplamalarında kullanılan gelecek nüfus yöntemleri sonucunda Eksponansiyel metot kabul edilmiş ve nüfus değeri yuvarlanarak 2 000 kişi olarak alınmıştır. Ancak projenin işletmeye alındığı 2014 yılı ve işletmeye alınma tarihini takip eden yıllar sonrası adrese dayalı nüfus sayım sonuçlarında bölge nüfusunun 3 000 kişinin üstünde olduğu görülmektedir. Bu sonuca istinaden proje dosyasında bulunan, proje esas nüfusunun mevcut değerin altında olduğu görülmektedir.

Proje kapsamında debinin belirlenmesi esnasında Qmax, Qmin, Qproje vb. hesaplamalar yapılmaksızın yalnızca hesaplanan nüfus sonuçları ile kişi başı atıksu oluşum değeri çarpılarak Qevsel debisi hesaplanmıştır ve bu debi projeye esas atıksu debisi olarak kullanılmıştır. Tesisteki ünitelerin oluşabilecek debi salınımlarına karşı uygunluk ve kontrolleri yapılmamıştır. Nüfusun yanlış hesaplanması neticesinde gerekli yapay sulak alan atıksu arıtma tesisinin inşa edileceği arazinin küçük seçilmesine ve istenilen arıtma verimine ulaşılamaması gibi sorunlara neden olabilecektir.

Proje kapsamında evsel atıksu ortalama kirlilik konsantrasyonları ve yükleri değerlerinin belirlenmesi esnasında atıksu analizi yapılamamış olup bu nedenle bu değerler kabul esasına göre belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 8.12). Fakat verilen kirlilik konsantrasyonları ve yükleri değerleri literatür ile uyuşmamakta olup tasarım ve işletilmesinde sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca yapay sulak alan sistemi tasarımı esnasın da foseptik tankı giderimi sonucu elde edilen BOİ çıkış konsantrasyonu farklı bir değer alınması tesisin genel tasarımı ve boyutlandırmasında hatalı sonuçlar doğuracaktır.

Projede seçilen foseptik hacmi Qevsel debisine göre seçilmiş olup, Qmax debisinin tesise gelmesi durumunda yeterli olmayacağı, işletme esnasında taşma, göllenme vb. olumsuz sonuçlara yol açacağı aşikardır.

Proje kapsamında ızgara hesaplamalarında kullanılan atıksu debisi, hesaplanan projeye esas atıksu debisinin yarısı olarak alındığı görülmektedir. Ayrıca proje kapsamında kaba- ince ızgara aynı kanala yerleştirilmesine rağmen kanal eğimlerinde farklı değerler alınmış ve ızgaraların yatayda yaptığı açı değeri, literatüre göre elle temizlemeli ızgaralarda 45-60 ^{0} olması gerekirken mekanik temizlemeli ızgaralarda kullanılan 75-85 ^{0} aralığında 75 ^{0} olarak alınmıştır.

Yapay sulak alan tasarımında tesis verimi üzerinde önemli etkisi bulunan bitki türü seçimi yapılmamıştır. Ayrıca inşaat ve işletmeye yönelik bitki dikimi-hasadı zamanı ve adedi vb. bilgilere yer verilmemiştir. Projede YSA yatağının başlangıç derinliği 0,7 m, son derinliği 1,3 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak atıksu arıtımında kullanılan bitki türleri arasında bu derinliklere ulaşabilecek kök yapısına sahip bir bitki türü bulunmaktadır.

Proje kapsamında arıtılmış atık sular tesis çıkışında arıtılmış su biriktirme havuzda toplanmaktadır. Toplanan suların deşarjı huşunda herhangi bir bilgi mevcut değildir. Arıtılmış atık suların yeniden kullanılmasına yönelik çeşit alternatiflere projede yer verilmesi uygun olacaktır.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapay sulak alan atık su arıtma tesislerinin proje esas nüfusunun hesaplanmasında güncel veriler ile yapılan hesaplamalar sonucunda geometrik, aritmetik ve eksponansiyel nüfus hesaplamaları sonuçları benzerlik göstermektedir. Yaygın olarak kullanılan eksponansiyel nüfus hesaplaması yöntemi sonucu 2818 kişi hesaplanmış ve 3000 kişiye yuvarlanarak tasarımda kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında tüm debi, konsantrasyon ve kirlilik yükleri literatüre uygun olarak yeniden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda debi değeri projede alınan değerin yaklaşık 2,5 katı olduğu görülmektedir. Kirlilik yükleri ve konsantrasyonları hesaplanmasında proje dosyasından farklı bir yol izlenerek Bkz. Çizelge 8.13'de verilen nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi değerleri kullanılarak kirlilik yükleri ve konsantrasyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda kirlilik yükü değerleri projede alınan değerlerin yaklaşık 3 katından fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında gerek ünite ebatları gerekse arıtım verimlerinin önemli ölçüde etkileyeceği dikkate alınmalıdır.

Foseptik ünitesinin tasarımında Qmax debisi esas alınmıştır. Bu sebeple foseptik ünitesi debi - konsantrasyon salınımlarına karşı dengeleyici bir unsur oluşturacak ve taşma, göllenme vb. riskleri ortadan kaldıracaktır.

Izgara ünitesi tasarlanırken Qmax debisi esas alınarak, ızgara üniteleri literatüre uygun değerler seçilerek manuel temizlemeli kaba ve ince ızgara tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması esnasında yörenin iklimine, toprağına, mevcut bitki-hayvan türleri ile uyumlu ve çabuk adapte olabilen yöresel bitki türü olan saz otu seçilmiş ve YSA yatak derinliği bu bitkinin ulaşabileceği kök derinliğine uygun olarak yatağının başlangıç derinliği 0,4 m, son derinliği 0,8 m olacak şekilde tasarlanmıştır.

Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak içme ve kullanma su kaynakları sürekli azalım eğilimdedir. Bu kapsamda arıtılmış atık sulara dezenfeksiyon işlemini takiben tarım, yer altı suyunu besleme vb. alanların su ihtiyacının karşılanması hususlarında yeniden kullanılması su kaynakların korunması açısında büyük bir önem arz etmektedir.

Tez çalışması sonuçları doğrultusundaki öneriler;

- Proses tasarımı esnasında doğru yaklaşımlar ve kabuller yapılmalı,
- Atık su arıtma tesisi inşa edilecek yörenin alt yapı, zemin ve iklim vb. özellikleri iyi irdelenmeli,
- Tesiste kullanılacak ekipmanlar kalite ve kapasite açısında uygun olmalı,
- Projelendirilen tesisin personel ihtiyacı dikkate alınmalı,
- Proje tasarımına uygun inşai unsurlar dikkate alınarak inşa edilmeli.
- Tesisin büyüklüğüne göre; proses verimi belirli periyotlarla takip edilmeli,
- Tesis bakım ve onarımının düzenli olarak yapılmalıdır.

Yukarıda sayılan çeşitli unsurlarda hata yapıldığında çeşitli işletme sorunları ve hatta tesisin atıl duruma düşmesi mümkündür.

Yapay sulak alan atıksu arıtma sistemlerinin projelendirilmesi, inşaat ve işletme aşamasında gerekli hassasiyet gösterildiği takdirde, evsel atıksuların arıtılmasında uygun bir arıtma alternatifidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, özellikle küçük yerleşim yerleri için uygun bir teknolojidir.

KAYNAKLAR

1. Tunçsiper, B., ve Akça, L. (2006). Pilot ölçekli bir yapay sulak alan sisteminin arıtma performansının incelenmesi. *itüdergisi/d* 5(3), 13-22.

2. T. C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2010). Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği. *Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yönetmeliği*, Ankara, Türkiye. 1-102.

3. Dunne, E. J., Culleton, N., O'Donovan, G., Harrington, R., and Olsen, A. E. (2005). An integrated constructed wetland to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water. *Ecological Engineering*, 24(3), 219-232.

4. Ayaz, S., Fındık, N., Kınacı, C., Tunçsiper, B. ve Güneş, E., (2011). Yapay sulak alanlar el kitabı. *TUBİTAK Raporu*, Kocaeli. 1-111.

5. Weishampel, P., Kolka, R., and King, JY (2009). Carbon pools and productivity in a 1-km^2 heterogeneous forest and peatland mosaic in Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management.* 257(2), 747-754.

6. Hoppe, HG, Kim, SJ and Gocke, K. (1988). Microbial decomposition in aquatic environments: combined process of extracellular enzyme activity and substrate uptake. *Apply Environmental Microbiology,* 54(3), 784-790.

7. Topal, M., Karagözoğlu, B., ve Erdal, Ö. B. E. K. (2011). Sızıntı sularının doğal arıtımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 11(2), 1-16.

8. Tchobanoglous, G. and Burton, FL (2002). *Wastewater enginnering: treatment disposal reuse.* USA: McGraw-Hill Higher Education, 1408.

9. Cop, M. (2017). *Konya ili yapay sulak alanlarda arıtma verimi, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya. 1-66

10. İnternet: Web: http://allyguner.blogspot.com/2011/08/stabilizasyon-havuzlar.html Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.

11. Altay, D. A. (1986). *Fakültatif stabilizasyon havuzlarında biyolojik verime etkiyen faktörlerin araştırılması*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1-100

12. Muslu, Y. (1985). *Su Temini ve Çevre Sağlığı Cilt III*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphane, 1-1314.

13. Aalbers, H. (1999). Resource recovery from faecal sludge using constructed wetlands*, UWEP Report.* Netherlands, 1-69.

14. Martinko, J.M. and Parker, J. (1997) *Brock biology of microorganisms*. (8st edition). England: Prentice Hall International, London, 1-1036.

15. Denny, P. (1997). Implementation of constructed wetlands in developing countries. *Water Science and Technology*, 35(5), 27-34.

16. Çiftçi, H., Kaplan, Ş. Ş., Köseoğlu, H., Karakaya, E., ve Kitiş, M. (2007). Yapay sulak alanlarda atıksu arıtımı ve ekolojik yaşam. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 23(1-2), 149-160.

17. Cooper, P., Smith, M., and Maynard, H. (1997). The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system. *Water Science and Technology,* 35(5), 215-221.

18. Brodie, G.A., Hammer, D.A., and Tomljanovich, D.A. (1988). Constructed wetlands for acid drainage control in the tennessee valley. *ASMR Report*. USA, 325-331.

19. Kleinmann, R.L.P. and Girts, M.A. (1987). *Acid mine water treatment in wetlands: an overview of an emergent technology,* USA: Magnolia Publishing Inc, Orlando, 255-261.

20. Kadlec, R.H. and Wallace, S. (2008) *Treatment Wetlands*.(2st edition). USA: CRC Press, 1-1016.

21. United States Environmental Protection Agency. (1988). Design manual for constructed wetland and floating aquatic plants systems for municipal wastewater treatment. *EPA Report*. Cincinnati, Ohio. 1-93

22. United States Environmental Protection Agency. (1993). Constructed wetlands for wastewater treatment and wild life habitat: 17 case studies. *EPA Report*. USA. 1-184

23. Cooper, P. (1999). A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. *Water Science and Technology*, 40(3), 1-9.

24. United States Environmental Protection Agency. (2000). Guiding principles for constructed wetland treatment. united states environmental protection agency, *EPA Report*. Washington. 1-25

25. Ling, C. A. (2006). *Nutrient removal from leachate using horizontal subsurface constructed wetlands*, Master Thesis, Universiti Teknologi Malaysia. 1-20

26. United States Environmental Protection Agency, (2000). Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*, EPA Report.* Cincinnati, Ohio. 1-166

27. UN-HABITAT (2008). *Constructed wetlands manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme, Nepal, Kathmandu, 1-102.

28. Sivrioğlu, Ö. (2010). Yapay sulak alanlar ve diğer yöntemlerle azot ve fosfor gideriminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1-155.

29. Steiner, G. R., and Watson, J. T. (1993). *General design, construction, and operation guidelines: constructed wetlands wastewater treatment systems for small.* USA: Tennessee Valley Authority, Knoxville, 1-50.

30. Dong, Y., Kayranli, B., Scholz, M., Harrington, R. (2013). Nutrient release from integrated constructed wetlands sediment receiving farmyard run-off and domestic wastewater. *Water and Environment Journal*, 27(4), 439-452.

31. Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B., and Shutes, R. B. E. (1996). *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment.* England: WRc Swindon, 1-184.

32. Moshiri, G.A. (1993). *Constructed wetlands for water quality ımprovement* (1st edition). USA: Boca Raton, FL Lewis Publishers, 1-632.

33. Vymazal, J. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of The Total Environment,* 380(1-3), 48-65.

34. Reddy, K. R., and DeLaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*.(1st edition). USA: CRC Press, 800.

35. Tunçsiper, B. (2005). *Yapay Sulakalan Sistemlerinde Azot Giderimini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-84.

36. Ekmekçi, F. (2007). *Adana Sofulu Düzensiz Çöp Depolama Sahasından Alınan Çöp Sızıntı Sularının Laboratuvar Ölçekli Ortamda Bitkisel Yolla Azot-Fosfor ve Ağır Metal Gideriminin Araştırılması,* Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1-146.

37. Sakadevan, K., and Bavor, H. J. (1999). Nutrient removal mechanisms in constructed wetlands and sustainable water management. *Water Science and Technology,* 40(2), 121-128.

38. Forbes, M. G. (2002). *Phosphorus retention and fractionation in masonry sand and light weight expanded shale used as substrate in a subsurface flow wetland*. Doctor of Philosophy University of North Texas. Texsas, 1-176.

39. Vohla, C., Poldvere, E., Noorvee, A., Kuusemets, V., and Mander, Ü. (2005). Alternative filter media for phosphorous removal in a horizontal subsurface flow constructed wetland. *Journal of Environmental Science and Health*, 40(6-7), 1251-1264.

40. Jenssen, P. D., and Krogstad, T. (2003). Design of constructed wetlands using phosphorus sorbing lightweight aggregate(LWA). *Advances in Ecological Sciences*, 11(3), 259-272.

41. Vymazal, J. (1995). *Algae and element cycling in wetlands*.(1st edition). USA: CRC Press, 1-704.

42. Zayed, A., Gowthaman, S., and Terry, N. (1998). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. *Duckweed American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*. 27(3), 715-721.

43. Nordin, N. I. A. A., and Amalina, N. I. (2006). *Leachate treatment using constructed wetland with magnetic field*, Doctor of Philosophy, Universiti Teknologi Malaysia, Malisia, 1-82.

44. Dağlı, S. (2006). *Evsel atıksulardan yapay sulak alan sistemleriyle fosfor gideriminin incelenmesi*, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-100

45. Çiftçi, H., Kaplan, Ş. Ş., Köseoğlu, H., Karakaya, E., ve Kitiş, M. (2007). Yapay sulak alanlarda atıksu arıtımı ve ekolojik yaşam. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1-2), 149-160.

46. Gülgün, B., Keskin, N., ve Aktaş, E. (2010). Doğal ve yapay sulak alanlar ve kullanılan bazı bitki türleri. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, (355), 8-13.

47. Metcalf, L., Eddy, H. P., and Tchobanoglous, G. (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse* (3st edition). USA: McGraw-Hill, New York, 1-1334.

48. Taylor, C., Jones, D., Yahner, J., Ogden, M., and Dunn, A. (1998). Individual residence wastewater wetland construction in Indiana. *Purdue University Report. İndiana. 1-7.*

49. Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment, *Water Science and Technology*, 2(3), 530-549.

50. Korkusuz, E.,A ve Langergraber G. (2012) Düşey akışlı filtrelerde kullanılan doğal ve yapay filtre malzemelerinin azot giderim performansları, *Çevre Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(4), 323-332.

51. Reed, S. C., Middlebrooks, E. J., and Crites, R. W. (1988). *Natural systems for waste management and treatment*, USA: McGraw-Hill, New York, 1-308.

52. Şener, G. (2007). *Ankara ili kırsal alanlarından kaynaklanan atıksuların doğal arıtma (yapay sulak alan) ile arıtılması, Yayımlanmamış* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-85.

53. İnternet: Web: https://www.kazimkarabekir.bel.tr/ Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.

54. İnternet: Web: http://www.kazimkarabekir.gov.tr/ Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.

55. İnternet: Web: https://www.karamandan.com/foto/6873645/karaman-kazimkarabekir-ilcesi#:~:text=%C4%B0lk%20ad%C4%B1%20Gaferiyat%20olan%20%C4%B0l%C3%A7emiz,say%C4%B1l%C4%B1%20kanun%20ile%20il%C3%A7e%20olmu%C5%9Ftur Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.

56. İnternet: Web: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109 Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.

57. T. C. Mevlâna Kalkınma Ajansı. (2019). Karaman ili sanayi ve ekonomi analizi. *Mevlâna Kalkınma Ajansı Raporu*, Konya, 1-81

58. Tapur, T. (2008). Kâzımkarabekir ilçesinde Karaman tarım ve hayvancılık. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (20), 603-620.

59. T. C. Mevlâna Kalkınma Ajansı. (2019). Karaman ilçe raporu. *Mevlâna Kalkınma Ajansı Raporu*, Konya, 1-22

60. İller Bankası A.Ş. (2015) Kazımkarabekir atıksu arıtma tesisi proje raporu. *İller Bankası A.Ş. Raporu,* Ankara, 1-64

61. İnternet: Web: https://deprem.afad.gov.tr/ Son Erişim Tarihi: 21.05.2022.

62. Öztürk, İ., Timur, H., ve Koşkan, U. (2005). *Atıksu arıtımının esasları evsel, endüstriyel atıksu arıtımı ve arıtma çamurlarının kontrolü*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, 459.



GAZİ GELECEKTİR...