

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

METEOROLOJİK PARAMETRELERİN ATIKSU STABİLİZASYON HAVUZU (ASH)
ARITMA VERİMİNE ETKİSİNİN MATEMATİKSEL MODELLEME ÇALIŞMASI:
TÜRKİYE ÖRNEĞİ

DOKTORA TEZİ

Hafız Qasim Ali

ŞUBAT 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**METEOROLOJİK PARAMETRELERİN ATIKSU STABİLİZASYON HAVUZU (ASH)
ARITMA VERİMİNE ETKİSİNİN MATEMATİKSEL MODELLEME ÇALIŞMASI:
TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

Hafiz Qasim ALİ

ORCID : - - -

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 29 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 13 / 02 / 2024

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Osman ÜÇÜNCÜ
ORCID : - - -

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Bu tezin sayfalarını açtığımız için içtenlikle teşekkür ederim. "Meteorolojik Parametrelerin Atıksu Stabilizasyon Havuzu (ASH) Arıtma Verimine Etkisinin Matematiksel Modelleme Çalışması: Türkiye Örneği" başlıklı bu çalışma, çevre ve atıksu yönetimi alanında derinlemesine bir araştırmanın ürünüdür. Bu çalışma, uzun bir emeğin ve yoğun bir çabanın ürünüdür ve çeşitli aşamalardan geçerek olgunlaştı.

Atıksu stabilizasyon havuzları (ASH'ler), gösterdikleri tüm özellikle evsel atıksuların etkili bir şekilde arıtılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu havuzların tasarımı, boyutlandırması ve işletimi, birçok faktörün/parametrenin (atıksu debisi, buharlaşma, sıcaklık vb) etkileşimine bağlı olarak karmaşıktır. Bu Dr.-Tezi, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki meteorolojik koşulların, ASH tasarımına olan etkisini incelemeyi amaçlanmıştır. Araştırmanın kapsamı ve detayları, literatürde boşluğu doldurarak bu alandaki bilgi birikimine çok ileri önemli bir katkı sunmaktadır. Bu çalışma, üstün bir ekip çalışmasının ürünüdür ve birçok kişinin katkıları olmadan gerçekleşmezdi. Özellikle, danışmanım Dr. Öğr. Üyesi. Osman Üçüncü'ye, yol gösterici rehberliği ve akademik vizyonu için içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Dr.-Tez çalışmasındaki meteorolojik verilerin temin edilmesinde yardımcı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 11. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne de minnettarım.

Bu tezde, MS Excel Solver ve MATLAB programları kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmalarına yer verilmiştir. Bu çalışmalar, tezin bilimsel temelini daha da güçlendiren ve uygulama yönünü vurgulayan önemli bir bileşeni oluşturmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve işletimi konusunda pratik öneriler sunmakla kalmayıp aynı zamanda bu alandaki gelecekteki araştırmaları da şekillendirebilir. Umarım bu tez, yeni araştırmacılara yeni bakış açıları sunar ve atıksu yönetimi konusunda daha iyi bir anlayış geliştirmelerine yardımcı olur.

Son olarak, bu tezin tamamlanmasında ve geliştirilmesinde beni destekleyen aileme, dostlarıma ve sevdiklerime en içten teşekkürlerimi sunarım. Sizlerin destekleri ve inançları, bu çalışmanın en değerli motivasyon kaynağı olmuştur.

Saygılarımla,

Hafız Qasim Ali

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Meteorolojik Parametrelerin Atıksu Stabilizasyon Havuzu (ASH) Arıtma Verimine Etkisinin Matematiksel Modelleme Çalışması: Türkiye Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Osman Üçüncü’nün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/02/2024

Hafız Qasim Ali

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	4
2.1. Giriş	4
2.1.1. ASH'nın Avantajları	9
2.1.2. ASH'nın Dezavantajları	9
2.2. Teknik Terimler	10
2.2.1. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	10
2.2.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	11
2.2.3. Biyolojik Süreç	11
2.2.4. Atıksuda Fekal Koliform Bakteri	11
2.2.5. Besinler	11
2.2.6. Anaerobik	12
2.2.7. Aerobik	12
2.2.8. Fakültatif	12
2.3. Stabilizasyon Havuzlarının İşleyişine Göre Sınıflandırılması	12

2.4.	Stabilizasyon Havuzlarının Olduğu Yere Göre Sınıflandırması.....	12
2.4.1.	Birincil Havuzlar.....	12
2.4.2.	İkincil Havuzlar	13
2.4.3.	Olgunlaştırma Havuzlar	13
2.5.	ASH’larda Havuz Ünitelerinin Sınıflandırılması	13
2.6.	Stabilizasyon Havuzlarının İşletmesi.....	13
2.6.1.	Anaerobik Havuz	14
2.6.2.	Atıksu Sıvılaşması	15
2.6.3.	Fakültatif Havuzlar	16
2.6.4.	Olgunlaştırma Havuzlar	17
2.7.	Havuzların Boyutlarını Belirlemek İçin Modeller.....	18
2.7.1.	Ampirik ve Rasyonel Olarak Sınıflandırılırlar	18
2.8.	Havuz Sistem Hidroliği	18
2.8.1.	Atıksu Stabilizasyon Havuzunda Hidrolik Faktörler.....	18
2.8.2.	ASH’da Atıksu Karışımı.....	19
2.9.	Stabilizasyon Havuzlarında Akış ve Karışım Modelleri	20
2.9.1.	Piston Tipi Akışı	21
2.9.2.	Komple Karışım.....	21
2.9.3.	Türbülanslı Akış	21
2.9.4.	ASH Havuz Şekli.....	22
2.10.	ASH’ların Tasarlanması	23
2.10.1.	Anaerobik Havuzu (AH).....	25
2.10.2.	Fakültatif Havuzlar (FH)	27
2.10.3.	Olgunlaştırma Havuzu (OH).....	30
2.11.	ASH’da Arıtma Yöntemi Uygulanması.....	31

2.11.1. En İyi Arıtma Verimi İçin ASH Birleşim Seçilmesi	32
2.11.2. Genelleştirilmiş Azaltılmış Gradyan (GRG) Algoritması ile Modelleme	34
2.11.3. MATLAB Kullanarak Matematiksel Modeli Çözümünün Adımları	39
2.11.4. Arıtma Modellerinin Karşılaştırma.....	42
3. BULGULAR	43
3.1. BOİ ₅ ve Fekal Koliform Bakterinin ASH’da Alan Hesabına ve Bs’ni Etkisi	47
3.2. ASH’ın Matematiksel Optimizasyon.....	53
4. TARTIŞMA.....	58
4.1. Hassaslık Analizi	61
5. SONUÇLAR.....	64
6. ÖNERİLER.....	65
7. KAYNAKLAR	66
8. EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

METEOROLOJİK PARAMETRELERİN ATIKSU STABİLİZASYON HAVUZU (ASH) ARITMA VERİMİNE ETKİSİNİN MATEMATİKSEL MODELLEME ÇALIŞMASI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Hafız Qasim Ali

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üye. Osman ÜÇÜNCÜ

2024, 70 Sayfa, 24 Ek Sayfa

ASH'ları en geleneksel olup işletmesi ve bakımı en uygun atıksu arıtma tesisidir. Fakat bu tip tesisler doğada büyük alanı gerektirir. AD'ları atıksu kirletici giderme verimliliğini artırarak ve ASH alanı ihtiyacını azaltarak iki önemli avantaj sağlamaktadır. Bu avantajların tersine, inşaat malzemesine olan talebi artırmaktadır. Bundan dolayı boyutlandırmada optimizasyon yapma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin yedi iklim bölgesi dikkate alınarak ASH'ların boyutlandırması yapılmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, Excel kullanılarak GM metotla en iyi birleşimi belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, atıksudaki farklı kirleticilerin giriş değerlerinin ASH alanı ve Bs üzerine etkisi de araştırılmıştır. Bu hesaplama yaklaşımı daha fazla zaman almakta ve iş hacmini arttırmaktadır. Bundan dolayı ASH optimizasyon sürecini hızlandırmak için MM kullanılmıştır. Bu MM'lerin içindeki her iki algoritma da MATLAB'daki iç nokta algoritmasını ve MS-Excel Çözücüsündeki GRG algoritmasını kullanılarak ASH alanını ve Bs'ni yaklaşık olarak %10 oranında azaltırken, gerekli beton hacminde de azaltmalar meydana gelecektir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu Stabilizasyon Havuzları, Ayırma Duvarları, Matematiksel Modelleme, Meteorolojik Faktörler, Türkiye'nin iklim Bölgeleri.

PhD. Thesis

SUMMARY

EXAMINING THE EFFECT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS WITH MATHEMATICAL MODELS ON TREATMENT EFFICIENCY OF WASTEWATER STABILIZATION POND: A CASE STUDY OF TURKEY

Hafiz Qasim Ali

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Graduate Program

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ

2024, 70 Pages, Appendix 24 Pages

Wastewater Stabilization Ponds (WSPs) are the most traditional and convenient wastewater treatment plants to operate and maintain. However, these types of facilities require large areas in nature. Baffle walls (BW) provide two essential advantages: increasing wastewater pollutant removal efficiency and reducing the required area for WSPs. On the contrary, these advantages increase the demand for construction materials. Therefore, the need for optimization of the WSPs area arises. In this study, the dimensioning of WSPs was made by considering the seven climatic regions of Turkey. In the first stage of this study, the best combination with the traditional method was determined using Excel. In addition, the effect of input values of different pollutants in wastewater on WSPs area and retention time was also investigated. This calculation approach takes more time and increases the work load. Therefore, mathematical modeling (MM) was done to accelerate the WSPs optimization process. While both algorithms in these MM, using the interior point algorithm in MATLAB and the GRG algorithm in MS-Excel Solver, reduce the ASH area and Bs by approximately 10%, reductions in the required concrete volume will also occur.

Keywords: Baffle Walls, Climatic Regions of Turkey, Mathematical Modeling, Meteorological Factors, Wastewater Stabilization Ponds (WSPs)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Paralel fakültatif ve olgunlaşma havuzları	14
Şekil 2. Paralel anaerobik, fakültatif ve olgunlaşma havuzları	14
Şekil 3. Anaerobik havuz en kesiti ve oluşan biyogaz çeşitleri.....	15
Şekil 4. Fakültatif havuzdaki bakteri ve alglerin gelişimi ve karşılıklı olarak etkileşimi ...	16
Şekil 5. Fakültatif havuzda arıtma süreci, atıksu derinliği ve şev eğimi	17
Şekil 6. Stabilizasyon havuzlardaki betonarme ayırma duvarları	19
Şekil 7. Gerekli olması halinde ayırma duvarı kullanılan havuz.....	20
Şekil 8. Piston tipi akış havuzu.....	20
Şekil 9. Türbülanslı karışım havuzu	21
Şekil 10. Karışık akış havuzu	22
Şekil 11. Olgunlaştırma havuz sistemine atıksuyunun giriş ve çıkışı	23
Şekil 12. Farklı havuz birleşimleri	24
Şekil 13. Türkiye'nin iklim bölgelerinde en soğuk ayın giriş verileri.....	32
Şekil 14. Tasarım için yapılan analiz akış şeması	33
Şekil 15. Hedef-1'de kullanılan birleşim sistemleri.....	33
Şekil 16. Hassaslık analizi için temel örnek tablo (a).....	37
Şekil 17. Hassaslık analizi için giriş veri değiştikten sonra örnek tablo (b).....	37
Şekil 18. Excel çözücü parametre ve model giriş ekran görüntüsü (a)	38
Şekil 19. Excel çözücü rapor ekran görüntüsü (b).....	38
Şekil 20. ASH'lerin optimum tasarımı için akış diyagramı	40
Şekil 21. FH model “m.” dosya görüntüsü.....	41
Şekil 22. FH kısıtlamaları “m.” dosya görüntüsü.....	41
Şekil 23. FH optimize edilmesi için MATLAB görüntüsü	42
Şekil 24. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-1'in alanı	43
Şekil 25. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-2'nin alanı	44
Şekil 26. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-3'ün alanı	45
Şekil 27. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-1'in bekletme süresi.....	46
Şekil 28. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-2'nin bekletme süresi.....	46
Şekil 29. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-3'ün bekletme süresi.....	47

Şekil 30: Yedi bölgeden beşinin MATLAB optimizasyon fonksiyonu grafiği.....	56
Şekil 31. Beton hacmi için Tornado-Diyagramı.....	62
Şekil 32. Fekal koliform bakteri için Tornado-Diyagramı	63
Şekil 33. BOİç için Tornado-Diyagramı	63



TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ

Tablo 1. Hacimsel yükün belirlenmesi ve BOİ ₅ giderimi	25
Tablo 2. Tasarım ve optimizasyon kısıtlamaları	36
Tablo 3. Birleşim-1 için örnek tasarım hesaplaması	49
Tablo 4. Birleşim-2 için örnek tasarım hesaplaması	50
Tablo 5. Birleşim-2 için örnek tasarım hesaplaması	51
Tablo 6. Çeşitli giriş verilerin farklı birleşimler üzerine etkisinin özeti	52
Tablo 7. GM yaklaşımın GRG algoritması ile karşılaştırılması.....	54
Tablo 8. GM yaklaşımının Nokta İçi algoritma ile karşılaştırılması.....	55
Ek Tablo 1. Antalya ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti.....	71
Ek Tablo 2. İzmir ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti.....	72
Ek Tablo 3. Trabzon ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti	73
Ek Tablo 4. İstanbul ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti.....	74
Ek Tablo 5. Şanlıurfa ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti.....	75
Ek Tablo 6. Ankara ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti.....	76
Ek Tablo 7. Erzurum ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti	77
Ek Tablo 8. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde BOİ giderimi.....	78
Ek Tablo 9. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde Fekal Koliform Bakteri giderimi	79
Ek Tablo 10. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde OH'lerin Bs'si.....	80
Ek Tablo 11. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde BOİ'nin yüzde olarak çıkarılması	81
Ek Tablo 12. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde Ng'nin yüzde çıkarılması.....	82
Ek Tablo 13. BOİ ₅ 'in (200 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁶ EMS/100 mL) etkileri	83
Ek Tablo 14. BOİ ₅ 'in (250 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁶ EMS/100 mL) etkileri.....	84
Ek Tablo 15. BOİ ₅ 'in (300 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁶ EMS/100 mL) etkileri.....	85
Ek Tablo 16. BOİ ₅ 'in (350 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁶ EMS/100 mL) etkileri.....	86
Ek Tablo 17. BOİ ₅ 'in (200 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁷ EMS/100 mL) etkileri.....	87
Ek Tablo 18. BOİ ₅ 'in (250 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁷ EMS/100 mL) etkileri.....	88
Ek Tablo 19. BOİ ₅ 'in (300 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁷ EMS/100 mL) etkileri	89
Ek Tablo 20. BOİ ₅ 'in (350 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁷ EMS/100 ML) etkileri	90
Ek Tablo 21. BOİ ₅ 'in (200 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁸ EMS/100 mL) etkileri.....	91

Ek Tablo 22. BOİ ₅ 'in (250 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁸ EMS/100 mL) etkileri	92
Ek Tablo 23. BOİ ₅ 'in (300 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁸ EMS/100 mL) etkileri.....	93
Ek Tablo 24. BOİ ₅ 'in (350 mg/L) ve Fekal Koliformun (10 ⁸ EMS/100 mL) etkileri.....	94



SEMBOLLER DİZİNİ

a	Boyutsuz Sabiti
AD	Ayırma Duvarı
ADs	Ayırma Duvarı Sayısı
ASH	Atıksu Stabilizasyon Havuzu
A _H	Havuz Alanı
AH	Anaerobik Havuzu
B	Birleşim
BAAT	Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
Birleşim-1	Anaerobik, Fakültatif ve Olgunlaştırma Havuzların Dizisi
Birleşim-2	Fakültatif ve Olgunlaştırma Havuzların Dizisi
Birleşim-3	Fakültatif Havuzu
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ _ç	Çıkış Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ _g	Giriş Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Bs	Bekletme Süresi
D _H	Havuz Derinliği
E	2.7182818
EMS	En Muhtemel Sayı
e _h	Havuzdan Günlük Buharlaşma Yüksekliği (mm/gün)
FH	Fakültatif Havuz
GM	Geleneksel Metodoloji
K _f	Fakültatif Havuz için Herhangi bir Günde ve bir Sıcaklıkta Çürüme Sabiti
K _t	Anaerobik Havuz için Genel Çürüme Sabiti
KBOGAM	Kişi Başına Oluşan Günlük Atıksu Miktarı
M	Metre
MM	Matematiksel Metodoloji
N	Bölgede kişi sayısı
N _ç	Çıkış Fekal Bakteri (EMS/100 mL)

N_g	Giriş Fekal Bakteri (EMS/100 mL)
$\frac{N_{\zeta}}{N_g}$	Çıkış Fekal Bakteri (EMS/100 mL)
$L_{i\zeta}$	Havuz İç Uzunluğu (m)
L_{ort}	Havuz Orta Uzunluğu (m)
L_{tep}	Havuz Yüzey Uzunluğu (m)
N	Nüfus
OH	Olgunlaştırma Havuzu
Q_{ζ}	Atıksu Stabilizasyon Havuz Çıkış Debisi (m ³ /Gün)
Q_g	Atıksu Stabilizasyon Havuz Giriş Debisi (m ³ /Gün)
RG	Resmi Gazete
T_{ort}	Bölgede En Soğuk Ayın Son 10 Yıllık Ortalama Sıcaklığı
V_H	Havuz Hacmi (m ³)
$W_{i\zeta}$	Havuz İç Genişliği (m)
W_{ort}	Havuz Orta Genişliği (m)
W_{tep}	Havuzun Yüzey Genişliği (m)
X	Havuzun Uzunluğunun Genişliğine Oranı (-)
$T.C$	Türkiye Cumhuriyeti
λ_v	Hacimsel Yük (g BOİ ₅ /m ³ . Gün)
λ_s	Yüzey Yükleme Hızı (Kg/ha. Gün)
1000	Dönüşüm Faktörü

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Şuanda dünya genelinde yılda 380 milyar m³ atıksu oluşmaktadır. Küresel olarak atıksu oluşumunun 2030 yılına kadar %24 ve 2050 yılına kadar mevcut seviyenin üzerinde %51 artması beklenmektedir (Qadir vd, 2019). Tüm dünyada atıksu yönetimi ve arıtması artan küresel ısınmayla birlikte büyük bir sorundur. Türkiye'de nüfus artışı, sanayileşme, hızlı kentleşme, turizmdeki hızlı artış ve küresel ısınmayla azalan su kaynakları atıksu arıtma talebini artırmıştır (Maryam ve Büyükgüngör, 2019). Türkiye atıksu arıtma alanında ciddi yatırımlar yapmaktadır, 1994 yılında atıksu arıtma tesisi ile sadece %3 belediyelere hizmet vermekte olup 2018'de bu oranı %46'ya ulaşmıştır (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 11.12.2021). Bu verilere göre kalan diğer %54 Türkiye belediyelere hizmet vermesi için yeni atıksu arıtma tesisleri planlanmalıdır.

Çok fazla sayıda atıksu arıtma yöntemi vardır. Bunlardan bazıları kırsal alanlarda tercih edilirken diğerleri kentsel alanlar için uygulanmaktadır. Daha az enerji gerektiren ve karmaşık olmayan atıksu arıtma yöntemleri daha fazla tercih edilmektedir (Dias vd, 2017a). Genel olarak farklı biyolojik atıksu arıtma teknik ve teknolojileri arasında, atıksu stabilizasyon havuzları (ASH) ile atıksu arıtımı, çoğu gelişmekte olan ve tropik iklimlere sahip ülkelerde tercih edilen seçenekler arasında yer almaktadır (Yahya vd, 2020; Atay, 1986). Soğuk iklimlere sahip Kanada gibi gelişmiş ülkede, ASH'ler en yaygın atıksu arıtma çözümü olmaya devam halen etmektedir (Colin vd, 2015). ABD'de atıksu arıtma tesislerinin %50'sinden fazlası ASH'lerdir (Ho vd, 2017).

ASH'ler, arıtma sistemi nispeten çok ekonomik olup bakım, işletme, bakım ve tamirleri de çok ekonomik bir yatırım gerektirdiğinden, yerelde mevcut personel tarafından işletilmeleri kolay ve ucuz olması ve çok fazla teknik işletme bilgisi gerektirmemesi nedeniyle, dünya çapında birçok topluluk tarafından belediye atıksuyu arıtması için en yaygın tercih edilen arıtma yöntemlerindendir (Ho vd, 2017). Bu tür atıksu arıtma tesislerine “atıksu stabilizasyon havuzları” ve/veya “Fakültatif havuzlar” de olaraktan adlandırılırlar (Recio-Garrido vd, 2018). Ayrıca, arıtma tesisi çıkış atıksuyu azot ve fosfor gibi besin maddeleri içerdiğinden atıksuyun yeşil alanlar ve tarımsal faaliyette alan sulama için

kullanılması olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenledir ki ASH'ler entegre bir süreç olarak kullanılması mümkün olan avantajlarından biridir (Ho vd, 2017).

ASH'ler, fiziksel çökelme ve biyolojik süreçlere bağlı olan ve ortam sıcaklığı da dâhil olmak üzere iklim koşullarından güçlü bir şekilde etkilenen basit (mekanik olmayan) ve çok az enerji bağımlı arıtma sistemleridir (Huang vd, 2021). Arktik/Çok soğuk iklim bölgelerinde ASH'lerin operasyonları benzersiz iyidir, çünkü havuz içeriği atıksu yılın 9 ayı boyunca donmuş olarak kalması, arıtma sezonunu atıksu ve biyolojik aktiviteyi destekleyen sıcaklıklar ile yaz mevsiminin üç ayı ile sınırlandırır (Balch vd, 2018).

Sıcaklık, atıksu arıtma yöntemlerinde, özellikle de Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde (BAAT) biyolojik arıtmanın en önemli belirleyici bir parametresidir (Obaid vd, 2015). Ayrıca da sıcaklık, atıksu arıtımının birçok sürecinde belirleyici bir role sahip olupe normal sıcaklıklar ASH'lar için arazi kullanım gereksinimlerini azaltır ve dönüştürme işlemlerini iyileştirir, atıksu arıtma verimini artırır ve bazı arıtma işlemlerinin kullanımını mümkün kılar. Bunun yanı sıra, anaerobik arıtma tesisleri, evsel atıksu gibi kirlilik parametreleri az olan atıksu için sadece sıcak iklim bölgelerinde kullanılabilir (Qasim vd, 2017). Ayrıca ASH sıcaklığın daha düşük olduğu iklim bölgelerinde uygulanabilir ancak çok daha büyük alan ihtiyacı bulunmakta ve kış aylarında arıtma verimi düşüşü meydana gelmektedir (Alisawi, 2020).

Son yıllarda ASH'larla yapılan bir çok araştırmalarda, bu tesislerin arıtma verimliliği üzerinde durulmuştur (Rinhofer & Smith, 2010; Babu vd, 2011; Faleschini vd, 2013; Moumouni vd, 2015; Ouedraogo vd, 2016; Khan vd, 2017; Dias vd, 2017b; Bassuney & Tawfik, 2017; Sasani vd, 2017). Bu tip atıksu arıtma tesislerinde ayırma duvar kullanımı çok tercih edilmektedir. Ayırma duvarları atıksuyun havuzda gerçek kalma süresini artıran kısa devre olaylarını azaltmaktadır (Shilton, 2006; Babu vd, 2011; Park vd, 2014). Ayrıca havuzun taban ve yan duvarlarının alanı, mikroorganizma büyümesi için ve daha iyi organik madde giderimi için uygun bir film tabakası ortam oluşturmaktadır (Sah vd, 2011).

Atıksu stabilizasyon havuzlarının toplam uzunluğunun %50-%90'ı arasında değişen uzunluklarda AD uzunluğu olmalıdır. Bunun yanı sıra 0 ila 10 adet arasında farklı sayıda ayırma duvarları üzerinde çalışmışlardır (Shilton ve Harrison 2003; Shilton ve Mara 2005; Abbas vd. 2006; Yahyaa vd, 2020). Bu araştırmacılar çeşitli sayılarda ve uzunluklarda ayırma duvarları önermişlerdir. Bu araştırmacılar ülke iklim koşullarını (sıcaklık ve buharlaşma) dikkate almamıştır. Dolayısıyla, bu yapılan araştırmanın bir parçası, atıksuda ki fekal bakteri ve BOİ gideriminde istenen sonuçları elde etmek için, Türkiye'nin iklim

koşullarında (sıcaklık ve buharlaşma) çeşitlilik gösteren her bir bölgesi için %70'lik uzunlukları ile uygun sayıda ayırma duvarı verilmiştir. Atıksu stabilizasyon havuzu (ASH) tekniği ve teknolojisi son otuz yıldır aktif bir araştırma alanı halindedir. ASH'larını, işletmeye alma, işletme ve tamir ve bakımın görece basitliğine rağmen, ASH'lerde yer alan çeşitli süreçler tamamen sayısallaştırılmamıştır. Son zamanlarda bu sistemlerin modellemesi, sistemin daha iyi tanımlanması ve daha iyi anlaşılması için önemli, düşük maliyetli bir araç olarak hizmet etmektedir (Sah vd, 2012).

Türkiye 7 farklı iklim bölgesine sahip büyük bir ülkedir. Doğal arıtma yöntemlerine dayalı, düşük maliyetli ve ekonomik bir sistem olarak ASH'ler Türkiye'de cazip bir seçenek olabilirliği vardır. Buna rağmen, Türkiye'de ASH'ler üzerine bilimsel kaynaklara göre çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada yukarıda belirtilen hem bilimsel kaynak boşluğunu hem de bu konuda yapılmış olan çalışmaları daha fazla veri ile tamamlamaya çalışılmıştır. Bu çalışmayla Türkiye'de 7 iklim bölgeleri için ASH'lerin modellemesi yapılmıştır.

Bu çalışma aşağıdaki 4 aşamada yapılmıştır: Bunlar;

(1). Geleneksel yaklaşımıyla ve Microsoft Excel yardımıyla atıksu stabilizasyon havuzların her bir iklim bölge için en iyi arıtma verimi birleşimi seçilmesi. (2). Matematik modellemesinin de üç değişkenini "Hidrolik bekletme süresi $T(\text{Gün})$ ", ayırma duvarı sayısı (n) ve uzunluğu $L(m)$ göz önünde bulundurarak Microsoft Excel programı kullanılarak, analizi çalıştırmak için sistem, ASH'lerin tasarımının optimizasyonu için genelleştirilmiş azaltılmış gradyan algoritmasını kullanılmıştır. (3). ASH'lerin optimizasyonu için MATLAB ve iç nokta algoritmasını kullanılmasıdır. (4). Hedef-2 ve 3'ün sonuçları arasındaki ilişki araştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Ekonomik olarak Gelişmekte olan ülkelerde atıksu arıtımı için ASH'ler iyi bir seçenektir. Tropikal iklim şartları, arıtma sürecini daha da kolaylaştırır (Ali ve Üçüncü, 2022a). Tesis çalıştırılmasında az sayıda çalışan sayısı, ucuz inşa maliyeti ve kolay tesis işletmesi kullanım bazı önemli avantajlardır (Ali ve Üçüncü, 2023a). Bu tezin ana amacı, az sayıda nüfusu olan yerleşim bölgelerinde ASH'lerin boyutlandırılmasına yardımcı olmaktır. Türkiye ve başka gelişmekte olan ülkelerde çok az sayıda ASH'ler ile atıksu arıtma yapılmaktadır. Bunun nedeni sadece yetersiz boyutlandırma tasarımı, işletme ve bakım, ve inşa değil eksikliği söz konusudur. Bu tür bir arıtma sistemin doğru çalışması için hidrolik bekletme süresi (Bs), tesisin boyutları, ve işletme ve bakım dikkate alınmalıdır.

Gulsen ve ark. (2000), Wehner-Wilhelm ve Thirumurthi denklemlerine dayalı bir bilgisayar modelinin geliştirildiği bir çalışma yapmışlardır. Modelin uygulanabilmesi için birinci dereceden reaksiyon hızının ve boyutsuz dağılım katsayısının belirlenmesi gerektiği ortaya koymuşlardır. Ayrıca çalışmada sıcaklık, güneş ışıması, organik yükleme, yükseklik, bulanıklık, hidrolik bekletme süresi gibi parametrelerin de gerekli olduğunu belirtilmiştir. Gülsen yaptığı çalışmada Türkiye'yi 4 yöne, Kuzey Doğu, Kuzey Batı, Güney Doğu ve Güney Batı olarak 4 Bölgeye ayırarak incelemiştir. Ele alınmış sonuçlarda kışın 2 m havuz derinliği için BOİ₅ giderimini, güney bölgede (Şanlıurfa), kuzey bölgede (Samsun) ve batı bölgede (Balıkesir) sırasıyla %50 ve %52 olarak belirtilmiştir. Doğu bölgesi (Erzurum) için kış aylarında havuzdaki atıksuyun donması nedeniyle sonuç alınamamıştır. Genel olarak BOİ₅ giderimi tüm illerde yazın %90-92 arasında, güney bölgede %55-70 arasında, kışın ise kuzey bölgede %40-55 arasında olduğunu belirtmiştir. Boyutsuz dağılım katsayısı ve oksijenasyon faktörü sırasıyla 0,2 ve 1,5 kadar olmuştur. Havuzun optimum çıkış suyu kalitesi, 15-25 günlük bekletme süresi, 1-2 m aralığında havuz derinliğinde ve 0,2 boyutsuz dispersiyon katsayısı sonrasında elde edilmiştir.

Facundo ve ark. (2012), havuz arıtma sistemlerinin bir dezavantajı arazi gerekliliğidir, bu nedenle tasarımda çeşitli önerilerin analiz edilmesini tavsiye etmiştir. Bu çalışmanın amacı havuz sistemine dayalı arıtma tesisi tasarımında sonuçların karşılaştırmalı analizini yapmak olmuştur. Projeyi gerçekleştirmek için mümkün olan en küçük alanı oluşturmak

amacıyla fakültatif havuzda farklı sayıda bölmeye sahip farklı konfigürasyonları analiz edilmiştir. Analiz edilen şemalar, düzenlemeyi belirten izin verilen maksimum kirletici konsantrasyonunu tatmin edici bir şekilde karşılamıştır. Elde edilen sonuçlar, elekler içeren düzenlemelerde fekal koliformların uzaklaştırılmasında daha fazla verim elde edildiğini göstermiştir. Bu çalışmanın deneysel ölçekte yapılması ve daha sonra tasarım prosedürünün belirlendiği sonuçların kontrol edilmesi önerilmiştir.

Facundo ve ark. (2014), yaptığı çalışmada fakültatif bir havuzun tasarımına ve maliyetine bir optimizasyon çalışması uygulamıştır. Doğrusal olmayan programlama için Excel-Çözücü'de genelleştirilmiş azaltılmış gradyan algoritması seçilmiştir. Kontrol şartı olarak geleneksel yaklaşımla önce fakültatif havuz tasarlanmış, ardından önerilen matematiksel modeli uygulanmıştır. Sonuçlar hidrolik bekletme süresinde 4,7 günlük bir azalma olduğunu göstermiştir; bu da %18,27'lik bir azalmayı ve % 17,37'lik bir alanı temsil etmektedir. Her iki durumda da atıksuyun alıcı ortamlara deşarjına ilişkin düzenlemeleri belirten maksimum kirletici limitlerini karşılamıştır.

Facundo ve ark. (2016), ASH'larının kullanımı kolay ve bakımlarının kolay olduğunu belirtmektedir. Atıksu arıtımı doğal yollarla yapılmakta ve gelişmekte olan ülkelerde atıksu tavsiyesi bu yolla yapılabilmektedir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı ise gerekli alanının diğer atıksu arıtma tesislere göre daha fazla olmasıdır. Yaptığı çalışmada, model kısıtlamalarını (çıkış E.Coli ve BOİ) belirlemek için geleneksel metodolojinin matematiksel analizini dikkate alarak, fakültatif bir havuzun tasarımında ve maliyetinde bir optimizasyon gerçekleştirmiştir. Doğrusal olmayan programlama için Matlab optimizasyon uygulaması kullanılmıştır. Geleneksel yöntemle fakültatif havuzu tasarlanmış ve ardından optimizasyon modelini uygulamıştır. Her iki analiz de atıksuyun alıcı ortamlara deşarjı için arıtılmış atıksu kalitesi gerekliliklerini yerine getirmiştir. Çalışmanın sonucunda hidrolik bekletme süresinin 4,82 gün azaldığını ve geleneksel yöntemle göre alandan da % 17,9'luk bir azalma olduğunu göstermiştir. Matematiksel modelin hassaslık analizi de buna dahil edilmiştir.

Olukanni ve Ducoste (2011), maliyet ve arıtma verimliliğine dayalı olarak en iyi ASH birleşimlerinin seçimini optimize etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin bir optimizasyon programıyla birlikte kullanıldığı bir araştırma yürütmüştür. ASH çıkışındaki dışkı E.Coli konsantrasyonu izlenmesinde %70 havuz genişliğinde bölme havuzu tasarımının, literatürde daha önce verilen değerler gibi sürekli olarak en iyi havuz birleşimi olmadığını göstermiştir. Burada hedef inşaat malzemesi miktarının azaltılması ve havuz içerisinde bir miktar sıvı karışımının tolere edilmesiyle sağlanabilir olduğu belirtilmiştir.

Beklendiği gibi, çok amaçlı genetik algoritma optimizasyonu, SIMPLEX optimizasyon algoritmasına kıyasla daha düşük maliyetli bir ASH tasarımı üretilmiş ancak atıksudaki mikrobiyal kirlilik log azalmasında yalnızca marjinal bir artış olmuştur. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin optimizasyon modeliyle oluşturulan diğer bazı tasarımlarda hem daha kısa hem de daha uzun ayırma perdelerin alternatif derinliklerin ve havuz uzunluğu/genişlik oranlarının genel inşaat maliyetini azaltarak havuzların hidrolik verimliliğini artırabileceği gösterilmiştir.

Yıldırım (2006), yaptığı çalışmada bilgisayar programı aracılığıyla evsel atıksu arıtma için kullanılan ASH'ları dahil farklı tesislerin maliyet-debi ilişkisi incelenmiştir. Evsel atıksu arıtma tesisleri için farklı debi miktarları ile maliyet analizi yapmıştır ve debi-maliyet eğrileri, tesislerin ilk yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, birim atıksu maliyetleri ve arazi maliyetlerini göstermiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki deşarj standartları parametreleri göz önüne alınarak, tesisleri boyutlandırılarak çeşitli prosesler içeren alternatiflerle karşılaştırmıştır.

Yılmaz (2010), yaptığı çalışmada evsel atıksu arıtma için ASH'ları yaygın bir yöntem olduğunu belirtmiştir. ASH'larının basit yapılabilir ve işletilebilir ve ekonomik olmaları bunun ana nedenlerindendir. Çalışmada ASH çıkış sularının daha da kaliteli olması için yatay yüzey altı akışlı yapay sulak sistemi kullanmıştır. Bu sistemin işletimi kolay ve ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Fesliyen (2017), yaptığı çalışmada evsel atıksuyun yeniden sulama vb. maksatla kullanılmasında dikkate alınması gereken şartları araştırmıştır. Türkiye'nin "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği"ndeki çizelgeleri incelemek ve gelişmiş ülkelerdeki uygulamaları tartışmak için bir çalışma yapmıştır. Evsel atıksuyun tipik özellikleri incelenmiş ve atıksu arıtma tekniklerinin faydaları ve zararları tartışılmıştır. Yapılan bu çalışmada septik tankları incelenmiştir. Septik tanklarındaki atıksuyun sulama suyu olarak kullanılması için ekonomik, basit bir tasarıma sahip olduğu ve kullanımı kolay bir sistem olduğunu ortaya koymuştur.

Alisawi (2020) çalışmada biyolojik atıksu arıtmanın çeşitli faktörlerden etkilendiğini ve bunlar arasında sıcaklığın çok önemli bir parameter olduğunu belirtmiştir. En soğuk ve en sıcak bölgelerde çok büyük zorluklar bulunduğu ve özellikle sıcaklığın 4°C'nin altında ve 70°C'nin üzerinde değiştiğinde atıksu arıtımının nasıl olduğunu anlamamın zor olduğunu ifade etmiştir.

Huang ve ark. (2021) yaptığı çalışmada atıksu stabilizasyon havuzlarının Kanada Arktik bölgesinde belediye atıksularının arıtılmasında yaygın olarak kullanıldığını belirtmiştir. Atıksuyun bakteriyel yapısı ve işlevselliği çoğunlukla arktik ASH'lar için tanımlanmamıştır, ancak ASH'lerde atıksu ile 3 aylık yaz arıtma sezonu boyunca arıtım sonuçları için önemli olduğu varsayılmıştır. Besin maddeleri (karbonlu biyolojik oksijen ihtiyacı olarak ölçülür), askıdaki toplam katı maddeler ve toplam amonyak nitrojeni, yaz ilerledikçe havuzlardaki arıtma sırasında giderek azaldığını ifade etmiştir. Mikrobiyotadaki çok değişkenli mesafeye dayalı artıklık analizi ve öngörülen gen işlevleri, besin maddelerinin mikrobiyal uzaklaştırılmasının en yüksek havuz sıcaklıklarına sahip arıtım periyoduna denk gelen yaz ortasında zirveye ulaştığı ve su kalitesi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Yaz ortasında daha yüksek atıksu sıcaklıkları optimum biyolojik süreçlere ve besinlerin uzaklaştırılmasına yol açtığını ifade etmiştir. Pasif bir atıksu arıtma sisteminde çevresel faktörleri kontrol etmek zor olup sıcaklığı optimize etmek için havuzun derinliğinin düzenlenmesi çok kolay olmamaktadır.

Khan ve ark. (2017) yaptıkları bir araştırmada, giriş suyunu bir tortu tutma havuzuna saptırmak için tek bir bölme yerleştirmenin havuz performansını iyileştirmediğini göstermiştir. Diğer çalışmaların çoğu, bozulmuş duvarların etkilerini ihmal etmişlerdir. Tersine, ikiden fazla bölmenin dahil edilmesinin hidrolik performansı arttırdı sonucu bulunmuştur. Araştırmadaki sonuçlar, havuzun büyük bir kısmının eğimli olduğu (yani eğimli duvarlardan oluşan) küçük ve dar göletlerle sınırlı olduğu belirtilmiştir. Geniş alanlı havuzlar için duvar eğiminin etkileri ihmal edilebilir olduğu ortaya konulmuştur.

Moumouni (2015) çalışmasında üç ayırma duvarından oluşan tüm bölmelerin üst katmanlarında E. Coli konsantrasyonlarının daha düşük olduğunu, son bölmede ise 0,60 m atıksu derinliğe kadar tespit edilemeyen bir seviyenin bulunduğunu belirtmiştir. E. Coli ortalama giderim verimliliği ve bozunma oranlarına önemli farklara ulaşıldığını belirtmiştir. Su yüzeyinde daha yüksek $\text{pH} \geq 9$, sıcaklık $\geq 32^\circ\text{C}$, çözülmüş oksijen $\geq 8 \text{ mg/L}$ ve klorofil-a $\geq 1000 \mu\text{g/L}$ değerleri gözlenmiş, daha altta çok daha düşük değerler olduğu görülmüştür. Ayırma duvarları içeren havuzda fizikokimyasal parametrelerin ve çevresel faktörlerin karşılıklı etkileşim etkileriyle birleşen atıksu çamuru çökmesi havuzda E. Coli'nin giderimine etki etmektedir.

Ouedraogo ve ark. (2016) atıksu çamur tabakası geometrisinin, gelişmekte olan dünyadaki birçok küçük toplulukta tipik olarak kullanılan fakültatif bir havuzun hidrolik performansı üzerindeki etkisini araştırmak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizini

uygulamıştır. Farklı atıksu çamur hacimleri ve bunların dağılımlarına sahip dört atıksu stabilizasyon havuzu durumu araştırılmıştır. Sonuçta atıksu çamur dağılımının ve hacminin atıksu arıtma verimliliği ve kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Atıksu çamur birikmesiyle arıtma kapasitesi azalsa da, atıksu çamuru, akışın tıkaç akışlı reaktöre daha yakın davranmasına neden olan ve dolayısıyla arıtma verimliliğini artıran bir şaşırtma etkisine neden olduğu belirtilmiştir. Atıksu çamur birikimi ve dağılımının yanı sıra su yüzeyi seviyesinin etkisi de iki ek durumla araştırılmıştır. Bulgular, sabit bir akış hızı korunurken su seviyesindeki bir artışın, çamur saptırma etkisini azaltarak hidrolik performansta önemli bir düşüşe neden olabileceğini göstermiştir. Bu durum ASH sistemlerinde çamur birikiminin ve su yüzeyi seviyesinin dikkatli bir şekilde izlenmesi önerilmiştir.

Sasani ve ark. (2017), yaptığı çalışmada, Ahvaz şehrinin dört havuz sisteminden çıkan arıtılmış atıksular akarsuya girdi olarak kullanılmıştır. Her sistem birbirine seri bağlı iki stabilizasyon havuzundan oluşturulmuştur. Bu havuzların her birinde iki, üç ve dört ayırma duvarları konulmuştur. Mart 2016'dan Şubat 2017'ye kadar olan 12 aylık örnekleme döneminde, her sistemin E.Colisi farklı bekletme süreleriyle giderme kapasitesi araştırıldı.

Park ve ark. (2014), yaptığı çalışmada, $1.000 \text{ m}^3/\text{saat}$ akış hızına sahip tam ölçekli bir çökeltme havuzunda boyuna AD'larının parçaların çökeltme performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirmiştir. Bulanıklık giderme verimliliği ve atıksu çamuru birikintisi dağılımı üzerine karşılaştırmalı deneyler, boyuna şaşırtmalı AD ve şaşırtmalı çökeltme havuzlarında gerçekleştirilmiştir. AD'ları içeren sedimentasyon havuzundaki bulanıklık giderme oranının, AD'ları içermeyen havuza göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, AD'ları içeren çökeltme havuzundaki atıksu çamur birikintisinin derinliği, AD'ları içermeyen çökeltme havuzundakinden yaklaşık %20 daha az olmuş ve atıksu çamur konsantrasyonu da %10 daha yüksek olmuştur.

Facundo ve ark. (2016), Meksika'daki ve gelişmekte olan ülkelerdeki birçok havuz sistemi, alıcı ortamlara atıksu verilmesi standartlarını karşılamamaktadır. Bir olgunlaşma havuzunun tasarımını ve maliyetini optimize etmek için, Meksika için Ulusal Su Komisyonu tarafından benimsenen metodoloji dikkate alınarak, hidrolik bekletme süresi ve AD'ları sayısı değişken olarak alınarak matematiksel modelleme uygulanmıştır. Matematiksel modelin en büyük avantajı, prosesin yinelemeli olması ve birden fazla değişken kullanması nedeniyle geleneksel metodolojiyle elde edilmesi çok zor olan optimal tasarımın elde edilmesidir. Ayrıca AD'ları kullanımının verimliliği arttırdığı ortaya çıkarılmıştır.

Kullanılan algoritma, su kalitesi kısıtlamalarını gerçekleştirmek için en uygun değerleri belirleyen ve inşaat için mümkün olan en düşük maliyeti elde eden Matlab'ın Fmincon fonksiyonunun iç noktası olmuştur.

2.2. Stabilizasyon Havuzlar

Mühendislik görüşü ve bilgisi ile atıksuyun arıtılması için ASH'lar birer depolama havuzlarıdır. Bu havuzların Bs'leri uzundur. Alg ve diğer organizmaların simbiyotik reaksiyonları ve bakterilerin aktivitesi, atıksuyun arıtımını sağlamaktadır (Ali ve Üçüncü, 2023b). Havuz sisteminin üç temel amacı vardır: a) Atıksudaki mevcut olan organik maddelerin giderilmesi. b) Azot ve fosfor gibi bazı besin maddelerinin giderilmesi. c) Patojenik mikroorganizmaların giderilmesi.

2.1.1. ASH'nın Avantajları

- i. İnşa, işletme ve bakım maliyetleri düşüktür.
- ii. İşletmeye alınması, çalıştırılması ve bakımı çok kolaydır.
- iii. Patojenik mikroorganizmalar ve organik maddelerin etkili bir şekilde giderimi sağlanır.
- iv. Giriş atıksu pik debi değerleri, yüksek organik yük ve toksik maddelere karşı dayanıklıdır.
- v. Atıksu arıtması doğaldır.
- vi. Arıtma sonucu oluşan çamurunun ASH'dan çıkarılması, geçici depolanması, taşınması ve nihai bertaraf edilmesi operasyonel sorunlara neden olmaz.
- vii. ASH'nın çıkış suyu su ürünleri yetiştiriciliğinde ve tarımsal faaliyetlerde kullanılır.

2.1.2. ASH'nın Dezavantajları

- i. Boyutlandırılmalarında büyük yüzey alan gerektirirler. Dolayısıyla da büyük arazi alanına ihtiyaç duyarlar.
- ii. ASH'lardan oluşabilecek olan atıksu sızması sonucu yeraltı kirliliğine neden olabilmektedir. Bu tesislerin geçirgenliği çok az olan zeminlerde inşa edilmelidir.

- iii. ASH'lere anaerobik bir havuz eklenmesi durumunda, arıtmanın yapılamadığı zamanlarda ve yüksek konsantrasyonda organik yük gelmesi durumunda kötü kokular meydana gelebilir.
- iv. ASH'nın iyi çalışması, meteorolojik parametrelerden rüzgar, yağış, sıcaklık, bulutluluk ve diğer çevresel faktörlerden nüfus ve kirlilik oranına da bağlıdır.
- v. ASH'nın yerleşim sahası sınırından en az 500 m uzakta inşa edilmesi uygundur. ASH etrafında ağaçlandırma yapılmalı ve bununla da oluşan rüzgâr etkilerinden korunması sağlanmalıdır.
- vi. ASH çıkış atıksuyunda yüksek miktarda alg ve askıda katı madde oluşmaktadır. Şayet bu çıkış atıksuyu kullanılması halinde geçirgenliğini azaltmaktadır.
- vii. Bu arıtmanın çıkış atıksuyun kullanılması halinde yeraltı suyu kirlenmesine neden olabilmektedir.

2.2. Teknik Terimler

ASH'larındaki biyolojik atıksu arıtma proseslerini anlamak için bazı temel kavramlar tanımlanmıştır.

2.2.1. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı Amerika Birleşik Devletleri Çevre Ajansı, çözünmüş oksijenin organik maddeyi parçalamak için sudaki canlı organizmalar tarafından gerekli olduğunu belirtmiştir. Türkiye'de bu kirleticiyi belirleme standart, T.C Resmi Gazetesinde yayınlanmıştır (RG, 2010). BOİ, beş günlük bir inkübasyon süresi boyunca 20°C'de sıcaklıkta tespit edilmekte ve mg/L cinsinden verilmektedir. Konsantrasyon belirlendikten sonra $BOI_5^{20^\circ C}$ yazılır.

2.2.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Bu, tüm organik ve inorganik maddeleri oksitlemek için endüstriyel ve belediye atıksularından alınan oksijen miktarını ifade eder. Türkiye’de bu kirleticiyi belirleme standart, T.C Resmi Gazetesinde yayınlanmıştır. (RG, 2010). Her iki analiz de (KOİ ve BOİ5) organik madde miktarlarını ölçer fakat bunlardan hukuki olan KOİ’dir. KOİ hem organik hem de inorganik maddeyi ölçer ve KOİ değeri BOİ’den daha büyüktür. Herhangi bir bileşik oksitlendiğinden KOİ değeri daha yüksektir. BOİ5, yalnızca biyolojik yollarla bozunabilen organik maddeleri oksitlemesini ortaya koyar.

2.2.3. Biyolojik Süreç

Bakterilerin ve mikroorganizmaların biyolojik aktivitelerinin karmaşık organik maddeleri parçaladığı süreçler olarak tanımlar, bu maddeleri daha kararlı olarak daha basit maddelere dönüştürür.

2.2.4. Atıksuda Fekal Koliform Bakteri

Fekal koliform bakteriler, Escherichia Koli’nin ağırlıklı olarak üreyeceği 44.5-45.5 °C aralığında laktozu fermente eden bakterilerdir (Ali ve Üçüncü, 2023c). Normalde insan ve diğer hayvanların bağırsaklarında yaşayan koliform bakterilerin varlığı, fekal kontaminasyon olduğun hassas bir göstergesidir (Ali ve Üçüncü, 2022b). Sudaki varlığı, insanlar için zararlı organizmaların bulunma olasılığını ortaya koymaktadır. Bu bakterilerin ürettiği bazı hastalıklar şunlardır: Kolera, enfeksiyöz hepatit, gastroenterit, cüzzam, uyuz ve sarı hummadır.

2.2.5. Besinler

Besinler arasında azot ve fosfor yer alır ve biyolojik süreç sırasında besin kaynağıdırlar.

2.2.6. Anaerobik

Yaşamak için oksijene ihtiyaç duymayan anaerobik-organizmaları ve oksijen olmadan gerçekleşen bakteri faaliyet süreçlerini ifade eder.

2.2.7. Aerobik

Atıksu arıtma da oksijenin varlığını ile aerobik-organizmalarını ve süreçlerini tanımlar.

2.2.8. Fakültatif

Bir organik maddenin oksidasyonu ortaya koyar. Bunu yapmak için hem aerobik hem de anaerobik şartları kullanılır.

2.3. Stabilizasyon Havuzlarının İşleyişine Göre Sınıflandırılması

Stabilizasyon havuzlarını aerobik, anaerobik, fakültatif, olgunlaştırma şekillerindedir. Kaynaklar, stabilizasyon havuzlarını da inşa edildikleri iklim bölgelerine, yerin işlevine, arıtmanın amacına ve işlemin birimlerinin sırasına göre sınıflandırır.

2.4. Stabilizasyon Havuzlarının Olduğu Yere Göre Sınıflandırması

2.4.1. Birincil Havuzlar

Ham atıksuyun verildiği ve fakültatif veya anaerobik havuzlar olabildikleri için bu şekilde adlandırılırlar.

2.4.2. İkincil Havuzlar

Birincil bir havuzdan veya başka herhangi bir havuza arıtma işlemi için atıksu alındığında bu şekilde adlandırılırlar.

2.4.3. Olgunlaştırma Havuzlar

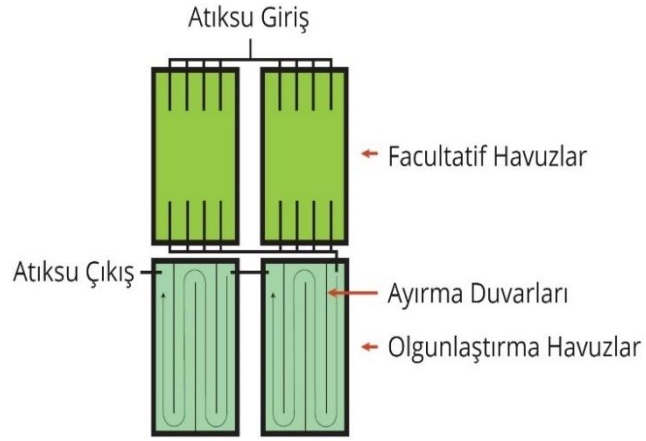
Bu arıtma havuzlarının amacı çıkış koliform konsantrasyonunu azaltmak olduğundan dolayı kullanılır ve bu arıtma havuzların arıtma sistemlerinin son kademesidir.

2.5. ASH’larda Havuz Ünitelerinin Sınıflandırılması

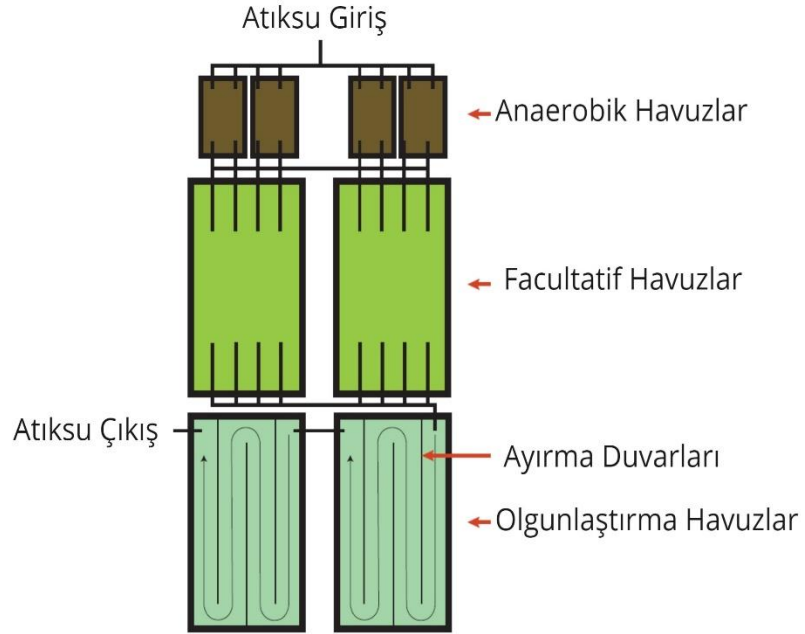
Seri havuzlar, seri arıtma sistemleri takip edilen havuzlar bu kategoriye dahildir; aerobik, anaerobik, fakültatif ve olgunlaşma, ancak aynı zamanda isteğe bağlı bir havuz olarak da kabul edilebilir. Paralel havuzlar, sisteminin yeterli bakımını yapmak için havuz, inşaat esnasında paralel olarak bir dizi havuzunun dahil edilmesi tavsiye edilir (Ali ve Farooq, 2020). Olukanni ve Ducoste, (2011)’e göre, kirleticilerin uzaklaştırılmasında daha yüksek bir verim gerektiğinde, tasarımda üç havuz düzenlenmesi dikkate alınmalıdır. Bunlar anaerobik, fakültatif ve olgunlaştırma havuzudur. Şekil 1 ve Şekil 2 paralel olarak bazı havuz birleşimleri göstermektedir (Ali ve Üçüncü, 2023c).

2.6. Stabilizasyon Havuzlarının İşletmesi

Stabilizasyon havuzları atıksu arıtmanın en basit yöntemlerindendir. Bunlar esas olarak organik maddeleri ve çıkış koliform giderimidir.



Şekil 1. Paralel fakültatif ve olgunlaşma havuzları



Şekil 2. Paralel anaerobik, fakültatif ve olgunlaşma havuzları

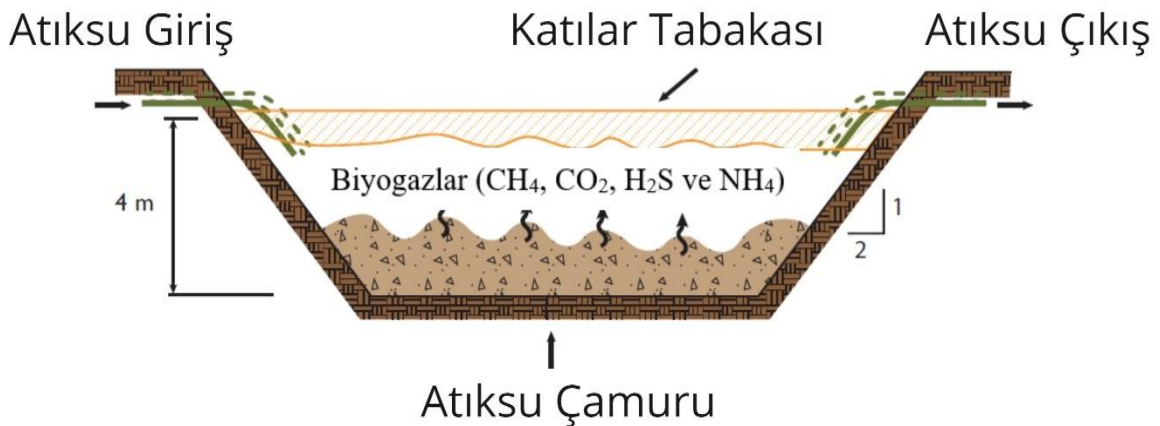
2.6.1. Anaerobik Havuz

Bu tür havuz küçük yüzey alanlara sahip olunmasını gerektirir, alg oluşması ve fotosentez işlemi gerçekleşmez; yani çözünmüş oksijen (O_2) bulunmaz (Ali ve Farooq, 2017). Bakteriler, helmint yumurtaları ve protozoa havuzların dibinde birikir. Daha sonra bu arıtma çamuru anaerobik bir prosesle uzaklaştırılırlar. Belirtilen organizmaların

eliminasyonunda ki etkinlik esas olarak zamanına bağlıdır, hidrolik bekletme süresi, 1-5 gün arasında değişmektedir (Ali vd, 2017). Anaerobik havuzlar, hidrojen sülfür (H_2S) oluşması nedeniyle çok kötü kokular gelmektedir. Ali ve arkadaşlara göre, bir BOİ gideriminin arıtma kinetiği anaerobik, havuzunun geleneksel bir anaerobik çürütücüde gerçekleştirilene benzer şekildedir (Ali vd, 2021). Anaerobik havuzlardaki atıksuyun arıtımı iki önemli koşulu gerektirir. Bunlar: a) Havuzunun tabanınd arıtma çamuru çözünmüş oksijen içermemeli, b) Arıtma sıcaklığı $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den yüksek olmalıdır. Yukarıdaki koşullar sağlandıktan sonra, organik madde aşağıdaki belirtilen aşamalardan geçmektedir.

2.6.2. Atıksu Sıvılaşması

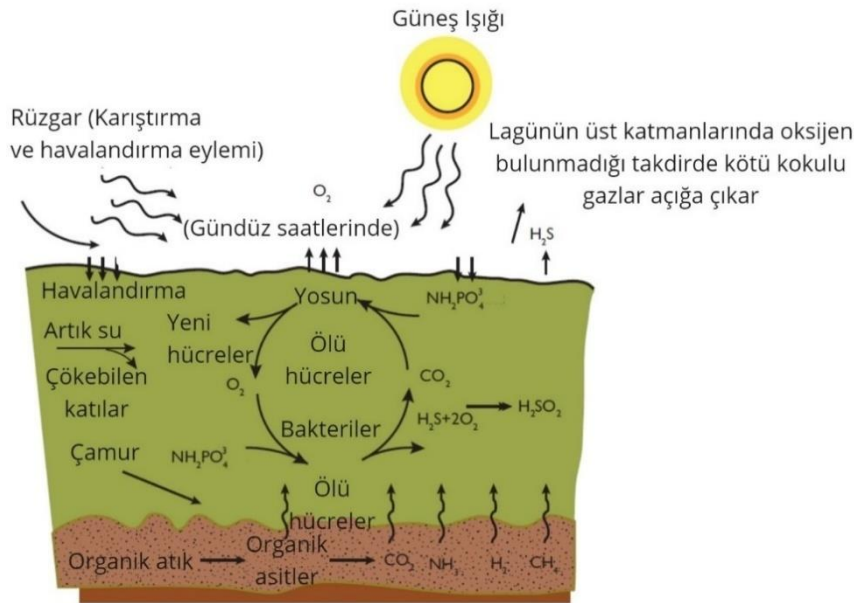
Mevcut organik madde hidroliz ile modifiye olmaktadır. Fakültatif bakteriler karbonhidratları ve gazları yağ asitlerine dönüştürür. Bu aşamada organik maddenin uzaklaştırılması henüz gerçekleşmemiştir. Gazlaştırma bu aşamada organik maddenin uzaklaştırılmasını gerçekleştirilir. Anaerobik bakteriler metan gazı (CH_4) üretirler. Daha sonra organik karbon (C) ve karbondioksit (CO_2) dönüştürürler. Bu şekilde organik maddenin indirgenmesi meydana gelmektedir. Bu şartlarda önerilen atıksu derinlikleri 3-5 m arasında değişmekte ve sürekli arıtma bir operasyonu düşünüldüğünde silt gidermesi gerçekleştirmek için önerilen süre ise 2-4 yıl arasındadır. Şekil 3 anaerobik bir havuzunun en kesitini ve içerisindeki fiziko-kimyasal prosesleri göstermektedir.



Şekil 3. Anaerobik havuz en kesiti ve oluşan biyogaz çeşitleri

2.6.3. Fakültatif Havuzlar

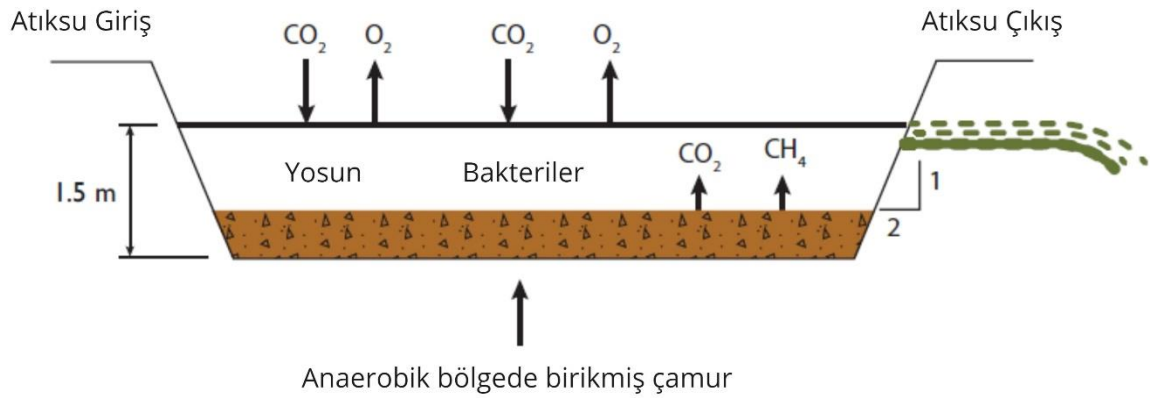
Fakültatif havuzlarda atıksu arıtma işlemi üç kademede oluşur. Bunlar; a) Üst kısımda (atmosfere açık kısım) aerobik koşullar belirlenir; yani, çözünmüş oksijen bulunmakta, vardır; b) aerobik, anaerobik ve fakültatif bakteriler (hem anaerobik hem de aerobik koşullarında yaşayabilir) organik maddenin bozulmasını gerçekleştirir; ve c) Havuzun alt kısmında anaerobik bir bölge, burada biriken arıtma çamuru çökelmiş katıların fermentatif olarak bozulması (Şekil 4)'te görülmektedir. Uygun bir arıtma süreci için yardımcı olan çevresel faktörler şunlardır: Güneş radyasyonu, sedimentasyon, yüksek hidrojen potansiyeli (pH), yüksek oksijen konsantrasyonları (mg/L) ve hidrolik kalma/bekletme süresidir (gün) (Öztürk, 2021). Hidrojen potansiyeli (pH), atıksuyun asetik veya bazik derecesini belirler. Atıksu pH'si 0 ile 14 arasındaki bir aralıkta bulunabilir. Fakat pH burada asla sıfır (0) olamaz. Eğer değer sıfır (0) ise çok büyük asitli, 14 ise çok yüksek alkali olduğunu gösterir. Eğer atıksuyun pH'si 7 ise nötr bir durumdur. Önerilen havuz derinliği 1.5 - 2.5 m arasında değişmektedir.



Şekil 4. Fakültatif havuzdaki bakteri ve alglerin gelişimi ve karşılıklı olarak etkileşimi

Proje sadece fakültatif ve olgunlaşma havuzlarını değerlendiriyorsa; yani fakültatif havuzlar birincil olarak değerlendiriliyorsa, önerilen minimum derinlik 1.5 m. civarındadır.

Bu tür çalışmalarda algler/yosunlar, atıksuda mevcut azot, fosfor ve karbon içeriğinden oluşur; sonra, algler fotosentez nedeniyle oksijen üretirler. Ardından, oluşturulan atıksu içerisindeki oksijen (O_2) aerobik bakteriler tarafından kullanılır; Bu şekilde BOİ değeri oldukça ortadan kaldırılır. Daha sonra, bakteriler karbon monoksit (CO) ve karbondioksit gazı (CO_2), üretir, bu oluşan gazlarda algler tarafından tutulur. Bu sebeplerden dolayı, alg ve bakteriler arasında simbiyotik bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5 fakültatif havuzdaki süreci göstermektedir.



Şekil 5. Fakültatif havuzda arıtma süreci, atıksu derinliği ve şev eğimi

2.6.4. Olgunlaştırma Havuzlar

Arıtma koşulları havuz boyunca tamamen aerobiktir. Amaç, arıtılmış atıksuyun alıcı ortamlar deşarj standartlarına uygun olana kadar fekal koliform bakterileri azaltmaktır. Arıtmaya müdahale eden faktörler; yüksek hidrojen (Yüksek pH) potansiyeli, güneşin ultraviyole ışınları, yırtıcı hayvanların varlığı, çözünmüş oksijenin varlığı ve besin (organik maddelerin) eksikliğidir. Olgunlaştırma veya parlatma havuzları, daha önce başka arıtma tesis atıksuyunun sistemleri tarafından arıtılan atıksuyu alabilir. Tesiste oluşan aktif çamura göre, havuzların sayısı ve boyutları, insan çıkış koliform bakterilerinin ortadan kaldırılması için gerekli olan kalma/bekletme süresi ile belirlenir. Bu havuzların tasarlanmasında iki önemli öneri şunlardır: Giderimi %99,999 ve derinliği 0,6 - 1,5 m arasında olmalıdırlar.

2.7. Havuzların Boyutlarını Belirlemek İçin Modeller

2.7.1. Ampirik ve Rasyonel Olarak Sınıflandırılırlar

Ampirik modeller yalnızca gözlemle sınırlıdır; yani düzgün çalışan havuz sistemleri incelenir (Ali vd, 2021). Başka bir deyişle, kirleticilerin ortadan kaldırılmasında iyi bir verimlilik olduğunda: organik madde ve patojenik organizmalar.

Havuzlarda meydana gelen süreçleri belirlemek için laboratuvar çalışmaları kullanılmaktadır. Genellikle bu incelemeler matematiksel bağıntıları içerir; örnek olarak yapılan bir çalışmanın sonuçlarını matematiksel bağıntılarla ilişkilendirirler. Buradan elde edilen sayısal ifadelerle bir arıtma havuz sisteminin iyi çalışması yapılabilir. Stabilizasyon havuzlarının boyutlandırılmasında kullanılan birçok kriter vardır. Bunlardan birkaçı; anaerobik havuzlar için Güney Afrika’da bulunmakta ve hidrolik bekletme süresine dayalı yöntemdir. Gloyna tarafından yüzey yükü ve sıcaklık bağıntılarıyla desteklenen ve hidrolik bekletme süresine dayalı bir yöntemde olgunlaştırma havuzları hidrolik bekletme süresine çalışması bulunmaktadır. Yánez yöntemiyle türbülanslı akışta kullanılan yöntem bulunmaktadır. Stabilizasyon havuzlarındaki bazı hidrolik özellikler aşağıda verilmiştir (Martinez vd, 2012).

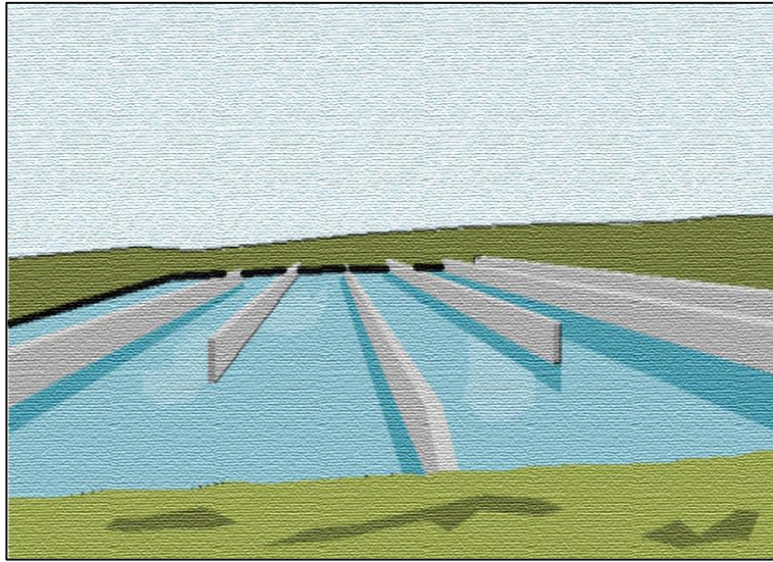
2.8. Havuz Sistem Hidroliği

2.8.1. Atıksu Stabilizasyon Havuzunda Hidrolik Faktörler

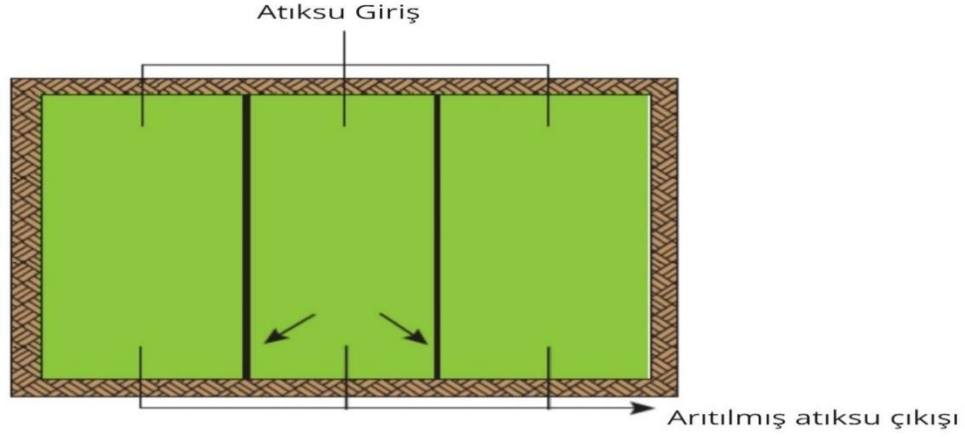
Atıksu Stabilizasyon havuzunda hidrolik uygun olmayan şartların varlığı atıksu arıtma sürecinde ciddi problemler oluşturur. yaratır: havuzun bazı bölgelerinde hız çok düşer ve ölü bölgeler oluşmaktadır. Bu durum havuzda atıksu geçişini engeller. Bu durumlarda havuz iç hacmi ve yüzey alanı azalır ve atıksuda bozulmaya başlar. Bu durumlarda atıksu arıtma verimliliği düşer. Bu olumsuzlukları gidermek için havuz içi atıksuyu havalandırılmalıdır.

2.8.2. ASH'da Atıksu Karışımı

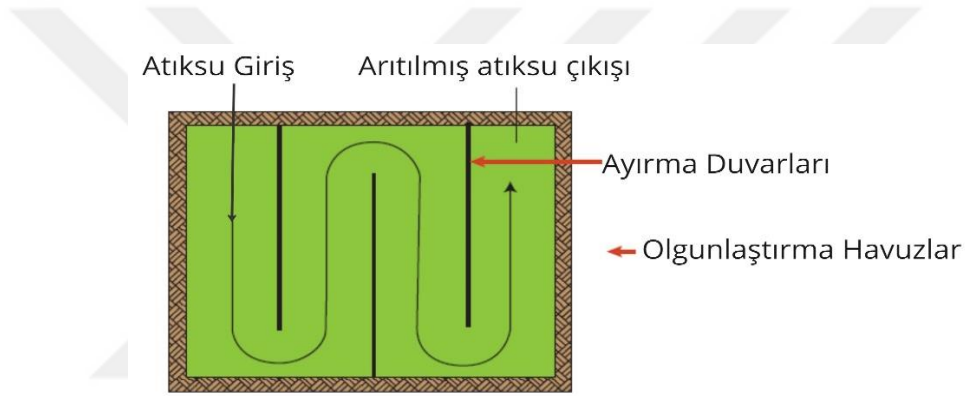
Atıksuyun yasa ve yönetmelikte verilen arıtma seviyelerine kadar artırılması için ASH'daki havuzların çok iyi bir şekilde işletilmesi gerekmektedir. İyi bir işletim ile atıksu arıtımındaki parametrelerin elde edilir. Bu arıtma parametreleri öngörülen bekletme süresinin belirlenmesi ve havuzda ölü bölgelerin ($v = 0$ olan noktalar) oluşmasının önüne geçilmelidir. Şayet bunu yapılmaması durumunda havuz tabanında çökelmeler meydana gelmektedir. Bu durum da havuz hacmi ve havuzdaki hidrolik şartlar değişmektedir. Daha geniş alan gerektiren havuzlar fakültatif havuzlar olup, bunlar Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterildiği gibi bağımsız akış kanalları veya yatay akışlı bölmeler oluşturmak mümkündür. Olukanni ve Ducoste, (2011)'e göre aşağıdaki avantajların elde edilmesi nedeniyle havuzdaki ayırıcıların ve deflektörlerin kullanılmasını önermiştir. Bu yapıların avantajları; a) kirleticilerin uzaklaştırılmasında verimliliği artırır, b) Üst akışı sağlanması ve c) ölü bölgelerin ortadan kalkmaktadır. Ali vd, (2021)'e göre, atıksudaki kirleticilerin giderilmesine yönelik koşullar oluşturulduğu için arıtma verimi de bir artmaktadır.



Şekil 6. Stabilizasyon havuzlardaki betonarme ayırma duvarları



Şekil 7. Gerekli olması halinde ayırma duvarı kullanılan havuz



Şekil 8. Piston tipi akış havuzu

2.9. Stabilizasyon Havuzlarında Akış ve Karışım Modelleri

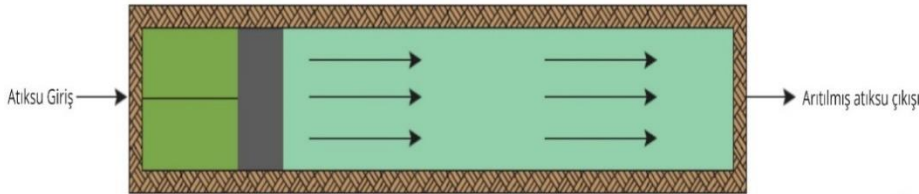
Stabilizasyon havuzu bu tipi sistemlerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinin gerçekleştiği için bu tip sistemler reaktör olarak da adlandırılır. Atıksu arıtımının verimliliğini etkileyen bazı önemli faktörler ise, a) Havuz derinliği, b) havuzların geometrik şekli ve boyutu, c) hidrolik bekletme süresi ve d) havuzlarda ki hidrolik akış düzenidir. Ali ve Üçüncü (2023)'e göre, havuzların içindeki karışımların yanı sıra hidrolik akış modelleri de iki tür olup bunlar sürekli ve süreksiz reaktörlerdir. Bunlardan süreksiz olan laboratuvar çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada stabilizasyon havuzlarındaki sürekli akış modellerinin her biri ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

2.9.1. Piston Tipi Akışı

Ali ve Üçüncü (2023)'e göre, akış yönünde herhangi bir karışım gözlenmez, ancak düşey yönde karışma meydana gelir ve atıksuda bulunan tüm kirleticiler aynı bekletme süresinde açığa çıkar. Havuz içinde piston akışı, kirleticilerin dağılımının az olduğu ve uzunluk-genişlik oranının 3'ten büyük olduğu durumlarda oluşmaktadır.

2.9.2. Komple Karışım

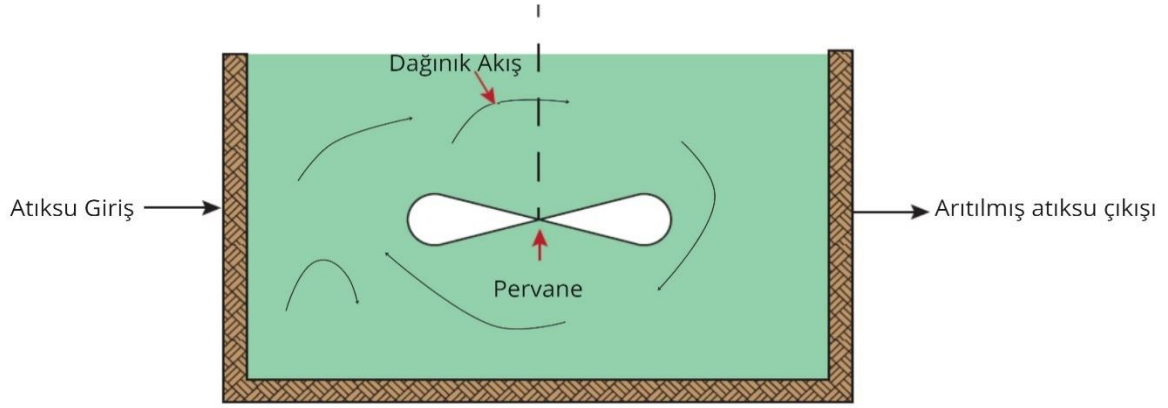
Ali ve Üçüncü (2022)'ye göre bu tür havuzlarda ölü bölgeler ve noktalar oluşur ve kirleticilerin dağılımı 10'a eşit veya daha büyük olduğunda meydana gelmektedir. Bu durumda Uzunluk-genişlik oranı 1'den küçüktür. Önemli bir özellik de atıksu akışın laminar şekilde olmasıdır. Karışımli reaktörü tamamı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Türbülanslı karışım havuzu

2.9.3. Türbülanslı Akış

“Türbülanslı akış, her akış elemanının her dönem için bir tutulma süresine sahip olduğu akış olarak tanımlanır. Keyfi akış olarak da adlandırılır ve ideal piston akışı ve tam karışım olmak üzere iki sınır arasındadır”. Uzunluk-genişlik oranı 1'e 3'tür. Şekil 10'da dağınık akış havuzu görülmektedir.



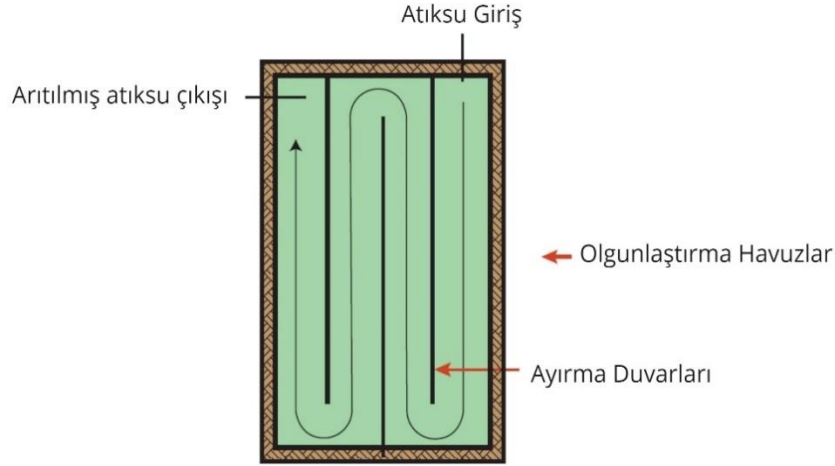
Şekil 10. Karışık akış havuzu

Martinez vd, (2012)'ye göre, dağınık akış modelini bir stabilizasyon havuzunda gerçekleştirilen en iyi hidrolik rejim olarak kabul etmektedir.

2.9.4. ASH Havuz Şekli

Havuzun dikdörtgen şekli organik yükün düzgün dağılımını kolaylaştırır; dairesel veya düzensiz havuzlara göre daha iyi sonuçlar elde edilir. Fakültatif ve anaerobik (birincil) havuzlar mümkün olduğunca dikdörtgen şeklinde olmalı ve uzunluk-genişlik oranı 2 veya 3'e 1 olmalıdır. İkincil veya olgunlaştırma havuzlarının uzunluk-genişlik oranı 3 ile 8 arasındadır. Bu son ilişki hidrolik şartların laminar akışı şeklinde yapılmasını ve hidrolik problem olasılığının azaltılmasını amaçlamaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi, bölmelerin veya akış kanallarının dahil edilmesi arıtma verimliliğini artırır ve kısa devre probleminin çözülmesine yardımcı olur. Fakültatif havuzun çoklu giriş ve çıkışları da olumsuz hidrolik etkilerin azaltılmasına yardımcı olan bir diğer durumdur. Şekil 11 OH havuzu sistemine atıksuyun giriş ve çıkışı göstermektedir. Martinez vd, (2012)'ye göre, stabilizasyon havuzlarında deneysel çalışmalar yapmış ve karışımın tamamının mevcut olmadığı sonucuna varmıştır; daha ziyade türbülans bir akış vardır ve dağılımın etkinliği havuzların şekline bağlıdır.

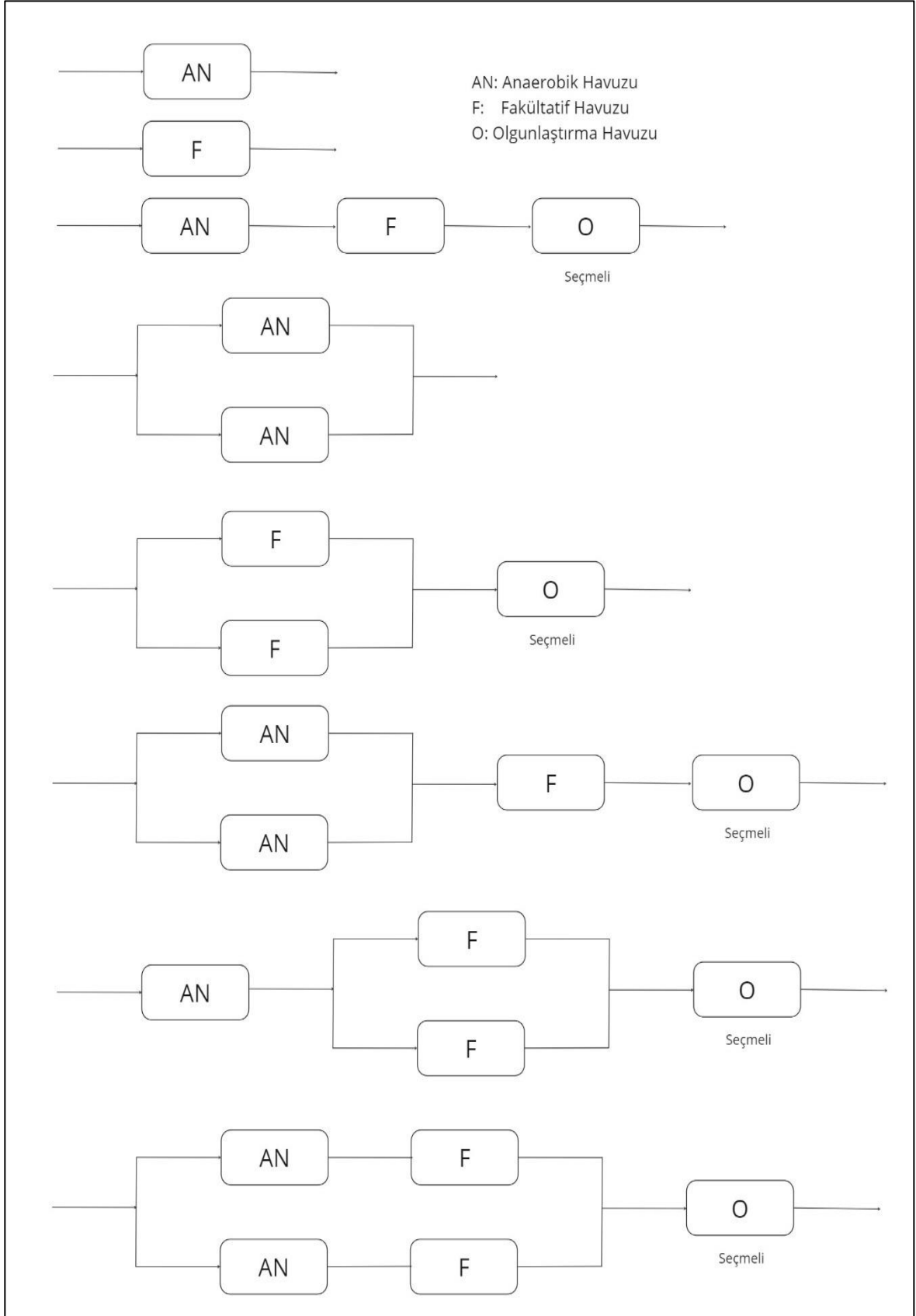


Şekil 11. Olgunlaştırma havuz sistemine atıksuyunun giriş ve çıkışı

Martinez vd, (2012), oluşan köpük ve yüzen maddelerin havuz dışına çıkmasını önlemek amacıyla havuz çıkışında atıksuyun meteorolojik hakim rüzgar yönünün ters yönde konumlandırmamasını önermiştir. Olukanni ve Ducoste, (2011)'e göre havuz birleşiminin düzenlenmesini belirlemek için, arıtılacak atık suyun karakterizasyonunu, arıtılmış atıksu için planlanan yeniden kullanım ve arazinin bulunması önemli olmaktadır. (Şekil 12) Fosseptik tankları ve Imhoff tankları ile daha fazla havuz düzenlemesi vardır ancak bu tez çalışması kapsamında yalnızca havuz sistemleri için boyutlandırma hesaplamasına yer verilmiştir.

2.10. ASH'ların Tasarlanması

Anaerobik ASH havuzunun tasarımında Marais yöntemi kullanılırken, kalan iki havuzun yani fakültatif ve olgunlaştırma havuzlarının tasarımında Yanez yöntemi kullanılmıştır. Analiz ve tasarım işlemleri için birleşim düzenlemesi fikri Martinez, 2012'den alınmış ve her bir tesis bölgesi için 54 ek analiz yapılmış, toplamda ise 420 analiz yapılmıştır (Martinez vd, 2012). Türkiye 7 iklimsel bölgeye bölünme fikri Gülsen'den alınmıştır (Gulsen et al., 2000). Ancak Gülsen yaptığı çalışmasında Türkiye'yi 4 yöne, Kuzey Doğu, Kuzey Batı, Güney Doğu ve Güney Batı olarak 4 Bölgeye ayırmıştır.



Şekil 12. Farklı havuz birleşimleri

2.10.1. Anaerobik Havuzu (AH)

Tüm bölgeler için sabit giriş değerleri (Nüfus (N), $(BOI)_g$ ve Fekal kolibakteri (EMS/100 mL), Havuz derinliği (d_H), kişi başına oluşan günlük atıksu miktarı = KBOGAM alınmıştır. Her iklim bölgesine göre alınan değişken girdi atıksu parametrelerinin değerleri (Son 10 yılda bölgedeki en soğuk ayın ortalama sıcaklığı (T_{ort}), günlük atıksu debisi Q_g ($m^3/gün$) ve günlük buharlaşma miktarı e_h ($mm/gün$) olarak belirlenmiştir.

$$\text{Günlük Debi } (Q_g) = \frac{N \times KGBTM}{1000} \left(m^3/d \right) \quad (1)$$

$$\text{Organik Yük } (O_v) = Q_g \times (BOI_5)_g \times 1000 \quad (2)$$

Tablo 1. Hacimsel yükün belirlenmesi ve BOI_5 giderimi

Sıcaklık ($T_{ort} \text{ } ^\circ\text{C}$)	Hacimsel Kirlilik Yük = λ_v (g $BOI_5/m^3.gün$)	BOI_5 giderimi (%)
<10	100	40
10-20	$20 \times T_{ort} - 100$	$2 \times T_{ort} + 20$
20-25	$10 \times T_{ort} + 100$	$2 \times T_{ort} + 20$
>25	350 (3. denklem)	70 (4. denklem)
Kaynak: (Valero, 2008)		

Bu çalışma çeşitli iklim bölgelerini içerdiğinden, hacimsel kirlilik yükün (3. denklem) ve BOI_5 giderme verimliliğinin belirlenmesi (4. denklem), söz konusu bölgedeki sıcaklığa bağlı olarak Tablo 1'de belirtildiği gibi farklı hesaplanmıştır.

$$\text{Havuz hacmi } (V_H) = \frac{Q_g \times (BOI_5)_g}{\lambda_v} (m^3) \quad (5)$$

$$\text{Havuz ortalama alanı } (A_{\text{ort}})_{\text{AH}} = \frac{V_H}{d_g} \text{ (m}^2\text{)} \quad (6)$$

Varsayılan derinlik = 4 m, yani AH'ler için 2-4 m. aralığında.

$$\text{Bekletme süresi } (B_s) = \frac{V_H}{Q_g} \text{ (gün)} \quad (7)$$

$$\text{Çıkış BOI}_5 \text{ (BOI}_5\text{)}_{\text{ç}} = (\text{BOI}_5)_g \times (\text{BOI}_5)_g' \text{ nin yüzde (\%)} \text{ kaldırılması} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &\text{Atıksu stabilizasyon havuzlarından çıkış debi } (Q)_{\text{ç}} \\ &= (Q)_g - 0,001 \times A \times e_H \text{ (m}^3\text{/d)} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Genel çürüme sabiti, } K_t \text{ (d}^{-1}\text{)} = 2.6 \times (1.19)^{T-20} \quad (10)$$

$$\text{Çıkış Fekal bakteri (EMS/100 mL), } N_{\text{ç}} = \frac{N_g}{1 + K_t \times D_t} \quad (11)$$

$$\text{Çıkış BOI}_5, \text{ buharlaşma ile düzeltilir} = (\text{BOI}_5)_{\text{ç}} = \frac{Q_g \times (\text{BOI}_5)_g}{Q_{\text{ç}}} \quad (12)$$

$$\text{Çıkış Fekal bakteri, buharlaşma ile düzeltilir (EMS/100 mL), } N_e = \frac{Q_g \times (N)_{\text{ç}}}{Q_{\text{ç}}} \quad (13)$$

Havuz boyutlandırma, Uzunluk (L) ile Genişliğe (W) oranı $X = 2$,

$$\text{Ortalama genişlik} = W_{\text{ort}} = \sqrt{\frac{A}{X}} \quad (14)$$

$$\text{Ortalama uzunluk} = L_{\text{ort}} = \frac{(A_{\text{ort}})AP}{W_{\text{ort}}} \quad (15)$$

Dikey (eğim = 0:1) inşa edilecek beton duvarlar

$$W_{\text{tep}} = W_{\text{ort}} + \frac{(d_H)_{AH}}{2} \times E_{\text{ğim}} \quad (16)$$

$$L_{\text{tep}} = L_{\text{ort}} + \frac{(d_H)_{AH}}{2} \times E_{\text{ğim}} \quad (17)$$

$$W_{\text{iç}} = W_{\text{ort}} - \frac{(d_H)_{AH}}{2} \times E_{\text{ğim}} \quad (18)$$

$$L_{\text{iç}} = L_{\text{ort}} + \frac{(d_H)_{AH}}{2} \times E_{\text{ğim}} \quad (19)$$

$$\text{Havuzun tepesindeki alanı} = (A_{AH})_{\text{üst}} = W_{\text{üst}} \times L_{\text{üst}} \quad (20)$$

2.10.2. Fakültatif Havuzlar (FH)

Fakültatif havuzda türbülanslı akış için Yanez yöntemi bu tasarım için kullanılmıştır (Martinez vd, 2013). Anaerobik havuz tasarımından elde edilen ve Fakültatif havuz tasarımı için atıksu giriş değerleri olarak kullanılmıştır. Buharlaşma ile düzeltilmiş atıksu parametresinden $BO\dot{I}_5 = (BO\dot{I}_5)_{\text{ç}} = (BO\dot{I}_5)_g$, atıksu Fekal bakteri, buharlaşma ile düzeltilmiş $(EMS/100 \text{ mL}) = N_{\text{ç}} = N_g$, (Son 10 yılın bölgedeki en soğuk ayın ortalama sıcaklığı (T_{ort}), atıksu stabilizasyon havuzlarından çıkış debileri $= Q_{\text{ç}} = Q_g \text{ (m}^3/\text{d)}$ ve cinsinden buharlaşma $e_h \text{ (mm/gün)}$ alınmıştır.

$$\text{Organik Yük (O}_Y\text{)} = Q_g \times (BO\dot{I}_5)_g \times 1000 \quad (21)$$

Maksimum yüzey yükleme oranının belirlenmesi için formül her bölgedeki sıcaklığa bağlı olarak farklıdır. Maksimum yüzey yükleme oranı, sıcaklığı $8\text{ }^{\circ}\text{C} \leq$ (Türkiye'nin 4/7 bölgeleri için geçerlidir) olan bölgeler için aynıdır, yani bu yük 80 kg/ha.gündür. Kalan diğer 3 bölge için aşağıdaki verilen formül 22 kullanılarak hesaplanmıştır. BOI_5 için maksimum yüzey yükleme hızı olarak eşitlik 22 kullanılmıştır.

$$\lambda_s \text{ (kg/ha. gün)} = 350 \times (1.107 - 0.002 \times T_{\text{ort}})^{T_{\text{ort}} - 25} \quad (22)$$

Bu eşitlik genel olarak inşa edilecek fakültatif havuzların tasarımında kullanılan denklemi vermek üzere güvenlik faktörünü içerir (Mara, 2013).

$$\text{Fakültatif havuz ortalama alanı} = (A_{\text{ort}})_{\text{FP}} = \frac{10 \times Q_g \times (\text{BOI}_5)_g}{\lambda_s} \quad (23)$$

$$\text{Fakültatif havuz hacmi} = (V_{\text{ort}})_{\text{FP}} = (A_{\text{ort}})_{\text{FP}} \times (d_h)_{\text{FP}} \quad (24)$$

Fakültatif havuz derinliği 1,5 - 1,8 m aralığında öngörülmüştür. Anaerobik havuzların tasarımında kullanılan bekletme süresinin denklem (7)'de uygulanmıştır. Havuz boyutlandırması için uzunluk (L) - genişlik (W) oranı, $X = 3$ (oluşabilecek olan kısa devreleri en aza indirmek için), anaerobik havuzların tasarımında kullanılan denklemi 14 uygulanmıştır. İnşa edilecek düşey (eğim = 2:1) beton duvarlar, $(d_h)_{\text{FP}} = 1,5$ m, üst genişlik ve uzunluk ile iç genişlik ve uzunluğun hesaplanması için Anaerobik havuzların tasarımında kullanılan denklemler 16-19 uygulanmıştır.

$$\text{Havuzun tepesindeki alanı} = (A_{\text{FP}})_{\text{tep}} = W_{\text{tep}} \times L_{\text{tep}} \quad (25)$$

$$\text{FH'dan çıkış debisi (m}^3/\text{d)} = Q_{\text{ç}} = Q_g - 0,001 \times A \times e_h \quad (26)$$

Fekal koli bakteri uzaklaştırılması için havuz içi dağılım faktörü

$$d_f = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392 (X) + 1.0136 (X)^2} \quad (27)$$

X = Uzunluk (L) ila Genişlik (W) oranı = 3 olduğunda, ayırma duvarları dahil edilmediğinde. Fekal bakteri uzaklaştırılması için dağılım faktörü, ayırma duvarları dahil edildiğinde

$$X = \frac{(L_{ort}) (0,7 \times \text{AD sayısı} + 1)}{(W_{ort}) / (0,7 \times \text{AD sayısı} + 1)} \quad (28)$$

Bakteriyel çürüme katsayısı da her bölge için farklıydı, önce fakültatif ve olgunlaştırma havuzlarının derinliğine göre $(K_b)_{20}$ hesaplandı ve daha sonra $(K_b)_{Tort}$, bölgedeki sıcaklığa göre hesaplandı. Bakteriyel çürüme katsayısı

$$(K_b)_{Tort} = (K_b)_{20} \times (\theta)^{(T_{ort}-20)} \quad (29)$$

Burada: $(K_b)_{20} = 0.542 \times H^{-1.259}$ ve θ değeri sabit alınmış, Marais 1974 1.19 kullanılmış, ancak Yanez 1993 değerin abartıldığını ve 1.07 olarak alınması gerektiğini belirtmiştir (Verbyla, 2017). Wehner ve Wilhelm önce "a" sabitinin değerini belirlediler ve Thirumurthi bunu aşağıdaki gibi basitleştirdi:

$$a = \sqrt{1 + 4 [(K_b)_{Tort} \times B_s \times d_f]} \quad (30)$$

Thirumurthi tarafından atıksu fekal bakteri (EMS/100 mL) için sunulan modifiye formül aşağıda verilmiştir (Martinez vd, 2012):

$$\frac{N_c}{N_g} = \frac{4 \times a \times e^{\left(\frac{1-a}{2 \times d_f}\right)}}{(1+a)^2} \quad (31)$$

Buharlaştırma ile düzeltilen atıksu fekal bakteri (EMS/100 mL), formülü (13) kullanılarak hesaplanabilir

$$\text{Çıkış } (BOI_5)_\zeta = \frac{(BOI_5)_g}{(K_f)_{\text{Tot}} \times K_s + 1} \quad (32)$$

$$\text{Nerede, } (k_f)_{\text{Tot}} = \frac{(K_f)_{35}}{(1.085)^{35 - T_{\text{Tot}}}} \text{ ve } (k_f)_{35} = 1.2 \text{ d}^{-1} \text{ (Martinez vd, 2014)} \quad (33)$$

$$BOI_5\text{'in giderme verimliliği (\%)} = \frac{(BOI_5)_i - (BOI_5)_\zeta}{(BOD_5)_g} \times 100 \quad (34)$$

$$\text{Atıksu } BOI_5, \text{ buharlaşma ile düzeltilmiş} = (BOI_5)_\zeta = \frac{Q_g \times (BOI_5)_g}{Q_\zeta} \quad (35)$$

Not: FH'lerdeki ayırma duvarları (AD'ları), Olukanni'nin belirttiği gibi daha yüksek verimlilik elde etmek için havuzların uzunluğuna paraleldir (Olukanni and Ducoste, 2011).

2.10.3. Olgunlaştırma Havuzu (OH)

Fakültatif havuzda olduğu gibi olgunlaştırma havuzunun tasarımında da dağınık akış için Yanez yöntemi kullanılmıştır (Martinez vd, 2016). Fakültatif havuz tasarımından elde edilen atıksu değerleri, ihtiyaç duyulan her yerde, olgunlaştırma havuzunun tasarımında giriş değerleri olarak kullanılmıştır. Bekletme süresi (B_s) deneme yanılma yöntemi ile hesaplanmış, yani tasarım sayfasına manuel olarak değer eklenmiş ve BOI_5 ve fekal kolibakteri çıkış değerleri Türkiye sulama suyu standardı ile karşılaştırılmıştır.

$$\text{Havuz hacmi, } V_H = Q_g \times B_s \quad (36)$$

$$\text{Havuz alanı, } A_H = \frac{V_H}{d_h} \quad (37)$$

Fakültatif havuz tasarımı, olgunlaştırma havuzunun geri kalan tasarım prosedürü için denklemler 24 ila 35 kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda olgunlaştırma havuzunun genişliği fakültatif havuza eşdeğer olarak alınmış, daha sonra fakültatif havuzda belirtilen aynı prosedür tekrarlanarak uzunluk hesaplanmıştır.

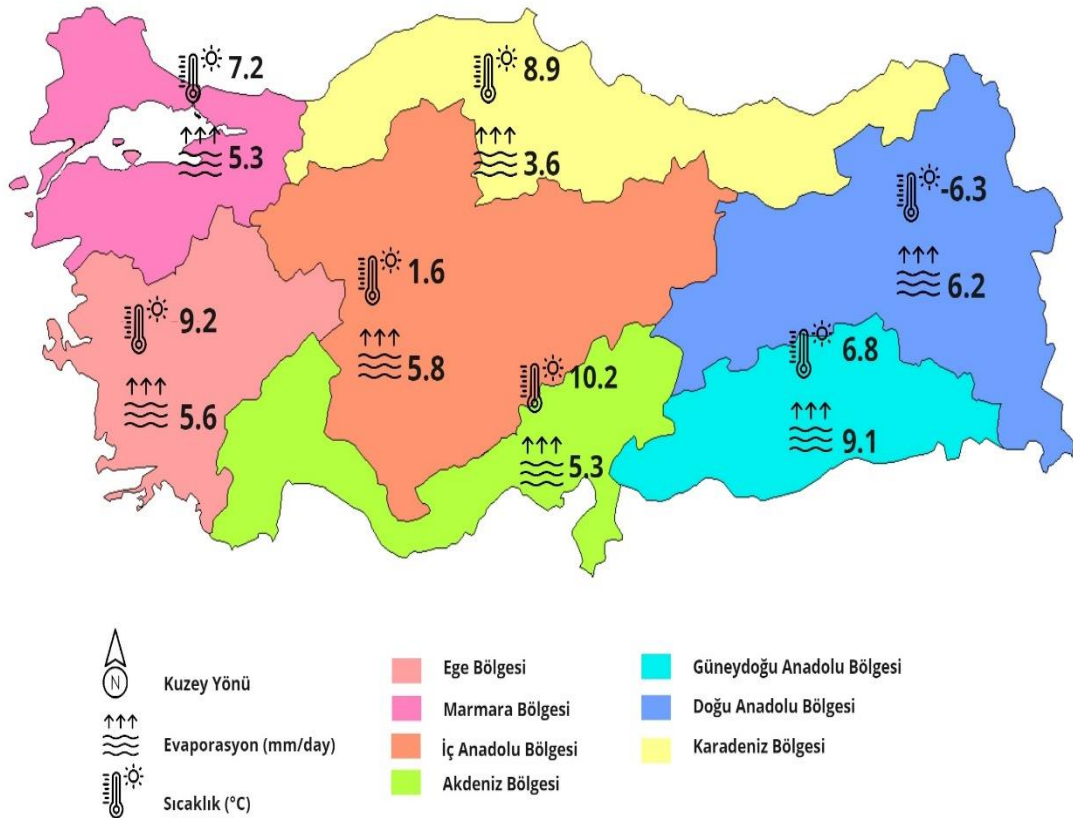
2.11. ASH'da Arıtma Yöntemi Uygulanması

Türkiye'nin her bölgesindeki kırsal yerleşimler için, atıksu sisteminin halihazırda sağlandığı belirtilen birleşimler ve düzenlemeler kullanılarak bir atıksu arıtma tesisi tasarlanmıştır. ASH'ler çoğunlukla sıcak iklime ve 2000'den az nüfusa sahip yerleşim alanlarında tercih edilmektedir (Yılmaz vd, 2010) . Türkiye'de nüfusu 2000'den az olan yerleşim yerleri köy, 2000-20000 yılları kasaba, 20000'in üzerindeki şehirler olarak kabul edilmektedir (Özden, 2008; RG, 27527). Türkiye'nin tüm bölgeleri için tipik bir kırsal bölge nüfusu olan ASH'lerin eleştirel değerlendirmesi için tüm bölgelerde 1200 kişilik sabit bir değer alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan atıksu üretim oranı, ilgili bölgedeki su tüketiminin yaklaşık olarak %80'i alınmıştır (TUİK, 2022). Hesaplanan atıksu üretim oranı, Türkiye'nin yedi iklim bölgesinden dördünde, yani Karadeniz, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da KBOGAM 179 L/(Kişi. Gün) olarak gerçekleşmiştir (URL-1). Ancak diğer üç iklim bölgede bu oran Marmara, Ege ve İç Anadolu için sırasıyla 151, 166 ve 191 L/(Kişi. Gün) olmuştur (URL-2).

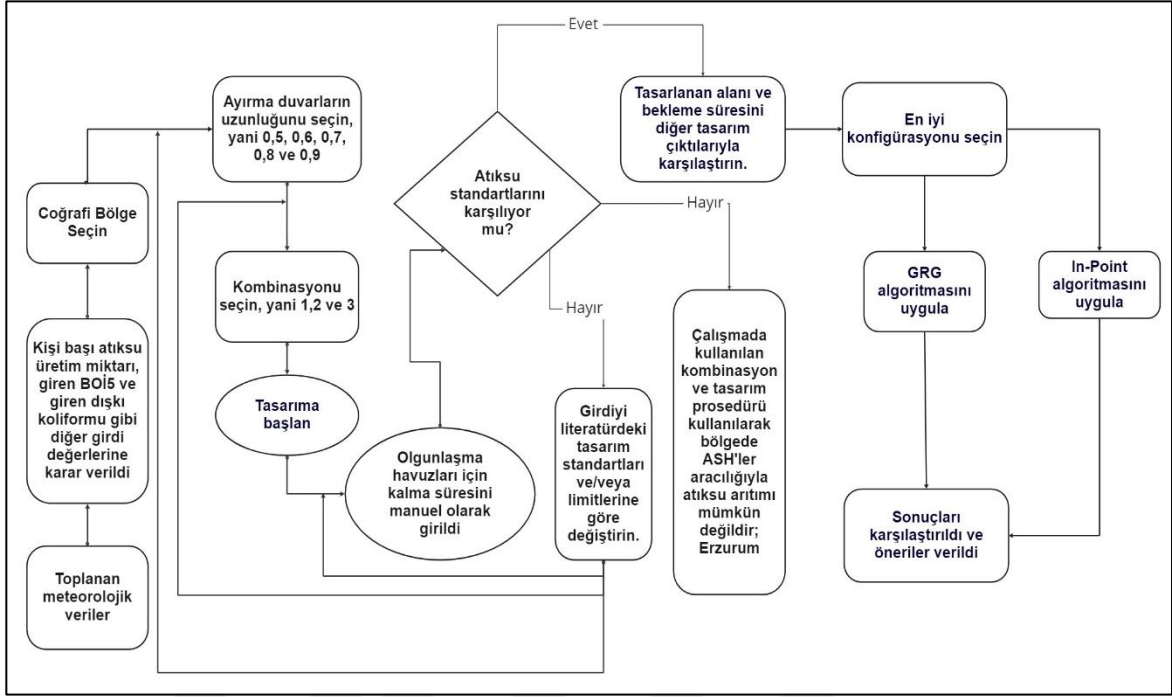
Bu çalışmada evsel atıksuda tipik fekal koliform bakteri ve BOI_5 konsantrasyonları sırasıyla 10^7 EMS/100 mL ve 200 mg/L olarak alınmıştır (George vd., 2000). Şekil 13'te gösterilen buharlaşma ve sıcaklık değerleri, ilgili iklim bölgesindeki en soğuk ayın ortalamasıdır. Bu meteorolojik değerler Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan son 10 yılın (2012-2021) meteorolojik verilerinden hesaplanmıştır. Yapılacak arazi sulamasında kullanılacak ASH'leri çıkış atıksuyu kalitesinin belirlenmesi amacıyla, (RG, 2010) Ek 1'de belirtilen konsantrasyonları dikkate alınmıştır. Bu RG ekinde, atıksular sınıf A ve B olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Sınıf A'da, $BOI_5 = 20$ (mg/L) ve 0 (EMS/100 mL)'den küçük veya eşit olmalıdır. ASH'ler çıkış atıksuyu B sınıfında $BOI_5 = 30$ mg/L'den az, fekal koliform bakteri değeri ise 200'den (EMS/100 mL) küçük veya ona eşit olmalıdır (RG, 2010). Bu çalışmada, Türkiye'nin iklim bölgelerinde ASH'lerin eleştirel değerlendirilmesi için B sınıfı standartlar ele alınmıştır.

2.11.1. En İyi Arıtma Verimi İçin ASH Birleşim Seçilmesi

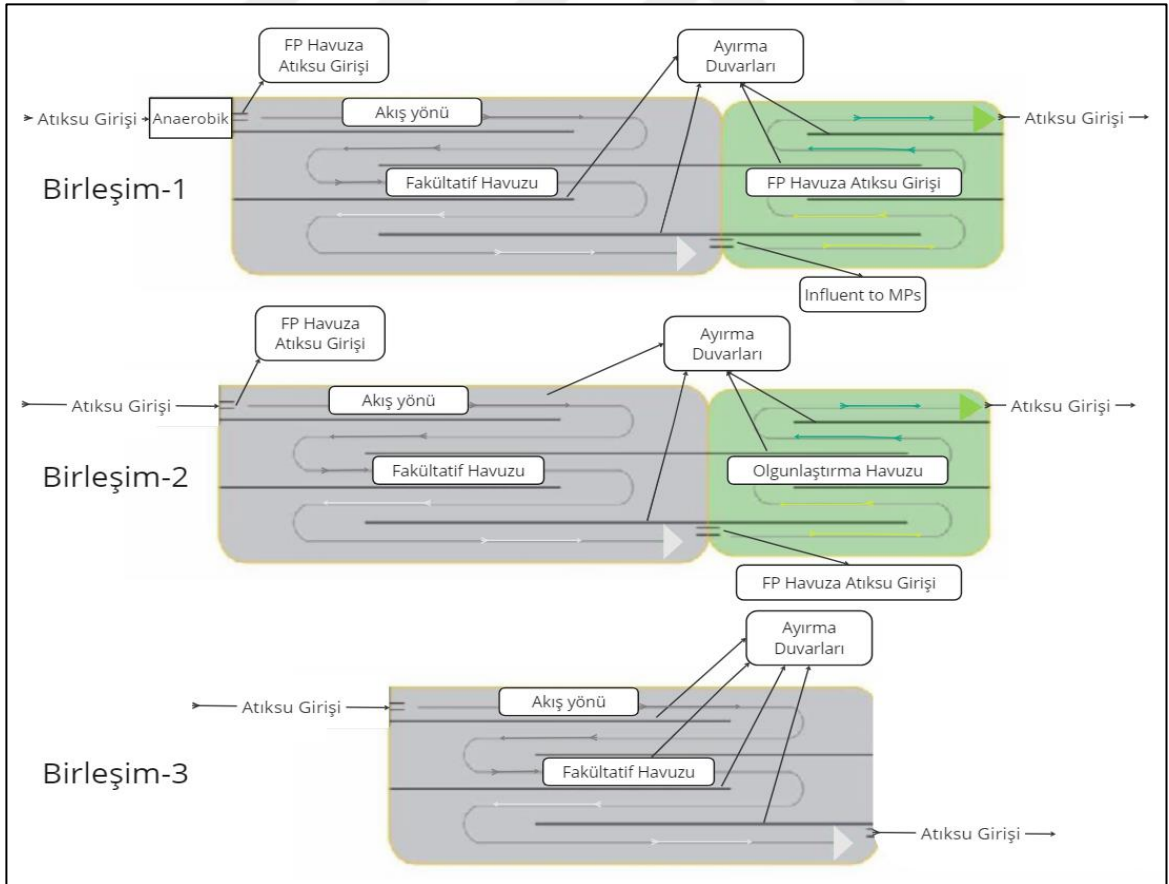
Türkiye’deki iklim bölgeler ve meteorolojik veriler Şekil 13’te verilmiştir. Şekil 14’te yapılan tüm analizin ve optimizasyonun akış şeması gösteriyor. Hedef-1’e ulaşmak için geleneksel yaklaşımıyla ve Microsoft Excel yardımıyla atıksu stabilizasyon havuzlarının her bölge için Şekil 15’te verilen birleşimlerden en iyisi seçilmiştir. Bunun için ayırma duvarların sayısı 0, 2, 4, 6, 8 ve 10 adet olarak kullanılmıştır. Ayırma duvarların uzunluğu toplam havuz uzunluğunun 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9 olarak seçilmiştir. Bunların sayısı sadece fakültatif havuzlarında, uzunluğu ise fakültatif ve olgunlaştırma ikisinde değişmiştir. Birleşim-1’de üstte belirtildiği gibi ayırma duvarların sayısı 0, 2, 4, 6, 8 ve 10, birleşim-2’de 0, 2, 6 ve 8 ve birleşim-3’te 4 ve 10 kullanılmıştır. Duvarların sayısı olgunlaştırma havuzlarında sabit tutuldu (Martinez vd, 2012).



Şekil 13. Türkiye’nin iklim bölgelerinde en soğuk ayın giriş verileri



Şekil 14. Tasarım için yapılan analiz akış şeması



Şekil 15. Hedef-1'de kullanılan birleşim sistemleri

2.11.2. Genelleştirilmiş Azaltılmış Gradyan (GRG) Algoritması ile Modelleme

Hedef-2'ye ulaşmak için hedef-1'de bulunduğu en iyi birleşim için üç karar değişkenini (bekleme süresi, sayısı ve ayırma duvarların uzunluğu) göz önünde bulundurarak Microsoft Excel çözücüyü kullanılacaktır. Analizi çalıştırmak için sistem, atıksu stabilizasyon havuzlarının tasarımının optimizasyonu için genelleştirilmiş azaltılmış gradyan algoritmasını (Generalized Reduced Gradient Algorithm) kullanır (Martinez vd, 2013).

Genelleştirilmiş Azaltılmış Gradyan (GRG) Excel Çözücü sistemi tarafından kullanılan algoritma. GRG bilinen bir çözümle başlar, yani önceden hesaplanmıştır. Amaç yeni bir teklif bulun, ancak geliştirilmiş. Algoritma, sistemin uygun bölgesini kontrol eder. bilinen çözüm ve yeni bir çözüm belirler, daha fazla optimize etmek artık mümkün olmayana kadar sonuç. Araç bir grup içinde hareket eder karar değişkenleri adı verilen hücrelerin amaç fonksiyonu formülüne dahil edilir ve kısıtlamalar. Bazı özellikler programlama problemlerinin nerede GRG yöntemini kullanmak mümkün aşağıdaki: amaç fonksiyonu doğrusal olabilir veya doğrusal olmayan, eşitlik kısıtlamalarını kabul eden veya eşitsizlik ve başvurulacak başlangıç noktası GRG uygulanabilir olabilir veya olmayabilir (Ali ve Üçüncü, 2022a).

Excel çözücü, bir GRG algoritması kullanan fakültatif havuz için somut hacim optimizasyonunu gerçekleştirdi. Objektif fonksiyon olarak, hacim (V), fakültatif havuzun levhası, parametre duvarları ve AD'leri için gerekli beton cinsinden yazılmıştır. Tasarım optimizasyonu için araştırılan matematiksel ilişkiler aşağıda listelenmiştir. Hipotez, gözetli süresi, uzunluğu ve modeldeki ADs arasındaki matematiksel bağlantıyı korumaktır. Tasarım ve/veya karar değişkenleri, AD'lerin hidrolik bekletme süresini (B_s), ADs ve uzunluğunu (L_{AD}) temsil eder. Taban levhanın, parametre duvarlarının ve AD'lerin boyutları 42 ve 43 numaralı denklemlerde bu değişkenler açısından yazılır. Denklem 46, bu optimizasyon modelinde objektif fonksiyon olarak kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
 &\text{İsteğe bağlı havuz için beton hacmini en aza indirin} = V = \\
 &\text{Taban levhası için beton hacmi} \left((L \times W) \times t \right) + \\
 &\text{Parametre duvarları için beton hacmi} \left((2 \times L \times d_p + 2 \times W \times d_p) \times t \right) + \\
 &\text{AD için beton hacmi} (\% \text{ AD uzunluğu} \times (L \times \text{ADs} \times d_p) \times t)
 \end{aligned} \tag{38}$$

Duvar ve döşeme kalınlıkları eşit kabul edilmiştir ($t = 15$ cm). Sadeleştirme için, t ortak olarak alındı ve denklem aşağıda verildiği gibi değiştirildi.

$$Min.V = \left[(L \times W) + (2 \times L \times d_H + 2 \times W \times d_H) + \left(\left(\frac{L_{AD}}{L} \times 100 \right) \times AD_s \times d_H \right) \right] \times t \quad (39)$$

Tasarım değişkenleri açısından boyutları temsil etmek için atılan adımlar aşağıdadır.
Ortalama hidrolik bekletme süresi:

$$B_s = \frac{V_H}{Q_g} \quad (40)$$

$$V_H = A_H \times d_H \quad (41)$$

Uzunluk-genişlik oranı 3 ise, fakültatif havuzun uzunluğu ve genişliği aşağıda belirtildiği gibi hesaplanabilir.

$$L = 3 \times W \quad (42)$$

Parametre duvarlarının ve AD'lerin derinliği eşdeğerti ve şu şekilde temsil edildi: (d_H)
= 1.5 m.

$$W = \sqrt{\frac{B_s \times Q_g}{3 \times d_H}} \quad (43)$$

$$L = 3 \times \sqrt{\frac{B_s \times Q_g}{3 \times d_H}} \quad (44)$$

43. denklemi, havuzun uzunluğu (L) ve genişliği değiştirilerek aşağıda verildiği gibi değiştirildi.

$$\text{Min. } V = \left[\left(3 \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \right) + \left(\left(2 \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \right) + 3 \times \left(2 \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \right) \right) \times d_H + 3 \times d_H \times AD_S \times L_{AD} \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \right] \times t \quad (45)$$

$$\text{Min. } V = \left[\left(3 \times \frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H} \right) + \left(8 \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \right) \times d_H + 3 \times d_H \times AD_S \times L_{AD} \times \sqrt{\frac{B_S \times Q_g}{3 \times d_H}} \right] \times t \quad (46)$$

Karekök çarpma kurallarını izleyerek ve ilgili diğer terimleri çarparak, denklem 46 aşağıdaki gibi daha da basitleştirilebilir:

Tablo 2. Tasarım ve optimizasyon kısıtlamaları

BOİ ₅	≤	30 mg/L	AD, B _S , ve d _f	>	0
AD	≤	10	AD	=	Tam sayı
30	≤	B _S	≤	50 gün,	
0.5	≤	L _{AD}	≤	0.9,	
Fekal koliform bakteri	≤	200 EMS/100mL			

Tasarım akışının bir karar değişkeni olmadığını burada fark etmek ve akılda tutmak önemlidir. Bunun yerine, göleti projenin nüfusuna göre tasarlamak için kullanılır. Tasarım ve optimizasyon kısıtlamaları aşağıda verilmiştir.

- Havuzları geleneksel metodolojiyi kullanarak tasarlayın, amaç fonksiyonunu kullanarak sonucu hesaplayın (Şekil 16) ve optimizasyondan sonra karşılaştırma için ayrı ayrı kopyalayın (Şekil 17).
- 'Hedef Belirle (Set Objective)' bölümünde hedef fonksiyon hücrelerini seçin ve ardından en aza (Min) indirme optimizasyonunu seçin (Şekil 18).
- Kısıtlamaları seçin ve üst ve alt limitleri uygulayın (Şekil 18).
- Açılır menüden 'GRG nonlinear'ı seçin ve ardından solve'ye tıklayın.
- Solve'ye tıkladıktan sonra rapor pencereyi açılır (Şekil 19).
- Her ikisinin sonuçlarını karşılaştırın ve azalma yüzdesini hesaplayın.

Havuz türü	N	KGBTM	T _{ort} °C	(BOİ ₅) _g	N _i	d _p	Q _i	O _L	% BOİ ₅ 'in Çıkarılması	λ _v
Anaerobik	1200	166	9.2	200	10000000	4	199.20	39.84	40	100
Fakültatif			9.2	120	5588778	1.5	198.62	23.83	85.96	
Olgunlaştırma			9.2	20	13966	1	166.46		69.37	
λ _s	V _p (m ³)	A _p (m ²)	B _s	(BOİ ₅) _ç	(BOİ ₅) _ç buharlaşma ile düzeltilmiştir	Q _ç	AD'lerin Uzunluğu (% × L)	X	d	a
	398.40	100	2.00	120	120	198.62				
92	8318.32	5546	41.88	17	20	166.46	0.5	96	0.0103	1.13
	3296	3296	19.8	5	6	147.34	0.5	22	0.0438	1.38
			63.68							
K _i (d ⁻¹)	K _f	N _ç	N _ç buharlaşma ile düzeltilmiştir	AD'ler	L-W oranı	W _{ort}	L _{ort}	W _{üst}	L _{üst}	A _{üst}
0.3973		5572570	5588778		2	7.06	14.11	7.06	14.11	100
0.1565	0.14625	11704	13966	7	3	42.99	128.98	42.99	128.98	5546
0.2610	0.14625	177	200	4		42.99	76.66	42.99	76.66	3296
										8941
										Betonarme Hacmi (m ³) 1010.80

Şekil 16. Hassaslık analizi için temel örnek tablo (a)

Havuz türü	N	KGBTM	T _{ort} °C	(BOİ ₅) _g	N _i	d _p	Q _i	O _L	% BOİ ₅ 'in Çıkarılması	λ _v
Anaerobik	1200	166	9.2	200	10000000	4	199.20	39.84	40	100
Fakültatif			9.2	120	5588778	1.5	198.62	23.83	87.53	
Olgunlaştırma			9.2	18	10822	1	161.76		68.48	
λ _s	V _p (m ³)	A _p (m ²)	B _s	(BOİ ₅) _ç	(BOİ ₅) _ç buharlaşma ile düzeltilmiştir	Q _ç	AD'lerin Uzunluğu (% × L)	X	d	a
	398.40	100	2.00	120	120	198.62				
92	9533.87	6356	48.00	15	18	161.76	0.5	38	0.0261	1.34
	3203	3203	19.8	5	5	143.18	0.5	19	0.0516	1.44
			69.80							
K _i (d ⁻¹)	K _f	N _ç	N _ç buharlaşma ile düzeltilmiştir	AD'ler	L-W oranı	W _{ort}	L _{ort}	W _{üst}	L _{üst}	A _{üst}
0.3973		5572570	5588778		2	7.06	14.11	7.06	14.11	100
0.1565	0.14625	8814	10822	4	3	46.03	138.09	46.03	138.09	6356
0.2610	0.14625	151	170	4		46.03	69.58	46.03	69.58	3203
										9658
										Betonarme Hacmi (m ³) 1098.38

Şekil 17. Hassaslık analizi için giriş veri değiştikten sonra örnek tablo (b)

Solver Parameters

Set Objective:

To: ☐ Max ☒ Min ☐ Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

\$K\$18 <= 75

\$L\$14 >= 0

\$K\$6 <= 0.9

\$K\$6 >= 0.7

\$L\$6 <= 30

\$L\$6 >= 1

\$M\$4 <= 9

\$M\$4 = integer

\$M\$4 >= 1

\$P\$14 <= 1000

\$P\$14 >= 0

Add

Change

Delete

Reset All

Load/Save

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Şekil 18. Excel çözücü parametre ve model giriş ekran görüntüsü (a)

A

B

C

D

E

F

G

H

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

Microsoft Excel 16.0 Answer Report

Worksheet: [Design of WSPs-Mexico - GRG Excel Solver - Copy.xlsx]FP_Design

Report Created: 5/28/2022 11:42:10 AM

Result: Solver found a solution. All Constraints and optimality conditions are satisfied.

Solver Engine

Engine: GRG Nonlinear

Solution Time: 0.5 Seconds.

Iterations: 5 Subproblems: 2

Solver Options

Max Time Unlimited, Iterations Unlimited, Precision 0.000001

Convergence 0.0001, Population Size 100, Random Seed 0, Derivatives Central

Max Subproblems Unlimited, Max Integer Sols Unlimited, Integer Tolerance 1%, Assume NonNegative

Objective Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$L\$25	Total Cost Mathematical Model	5277568.47	4710355.32

Variable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value	Integer
\$K\$6	L MampF	0.7	0.7	Contin
\$L\$6	OF (days)	25.77	21.06	Contin
\$M\$4	N MampF	3	8	Integer

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$L\$14	d	0.0058	\$L\$14>=0	Not Binding	0.0058
\$P\$14	Ne	999.9999999	\$P\$14<=1000	Binding	0
\$P\$14	Ne	999.9999999	\$P\$14>=0	Not Binding	999.9999999
\$K\$18	BODe	50	\$K\$18<=75	Not Binding	25.32468462
\$K\$6	L MampF	0.7	\$K\$6<=0.9	Not Binding	0.2
\$K\$6	L MampF	0.7	\$K\$6>=0.7	Binding	0
\$L\$6	OF (days)	21.06	\$L\$6<=30	Not Binding	8.936665523
\$L\$6	OF (days)	21.06	\$L\$6>=1	Not Binding	20.06
\$M\$4	N MampF	8	\$M\$4<=9	Binding	0
\$M\$4	N MampF	8	\$M\$4>=1	Not Binding	7
\$M\$4=Integer					

Şekil 19. Excel çözücü rapor ekran görüntüsü (b)

2.11.3. MATLAB Kullanarak Matematiksel Modeli Çözümünün Adımları

Hedef-3'e ulaşmak için hedef-1'de bulunduğu en birleşim için üç karar değişkenini (bekletme süresi, sayısı ve ayırmaların uzunluğu) göz önünde bulundurarak atıksu stabilizasyon havuzlarının tasarımını optimize etmek için MATLAB ve iç nokta algoritmasını (Interior Point Algorithm) kullanılmıştır (Martinez vd, 2014; Martinez vd, 2016). MATLAB kısıtlamaları .m dosyayı hazırlamak denklem 47, 48, 49 and 50 kullanılmıştır. Optimizasyonu için yöntemi aşağıda verilmiştir (Şekil 20).

$$X = 3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2 \quad (47)$$

$$d_f = \frac{3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2}{-0.2618 + 0.25392 \times (3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2) + 1.0136 \times (3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2)} \quad (48)$$

$$a = \sqrt{1 + 4 \times (K_b)_{Tort} \times B_s \times \left(\frac{3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2}{-0.2618 + 0.25392 \times (3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2) + 1.0136 \times (3 \times L_{BW} \times (AD_S + 1)^2)} \right)} \quad (49)$$

$$N_e = \left(\frac{4 \times N_g \times (Terim 1) \times e^{Terim 2}}{Terim 3} \right) \times Terim 4 \leq 200 \text{ EMS}/100\text{mL} \quad (50)$$

Terimler aşağıda verilmekte:

Terim 1 = a

$$Terim 2 = \frac{1-a}{2 \times d_f}$$

Terim 3 = $(1 + a)^2$

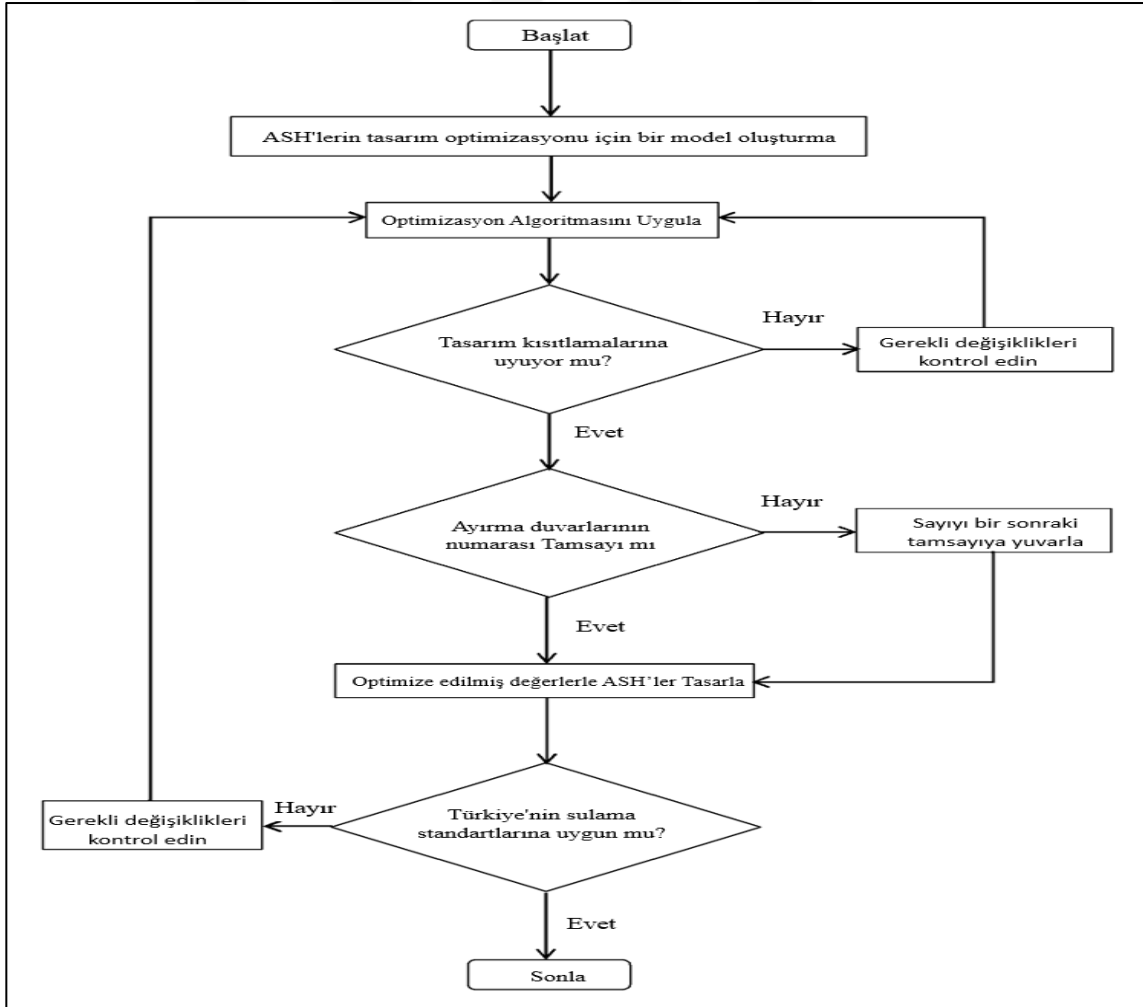
$$Terim 4 = \frac{\left(\frac{N_f}{N_g} \right) \times Q_g}{Q_c}$$

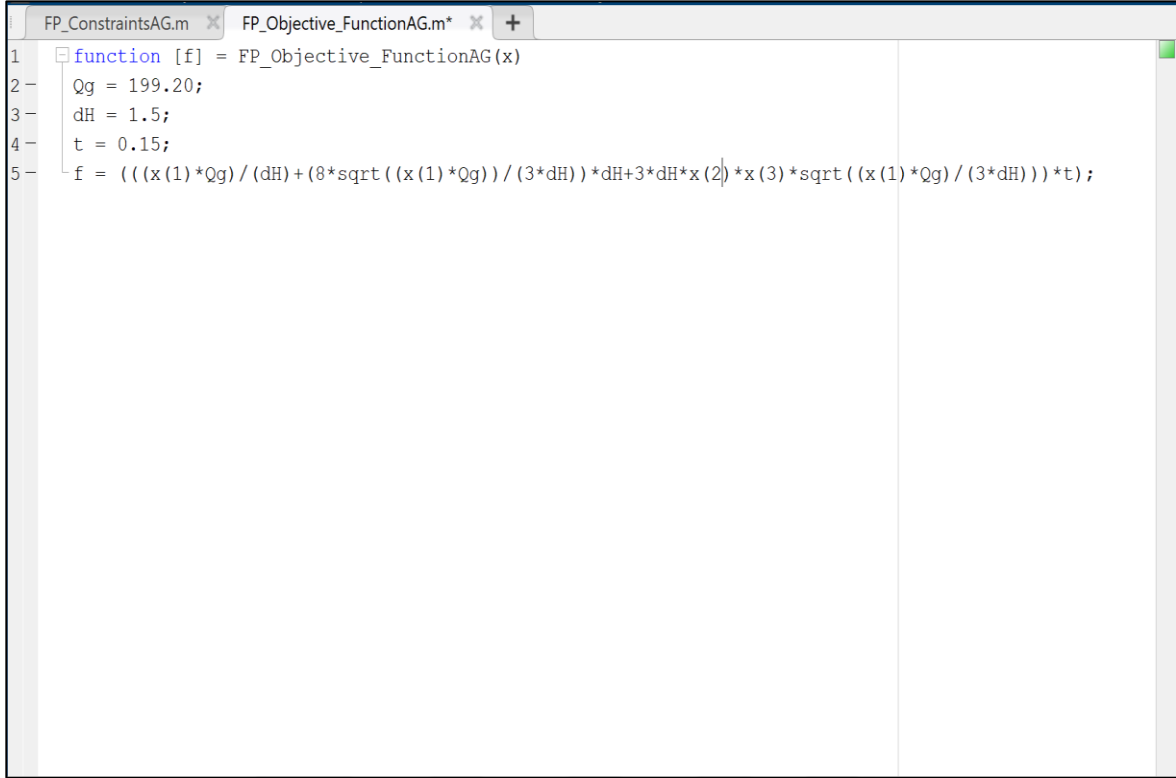
$$BOİ_{\zeta} = \left(\frac{BOİ_g}{\left(\frac{Kf_{35} B_s}{(1.085)^{35 - Tort}} \right) + 1} \right) \times \left(\frac{Q_g}{Q_g - 0.001 \left(\sqrt{\frac{B_s Q_g}{4.5}} + 3 \right) (\sqrt{B_s Q_g} + 3) \times e_p} \right) \leq 30 \text{ mg/L}$$

- i. Hem nesnel fonksiyon modeli (Şekil 21) hem de kısıtlamalar (Şekil 22) için .m (MATLAB uzantılı) dosyaları oluşturun.
- ii. Her iki fileyi de açın ve ardından MATLAB'da optimizasyon uygulamasını açın (Şekil 23).

- iii. 'fmincon constrained nonlinear optimization' ve ardından 'Interior Point' algoritmasını seçin.
- iv. Nesnel hücre yerine '@objective funtion' dosyası adı yazın.
- v. Değişkenlerin başlangıç değerlerini veriniz.
- vi. Değişkenlerin üst ve alt sınır değerlerinden bahsedin.
- vii. Kısıtlamalar hücresi yerine '@kısıtlamaları dosyası adı' yazın.
- viii. Pencerenin sağ tarafında belirtilen çizilecek grafik seçeneklerini seçin ve start'a tıklayın.
- ix. ASH'leri tasarlamak için sonuç değerini kullanın, standart gereksinimleri karşılıyorsa süreci sonlandırın, üst ve alt sınır değerlerini revize etmiyorsa optimizasyonu tekrar yapın.

Şekil 20. ASH'lerin optimum tasarımı için akış diyagramı



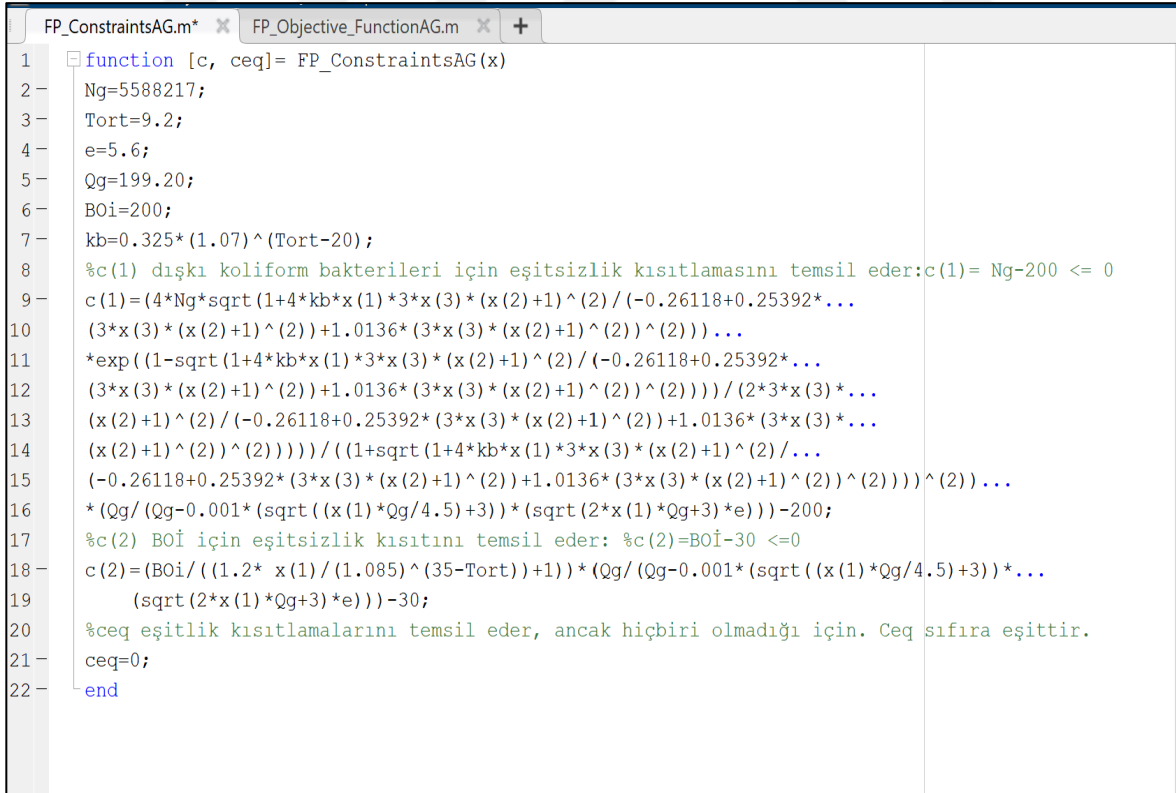


```

1 function [f] = FP_Objective_FunctionAG(x)
2     Qg = 199.20;
3     dH = 1.5;
4     t = 0.15;
5     f = ((x(1)*Qg)/(dH)+(8*sqrt((x(1)*Qg)/(3*dH))*dH+3*dH*x(2))*x(3)*sqrt((x(1)*Qg)/(3*dH)))*t);

```

Şekil 21. FH model “m.” dosya görüntüsü

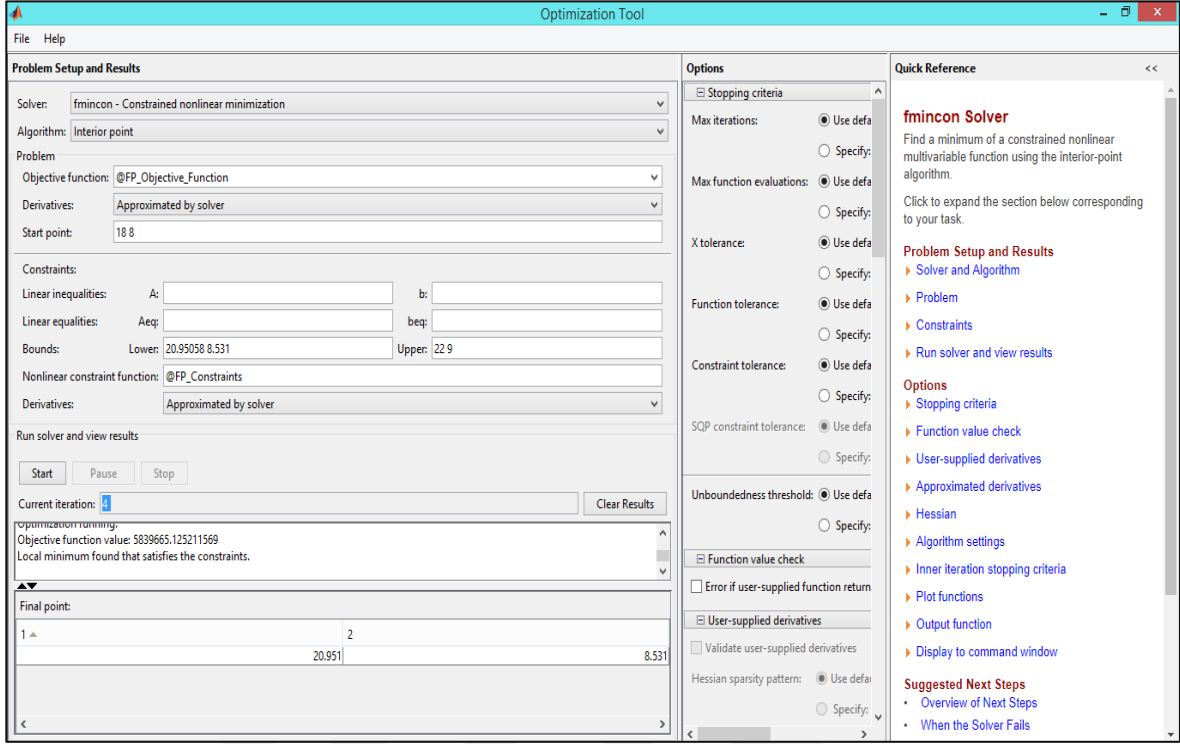


```

1 function [c, ceq] = FP_ConstraintsAG(x)
2     Ng=5588217;
3     Tort=9.2;
4     e=5.6;
5     Qg=199.20;
6     BOi=200;
7     kb=0.325*(1.07)^(Tort-20);
8     %c(1) dışkı koliform bakterileri için eşitsizlik kısıtlamasını temsil eder:c(1)= Ng-200 <= 0
9     c(1)=(4*Ng*sqrt(1+4*kb*x(1)*3*x(3)*(x(2)+1)^(2)/(-0.26118+0.25392*...
10    (3*x(3)*(x(2)+1)^(2))+1.0136*(3*x(3)*(x(2)+1)^(2))^(2)))...
11    *exp((-sqrt(1+4*kb*x(1)*3*x(3)*(x(2)+1)^(2)/(-0.26118+0.25392*...
12    (3*x(3)*(x(2)+1)^(2))+1.0136*(3*x(3)*(x(2)+1)^(2))^(2))))/(2*3*x(3)*...
13    (x(2)+1)^(2)/(-0.26118+0.25392*(3*x(3)*(x(2)+1)^(2))+1.0136*(3*x(3)*...
14    (x(2)+1)^(2))^(2)))))/(1+sqrt(1+4*kb*x(1)*3*x(3)*(x(2)+1)^(2)/...
15    (-0.26118+0.25392*(3*x(3)*(x(2)+1)^(2))+1.0136*(3*x(3)*(x(2)+1)^(2))^(2))))^(2))...
16    *(Qg/(Qg-0.001*(sqrt((x(1)*Qg/4.5)+3))*(sqrt(2*x(1)*Qg+3)*e)))-200;
17     %c(2) BOİ için eşitsizlik kısıtını temsil eder: %c(2)=BOİ-30 <=0
18     c(2)=(BOi/((1.2*x(1)/(1.085)^(35-Tort))+1))*(Qg/(Qg-0.001*(sqrt((x(1)*Qg/4.5)+3))*...
19     (sqrt(2*x(1)*Qg+3)*e)))-30;
20     %ceq eşitlik kısıtlamalarını temsil eder, ancak hiçbiri olmadığı için. Ceq sıfıra eşittir.
21     ceq=0;
22     end

```

Şekil 22. FH kısıtlamaları “m.” dosya görüntüsü



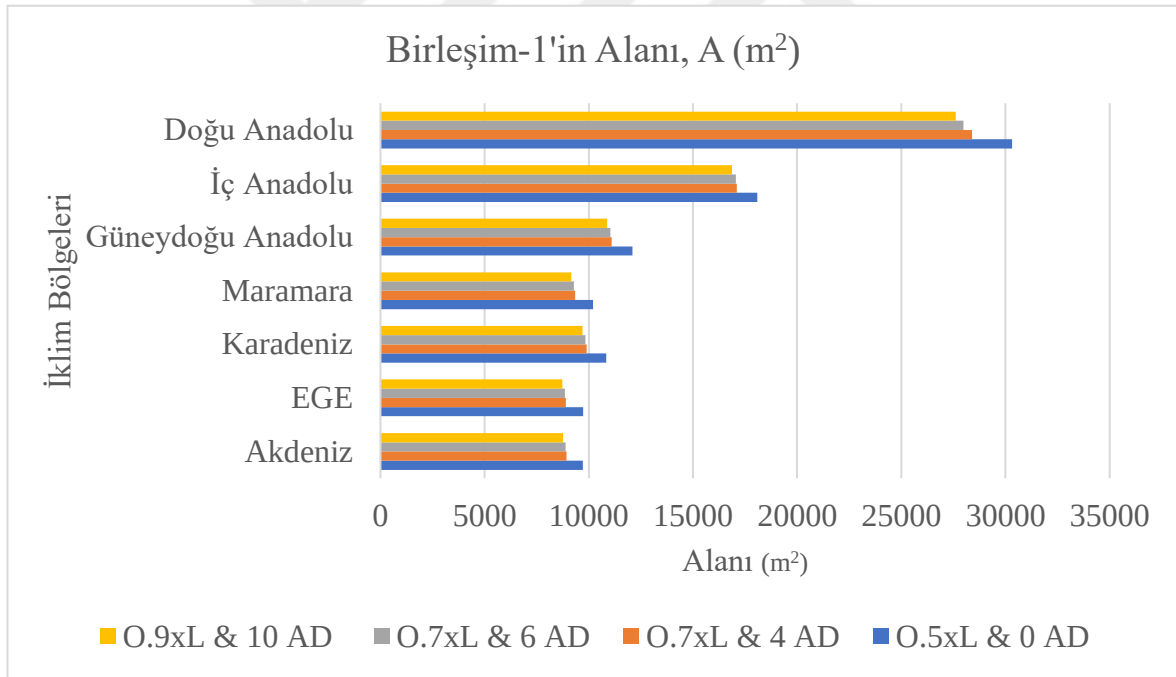
Şekil 23. FH optimize edilmesi için MATLAB görüntüsü

2.11.4. Arıtma Modellerinin Karşılaştırma

Hedef-2 ve 3'te ele aldığı sonuçlar arasındaki ilişkisi araştırılarak gösterilmiştir.

3. BULGULAR

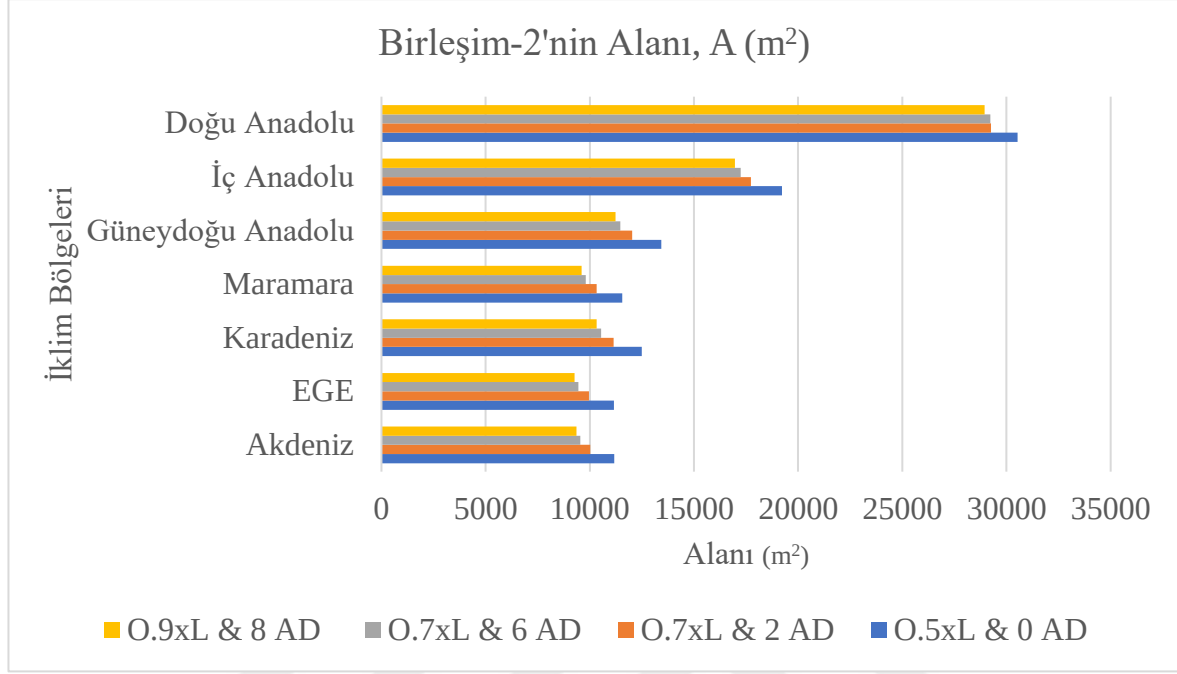
Şekil 24, Türkiye'nin yedi iklim bölgesi için kombinasyon 1 kullanılarak atıksu arıtma tesisi alanında gözlemlenen, ayırma duvarlarının sayısı (ADs) ve uzunluğundaki (L) değişikliklerle birlikte bir değişim eğilimi göstermektedir. FP'lerde ayırma duvarlarının sayısı “sıfır” ve uzunluğu minimum olduğunda alanın tüm bölgeler için maksimum olduğu görülmüştür. bu FP'lerdeki uzunluk, toplam uzunluğunun 50%'kadarıdır. Bu aşamada, FP'lerde ayırma duvarlarının sayısı “sıfırken”, ayırma duvarlarının uzunluğundaki değişimin etkisi yalnızca olgunlaştırma havuzlarındaki ayırma duvarlarına uygulanmıştır. Verilen bu grafik aynı zamanda ayırma duvarlarının uzunluğu ve sayısında bir artışla alanın bölgeler içinde azaldığını da göstermiştir. Ayrıca, AD'lerin uzunluğu 70% ve sayı 4 olduğunda, Bs'de ve gerekli alanda keskin bir düşüş sağladığı gözlemlendi. Ancak, AD'lerin sayı ve uzunluğuna daha fazla eklenmesi, alanda anlamlı bir azalma göstermedi.



Şekil 24. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-1'in alanı

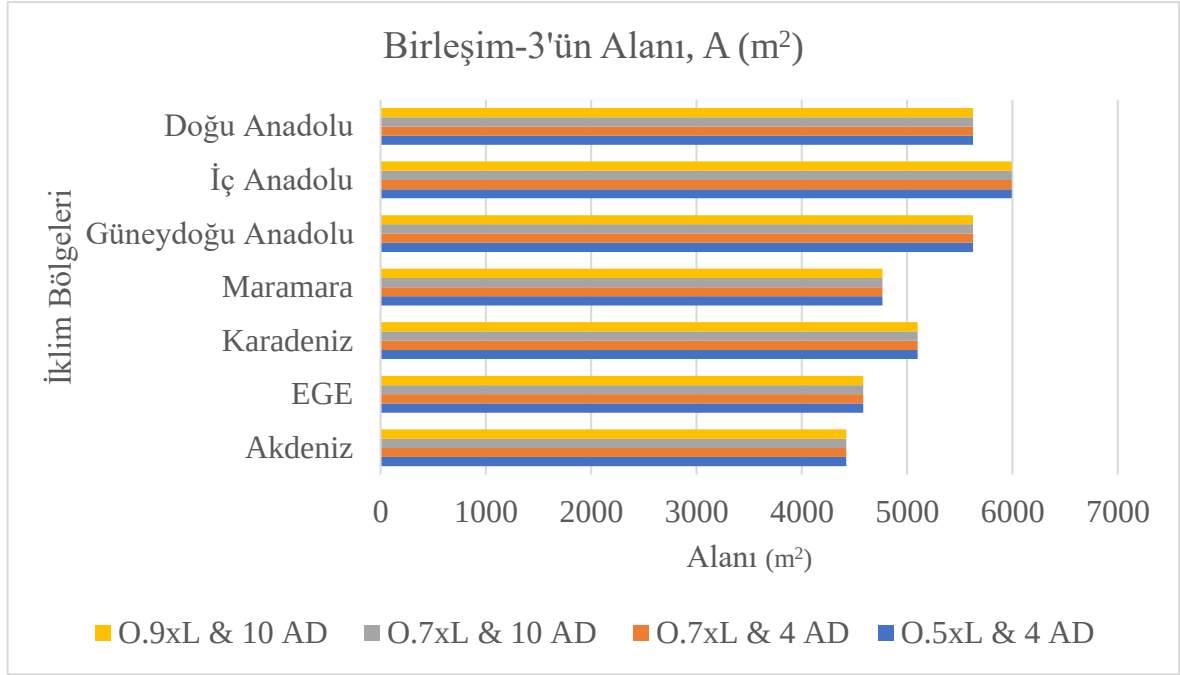
Şekil 25'te görüldüğü gibi, birleşim-2'deki alan ihtiyacının, birleşim-1'e kıyasla tüm iklim bölgeler için daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, AD'lerin uzunluğu 50% ve sayısı “sıfır” olduğunda daha fazla bir alan ortaya çıkmakta, AD'lerin artan uzunluğu ile birlikte, ayırma duvarları eklendiğinde havuz yüzey alanının azaldığı görülmüştür. AD'lerin uzunluğu 70% arttırıldığında ve sayısı 2 olduğunda havuz alanında belirgin bir azalma

meydana gelmekte ve daha sonraki eklemelerde birleşim olduğu gibi alan da önemli bir düşüş olma eğilimi görülmüştür.



Şekil 25. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-2'nin alanı

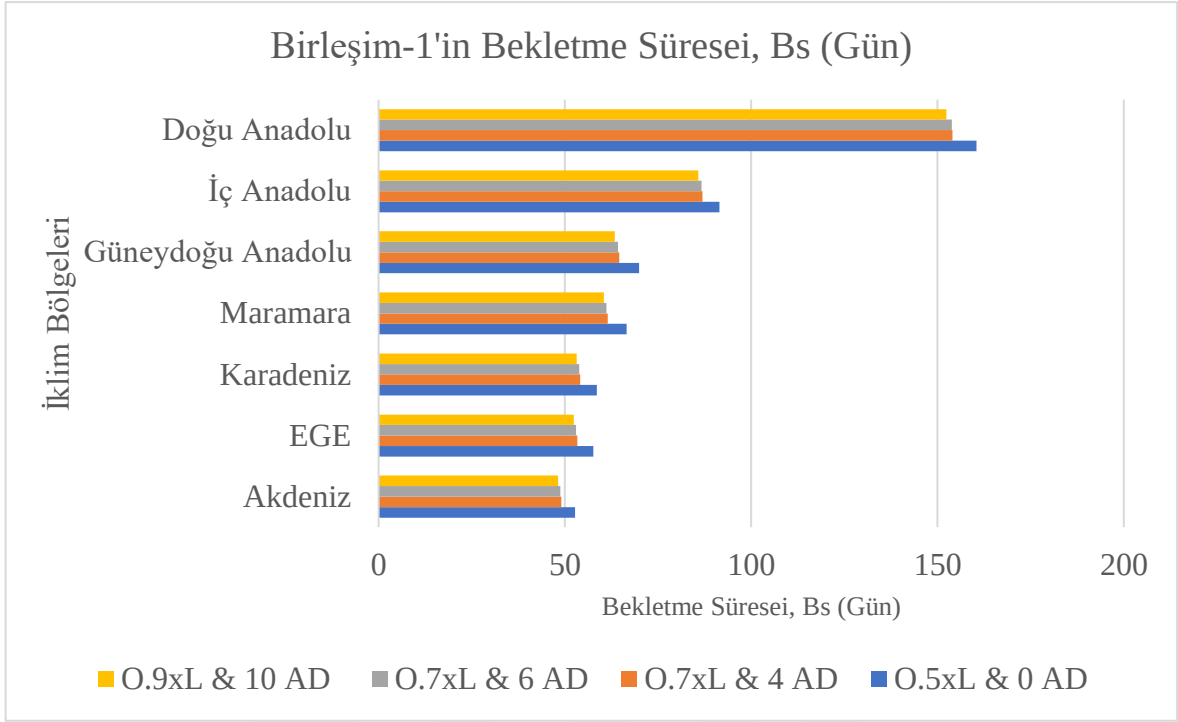
Birleşim-3, iklim bölgede hesaplanan AD'lerin sayısı ve uzunluğundaki değişimlerin etkisinin olmadığını görülmüştür (Şekil 26). Burada, varyasyonların iklim bölgeler içinde BOİ₅'in giderim verimi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını, ancak fekal koli bakteri sayısı azalması üzerinde etkili olduğunu görülmüştür (Ek Tablo 1 ila 7). İklim bölgesindeki sıcaklık düşmesi sonucunda ASH'nin alanında büyüme meydana gelir ancak Marmara ve Doğu Anadolu bölgesinde bu durum görülmemiştir. Bunun nedeni Karadeniz iklim bölgesi için günde kişi başına oluşan atıksu miktarı 179 L/(Gün.Kişi) olarak alınmıştır. Bu değer Marmara bölgesinde 151 L/(Gün.Kişi) kadardır. Bu iki değer karşılaştırıldığında, Marmara iklim bölgesinde ki ASH alanında azalma meydana gelmediği görülmüştür (Ek Tablo 3). Benzer şekilde, Doğu Anadolu iklim bölgesi için atıksu miktarı 179 L/(Gün.Kişi), Orta Anadolu iklim bölgesinde atıksu miktarı 191 L/(Gün.Kişi) ile karşılaştırıldığında, bu iki bölgeler arası ilişkili olduğu görülmüştür (TUİK, 2022). Ayrıca, Güneydoğu Anadolu iklim bölgesi ve Doğu Anadolu iklim bölgesinin bu birleşim-3'e eşit alan bulunmuştur. Bunun nedeni ise, birleşim-3 için alan hesaplanmasında yer alan BOİ₅, yüzeysel BOİ₅ yük miktarı ve atıksu debisi aynı değerlerdir.



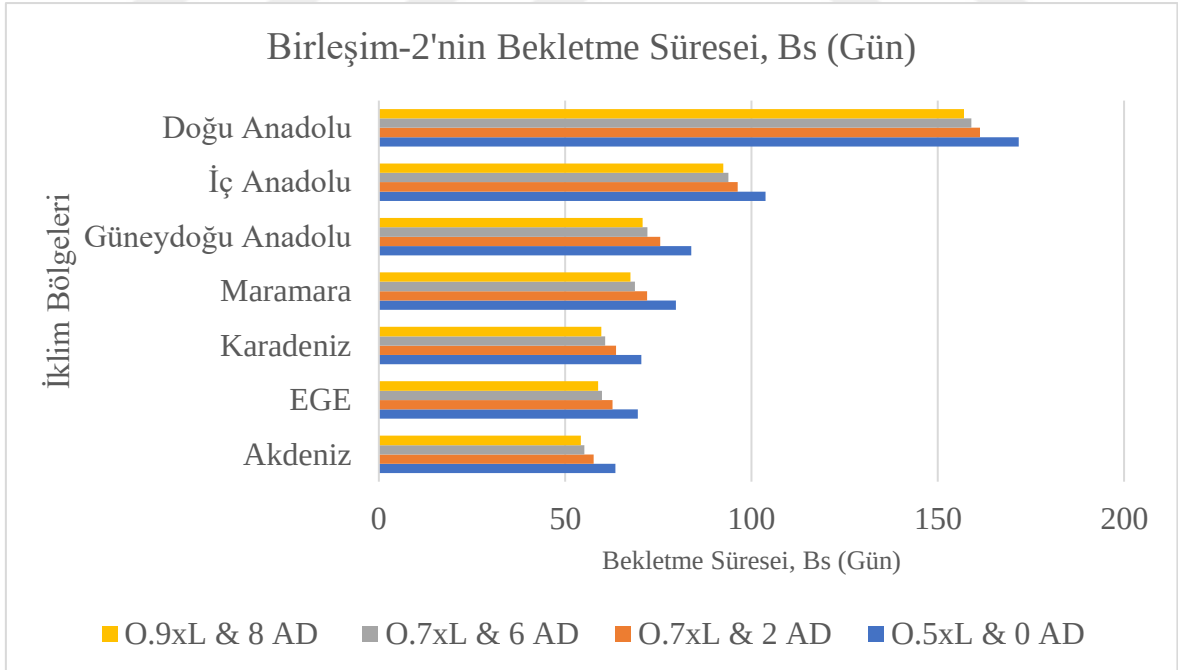
Şekil 26. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-3'ün alanı

Şekil 27, birleşim-1 için Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde ayırma duvarlarının sayı ve uzunluğu artırıldığında Bs'sinde azalma görülmüştür. FH'da AD kullanılmamaktadır. Olgunlaştırma havuzunda AD uzunluğu %50-%90 arasında değiştirilerek hesaplamalar yapılmış ve Bs maksimum olmaktadır. Tüm iklim bölgelerinde 4 adet AD ve uzunluğun %70 artışıyla Bs'de çok hızlı bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak AD'larının sayısı ve uzunluğu artırıldıktan sonra daha az Bs ve ASH alanında bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 27'de bu durum açıkça görülmektedir.

Şekil 28 tüm Türkiye iklim bölgelerinde birleşim-2'de azalan Bs eğilimini göstermektedir. Birleşim-2'de 2 adet ayırma duvarı AD kullanıldığında hesaplanan Bs ve ASH alanı azalmıştır. Birleşim-1'de Bs ve ASH alanında aynı azalma hesaplanmıştır. Ayrıca AD uzunluğu 70% artırıldığında tüm 7 iklim bölgesinde 6 adet AD'leri edilmiştir. Çünkü ayırma duvarlarının sayısındaki artış 4 olarak alınmıştır. Birleşim-1'de hesaplandığı gibi, birleşim-2'de de benzer bir eğilim oluşmuştur.

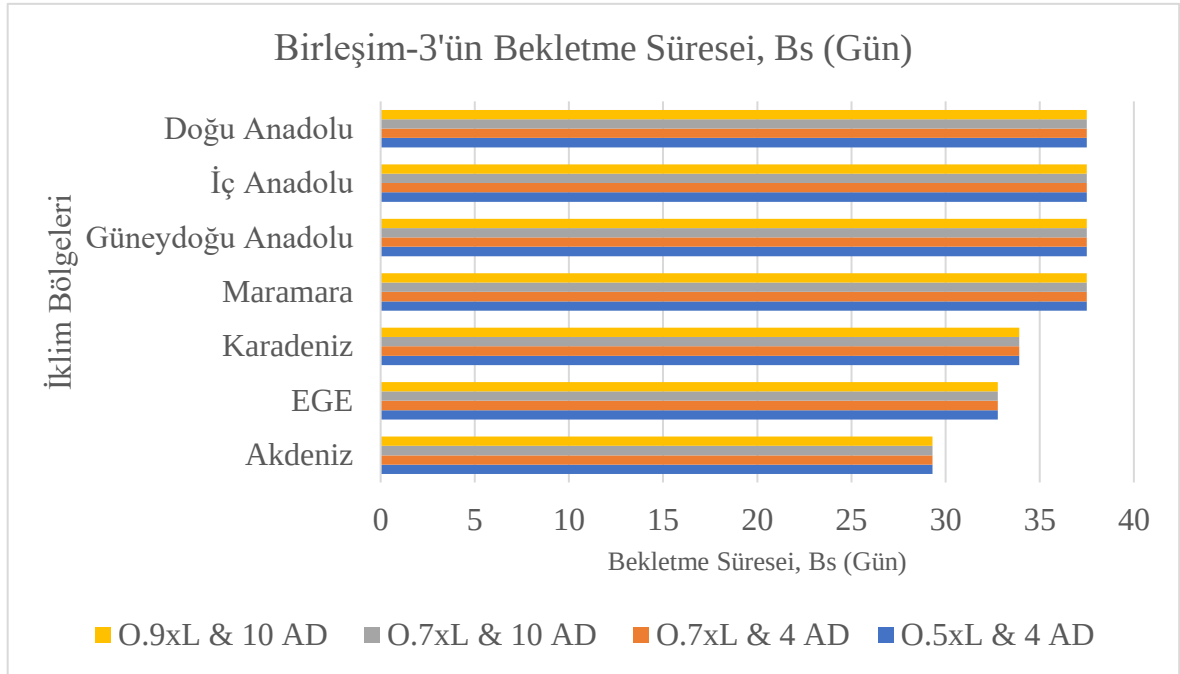


Şekil 27. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-1'in bekletme süresi



Şekil 28. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-2'nin bekletme süresi

Bireşim-3'te (Şekil 29), 7 iklim bölgesinin herhangi birinde ayırma duvarlarının sayısı ve uzunluğundaki artışla birlikte, Bs'de herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak fekal koliform bakteri gideriminin de ise bir artış gözlenmiştir. Şekil 28'de gösterildiği gibi sıcaklık ilk dört iklim bölgesi için Bs'sini etkilememektedir. Bu dört iklim bölgesi için Bs'de artış meydana gelmemektedir. Örneğin Akdeniz ve Marmara iklim bölgesinde daha uzun Bs'sine sahip ve bu iklim bölgeleri nispeten daha düşük bir ortalama sıcaklığa sahip iklim bölgeleridir. Bu bölgelerdeki ortalama sıcaklıkta meydana gelen Bs düşüşleri havuz yüzey yükleme yükünde azalma meydana gelmiştir. Daha sonra, sıcaklıktaki artışın Bs üzerinde hiçbir etkisi meydana gelmemiştir. Çünkü burada yapılan hesaplamalarda yüzeysel kirlilik yük katsayısı λ_s sabittir.



Şekil 29. Türkiye'nin yedi iklim bölgesinde birleşim-3'ün bekletme süresi

3.1. BOİ₅ ve Fekal Koliform Bakterinin ASH'da Alan Hesabına ve Bs'ni Etkisi

Genel olarak, AD'lerin sayısının artırılması ve AD'lerin uzunluğundaki artışla, havuz alanı ve bekletme süresi ihtiyacının azaldığı, ancak bu oranın uzunluklarındaki değişiminin her havuzda 4 adet AD'na kadar anlamlı olduğu görülmüştür (örneğin, % 50 ila % 60). Genel olarak, bekletme süresi ve havuz yüzey alanındaki maksimum azalma, birleşim-1 ve 2'de $22 \pm 4\%$ meydana gelmiştir. Bununla birlikte, birleşim 3'te bu azalma bekletme süresi için $45 \pm 5\%$ ve alan için $50 \pm 5\%$ olmuştur. Yukarıda belirtilen yüzdeler, birleşim-2'nin alanı

ile Bs arasında, AD olmaksızın ve diğer bileşimlerde AD'li veya AD'siz olması hallerinde hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmanın başlangıcında belirtildiği üzere, ASH'lerin en büyük dezavantajı gerekli olan havuz alanı olduğu anlaşılmıştır (Ek Tablo 8-12) .

Tablo 3’de birleşim-1 için örnek tasarım hesaplamaları verilmiştir. Bu çalışma üç havuzlu bir seriden oluşturulmuştur. Tablo 4 ve 5 birleşim-2 ve 3 için örnek tasarım hesaplamalarını göstermektedir. Birleşim-2 ve birleşim-1 ‘de olduğu gibi seri bağlı olarak iki havuzu kapsamaktadır. Birleşim-3 sadece fakültatif tek bir havuzdan oluşmaktadır. Bu araştırmanın amacı doğrultusunda, AD’lerin uzunluğunun ve sayısının değişimi, çalışma alanındaki ASH'ler için gerekli olan havuz alanı ve Bs üzerindeki etkilerini kontrol etmek için olup yalnızca FH'lerde uygulanmıştır. Genel olarak, birleşim-3, tüm bölgeler için minimum bir alan meydana gelmiştir.

Bu nedenle, bu araştırmanın temel gereksinimini yani mümkün olan en az havuz alanını seçimini karşılamamaktadır. Fekal koliform bakteride ve BOİ₅'teki azalma, söz konusu kirleticilerin çoğunda, Türkiye'deki sulama suyu için B sınıfı atıksu standartlarını karşılamamıştır. Bazı durumlarda, olgunlaşma havuzlarına olan ihtiyacı gösteren BOİ₅ standardı karşılamamıştır. Kaynaklardaki verilerde atıksuların sınırsız sulama suyu olarak kullanıldığı yerlerde sadece fakültatif havuzların arıtmayı sağlamayacağı yorumuyla uyumludur (Abagale ve Richard, 2021).

Olgunlaşma havuzları için bekletme süresi isabet ve deneme yöntemiyle seçilirken, derinlik sabit olduğu için mümkün olan en düşük hacme ve nihayetinde ASH'lerin yüzey alanına ulaşmak amaçlanmıştır. Algılama süresi faktörleri arasında çözünmüş oksijen, pH, güneş radyasyonu, fiziksel birleşim ve BOİ₅ yükleri bulunur. Nispeten daha yüksek BOİ₅ yüklerinin aynı miktarda fekal koliform için bekletme süresi azalttığını, ancak artan kirlilik yükü için hem alanın hem de Bs'nin gereksiniminin arttığını göstermektedir. Daha yüksek arıtma verimi ve daha düşük bekletme süresi için çözümlerden bazıları aşağıda verilmiş ve tartışılmıştır. ASH'lerde daha yüksek arıtma verimliliği ve daha düşük bekletme süresi elde etmek için, dağılım sayısı, 5'ten büyük bir uzunluk-genişlik oranıyla mümkün olan 0,1-0,3 aralığında elde edilmelidir; yapılan analizde ise bu değer 3 olarak bulunmuştur. Daha yüksek arıtma verimi elde etmek için bir başka olası çözüm, aynı giriş debisi için havuz yüzey alanını artıracak olan havuzun derinliğini azaltmaktır. Ayrıca, FH'lerdeki AD'ler havuzların uzunluğuna paraleldir. Daha yüksek arıtma verimi için AD'ler belirtildiği gibi havuz uzunluğa dik olarak yapılmalıdır (Olukanni ve Ducoste, 2011).

Tablo 3. Birleşim-1 için örnek tasarım hesaplaması

Havuz türü	N	KGBTM	T _{ort} °C	(BOİ ₅) _g	N _i	d _p	Q _i
Anaerobik	950	179	8.9	200	1000000	4	170.05
Fakültatif			8.9	120	571119	1.5	169.74
Olgunlaştırma			8.9	32	31214	1	160.85
O _L	% BOİ ₅ 'in Çıkarılması	λ _v	λ _s	V _p (m ³)	A _p (m ²)	B _s	(BOİ ₅) _c
34.01	40	100		340.1	85	2	120
20.37	74.39		88	3454.87	2303	20.35	31
	74.53			3543	3543	22.03	8
Toplam						44.38	
(BOİ ₅) _c buharlaşma ile düzeltilmiştir	Q _c	AD'lerin Uzunluğu (% × L)	X	d	a	K _t (d ⁻¹)	K _f
120	169.74					0.3771	
32	160.85	0.7	53	0.0187	1.11	0.1534	0.14271
9	148.09	0.7	81	0.0122	1.13	0.2558	0.14271
N _c	N _c buharlaşma ile düzeltilmiştir	AD'ler	L-W oranı	Eğim	W _{ort}	L _{ort}	W _{iç}
570091	571119		2	0	6.52	13.04	6.52
29577	31214	4	3	2	27.71	83.12	26.21
156	170	4		2	27.71	127.88	26.71
L _{iç}	W _{üst}	L _{üst}	A _{üst}				
13.04	6.52	13.04	85				
81.62	29.21	84.62	2472				
126.88	28.71	128.88	3700				
Toplam			6257				

1. ve 2. birleşimleri için izin verilen maksimum Bs sırasıyla 120 ve 70 gün olmuştur. AH'ler için Bs tasarımı, bu çalışmada ele alınan çeşitli kirletici yük konsantrasyonları için 2-4 Gün arasında olmuştur. Anaerobik havuzda AD olmadığı için, içinde değişecek hiçbir şey bulunmamaktadır. Burada, ASH'ler için Türk standartlarında farklı akış koşulları (tapa,

dağınık ve karışık akış) için B_s ile ilgili net bir standart bulunmadığını belirtmek önemlidir. Tablo 4, analize dayanarak, izin verilen maksimum BOI_5 ve fekal koliform konsantrasyonlarının Tablo 6. EMS/100 mL sırasıyla 300 mg/L ve 10^6 olduğunu göstermektedir (Ek Tablo 13-24). Bu konsantrasyonlarda, ASH'ler için tüm Türk tasarım standartları ve B sınıfı atıksu standartları, gözlemlene süresinde herhangi bir değişiklik yapılmadan karşılanmıştır.

Tablo 4. Birleşim-2 için örnek tasarım hesaplaması

Havuz türü	N	KGBTM	T_{ort} °C	$(BOI_5)_g$	N_i	d_H	Q_i
Fakültatif	950	179	8.9	200	1000000	1.5	170.05
Olgunlaştırma			8.9	37	14878	1	155.42
O_L	% BOI_5 'in Çıkarılması	λ_v	λ_s	V_p (m ³)	A_p (m ²)	B_s	$(BOI_5)_ç$
34.01	82.88		88	5768	3846	33.92	34
	71.22			3051	3051	19.63	10
Toplam						53.55	
$(BOI_5)_ç$ buharlaşma ile düzeltilmiştir	$Q_ç$	AD'lerin Uzunluğu (% $\times L$)	X	d	a	K_t (d ⁻¹)	K_f
37	155	0.7	19	0.0516	1.44	0.1534	0.14271
11	144	0.7	42	0.0235	1.21	0.2558	0.14271
$N_ç$	$N_ç$ buharlaşma ile düzeltilmiştir	AD'ler	L-W oranı	Eğim	W_{ort}	L_{ort}	$W_{iç}$
13598.3022	14878	2	3	2	35.80	107.41	34.30
158	170	4		2	35.80	85.21	34.80
$L_{iç}$	$W_{üst}$	$L_{üst}$	$A_{üst}$				
105.91	37.30	108.91	4062.7				
84.21	36.80	86.21	3173.0				
Toplam			7236				

Bazı birleşimlerde B_s , ASH'ler için Türk standartlarında verilen sınırın altında kalmıştır (RG, 27676), yukarıda belirtilenlerden daha düşük konsantrasyonlarda. Ayrıca, tasarım ve atıksu standartlarının, FP'lerin K_s 'sini manuel olarak ayarlayarak

karşılanabileceği gözlemlenmiştir. Aynı ayarlama, sırasıyla BOI_5 ve fekal koliform konsantrasyonları olan 350 mg/L ve 10^7 EMS/100 mL'ye kadar birleşim 1 ve 2'de mümkün olmuştur.

Bu sınırın ötesinde, Bs'deki değişiklik sadece birleşim-1'de mümkündü. Diğer iki birleşimde ya B sınıfı atık suların sulama standartları karşılanmamış, ya da Bs izin verilen sınırdan daha yüksekti (RG, 27676). Bu çalışmanın diğer bazı gözlemleri şunlardır: 1. Fekal koliformların istenen atıksu sonucunun elde edilmesi, BOI_5 'in artan yükü ile de mümkündü, ancak bu, alanın ve Bs 'nin ihtiyacının artmasına neden oldu. 2. Olgunlaştırma havuzlarındaki Bs 'nin sınırlar içinde olduğu bazı koşullar olmasına rağmen, FP'ler için izin verilen sınırların ötesine geçti. 3. Fakültatif havuzlar (Birleşim-3) bazı durumlarda fekal koliform giderimi sağlamış, ancak BOI_5 gereksinimlerini karşılayamamıştır.

Tablo 5. Birleşim-2 için örnek tasarım hesaplaması

Havuz türü	N	KGBTM	T_{ort} °C	$(BOI_5)_g$	N_g	d_H	Q_g
Fakültatif	950	179	8.9	200	1000000	1.5	170.05
O_L	% BOI_5 'in Çıkarılması	λ_v	λ_s	$V_H (m^3)$	$A_H (m^2)$	Bs	$(BOI_5)_c$
34.01	82.88		88.44	5768.50	3845.67	33.92	34.24
$(BOI_5)_c$ buharlaşma ile düzeltilmiştir	Q_c	AD'lerin Uzunluğu (% $\times L$)	X	d	a	$K_t (d^{-1})$	K_f
37.46	155.42	0.7	52.5	0.019	1.284	0.256	0.143
N_c	N_c buharlaşma ile düzeltilmiştir	AD'ler	L-W oranı	Eğim	W_{ort}	L_{ort}	$W_{iç}$
494.34	540.86	4	3	2	35.80	107.41	34.30
$L_{iç}$	$W_{üst}$	$L_{üst}$	$A_{üst}$				
105.91	37.30	108.91	4062.74				

BOI_5 kaldırma verimliliği, birleşim-1 ve 2'de %95'in üzerindeydi; ancak, birleşim-3 durumunda, %80 civarındaydı. Kaldırma verimliliği, araştırmalarında elde ettiklerine benziyordu (Araújo ve Lima, 2019). Primer fakültatif havuzlardaki organik maddelerin %70-90 oranında uzaklaştırılmasını sağladılar. Fekal koliform giderimi durumunda, eğilim

aynıydı, yani ilk iki birleşimde daha fazla, üçüncü birleşimde ise% 99'dan fazla bir azalma ile daha az azalma gözlemlendi (Ek Tablo 8-12).

Tablo 6. Çeşitli giriş verilerin farklı birleşimler üzerine etkisinin özeti

Birleşim	Ayrırma Duvarın Uzunluğu														
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	Fekal koliform 10 ⁶					Fekal koliform 10 ⁷					Fekal koliform 10 ⁸				
	BOİ ₅ 200 mg/L														
1	DM (6)					DM (10)					DM (10)				
2	SAH		SK (4)			DM (8)					KsY			DM (8)	
3	HSK					HSK					HSK				
	BOİ ₅ 250 mg/L														
1	KsD					DM (10)					DM (10)				
2	DM (6)	DM (8)				DM (8)					KsY				
3	BSK					HSK					HSK				
	BOİ ₅ 250 mg/L														
1	SK (2)		KsD			DM (10)					DM (10)				
2	DM (8)					DM (8)					KsY				
3	BSK					BSK					HSK				
	BODİ ₅ 250 mg/L														
1	DM (6)	DM (4)			DM (2)	DM (10)					DM (10)				
2	DM (8)					DM (8)					KsY				
3	BSK					BSK					BSK				

SK: Standartlar değiştirilmeden karşılandı (Ayrırma duvarının sayısı); **DM:** Değişiklik ile mümkün; **HSK:** Her iki standart da karşılanmadı; **BSK:** BOİ standart karşılanmadı **BsD:** Bekletme süresi standart limitten daha düşük; **KsY:** Bekletme süresi standart limitten daha yüksek. **NOT:** 0 Ayrırma duvarlı yapılandırma da bazı durumlarda gözaltı süresi kriterlerini karşılıyordu, ancak daha yüksek alan gereksinimi nedeniyle göz ardı edildi. Bu çalışmanın amacı seçenek belirlenirken akılda tutulmuştur.

Sonuçların tartışılmasına ve sıcaklık, ışık yoğunluğu, buharlaşma, yağış, rüzgar gibi yerel faktörlerin dikkate alınmasına dayanmaktadır. Önerilen birleşim, sırasıyla 10^6 (EMS/100 mL) ve 300 mg/L giriş konsantrasyonları fekal koliform ve BOI_5 olan serideki 3 havuza sahip olanıdır. Ayrıca, standartlar karşılandığında %50 uzunluğunda 2 AD olduğu belirtilmelidir. Yukarıda bahsedilen giriş konsantrasyonlarının ötesinde, ASH'lerin uygulanması yalnızca FP'lerin Bs'sindeki değişikliklerle oldu.

Aşağıdaki Tablo 7, TM ve MM metodolojilerinin sonuçlarını karşılaştırmaktadır. İkinci yöntem, Bs, ADs, Alan ve beton hacmi gibi bileşenlerin varyasyonlarını karşılaştıran iki farklı algoritma içermiştir. Azaltma ve yüzde değerleri de ADs dışındaki her bileşen için hesaplanır. GRG ve İç nokta algoritmalarını kullanan matematiksel modelleme yaklaşımı, tüm bölgelerdeki bileşenler için karşılaştırılabilir değerler vermiştir, bkz. Tablo 8. İç nokta algoritması ile yedi bölgeden beşinin fonksiyon grafiği değeri **Error! Reference source not found.**'da gösterilmektedir.

3.2. ASH'ın Matematiksel Optimizasyon

İç nokta algoritmasının yaklaşımı GRG algoritmasına göre daha güvenli sonuçlar vermiştir. Çünkü bileşenleri nispeten azalttı. ASH'lerin optimize edilmesi, arıtma verimliliğinin artmasına ve çevresel etkinin azalmasına neden oldu. Optimize edilmiş ASH'lerin uygulanması, kirleticilerin alıcı sulara deşarjında önemli bir azalmaya yol açabilir. Ege bölgesinde TM, 48 saatlik Tasarım Süresi sağlarken, İç Nokta algoritmasına sahip MM metodolojisi, Tasarım Süresinde 42,00 saat, 6,00 saat azalma veya yüzde 12,50 oranında azalma sağladı.

GRG algoritması, benimsenmesi nispeten daha az güvenli olan daha fazla azaltmayla aynı eğilimi gösterdi. ADs'nin tam sayı olması gerektiği için TM'de 4 oldu ve MM'de her iki algoritma takip edilerek yedide aynı kaldı. Alan TM için $6355,91 \text{ m}^2$ ve MM metodolojisi için $5545,55 \text{ m}^2$ idi; bu da $810,37 \text{ m}^2$ 'lik bir azalmaya veya %12,75'lik bir azalmaya yol açtı. TM'de hesaplanan Beton $1098,38 \text{ m}^3$, MM metodolojisinde ise $1010,80 \text{ m}^3$ olup, $87,58 \text{ m}^3$ 'lük bir azalmaya veya %7,97'lik bir azalma elde edildi. Karadeniz bölgesinde TM 49 saatlik bir Ks ile sonuçlanırken, MM metodolojisi 43,38 saatlik bir Ks ile sonuçlanarak 5,62 saat veya %11,47'lik bir azalma yüzdesi elde edildi.

Tablo 7. GM yaklaşımın GRG algoritması ile karşılaştırılması

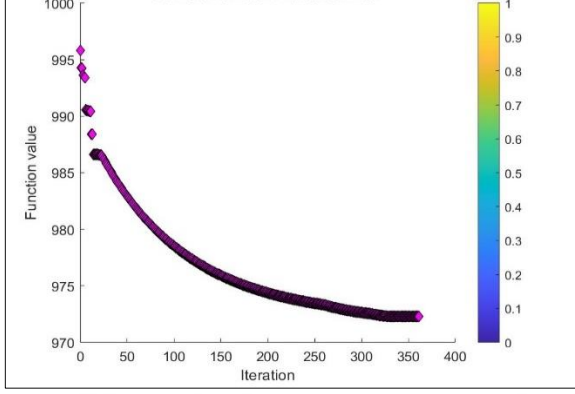
Komponent	Geleneksel Metodoloji						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	48	49	50	40	50	-	-
AD	4	4	4	4	4	-	-
Alan (m ²)	6355.91	6996.45	6022.48	5711.39	7139.24	-	-
Beton (m ³)	1098.38	1201.59	1044.51	994.15	1224.55	-	-
Komponent	Matematiksel Modelleme						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	41.88	43.38	43.87	35.59	44.94	-	-
AD	7	7	7	7	7	-	-
Alan (m ²)	5545.55	6193.94	5284.48	5081.54	6416.50	-	-
Beton (m ³)	1010.80	1118.23	967.37	933.54	1154.98	-	-
Komponent	Azaltma						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	6.12	5.62	6.13	4.41	5.06	-	-
AD	-	-	-	-	-	-	-
Alan (m ²)	810.37	802.52	738.01	629.85	722.73	-	-
Beton (m ³)	87.58	83.36	77.14	60.61	69.57	-	-
Komponent	Yüzdelik (%)						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	12.75	11.47	12.25	11.03	10.12	-	-
AD	-	-	-	-	-	-	-
Alan (m ²)	12.75	11.47	12.25	11.03	10.12	-	-
Beton (m ³)	7.97	6.94	7.38	6.10	5.68	-	-

Tablo 8. GM yaklaşımının Nokta İçi algoritma ile karşılaştırılması

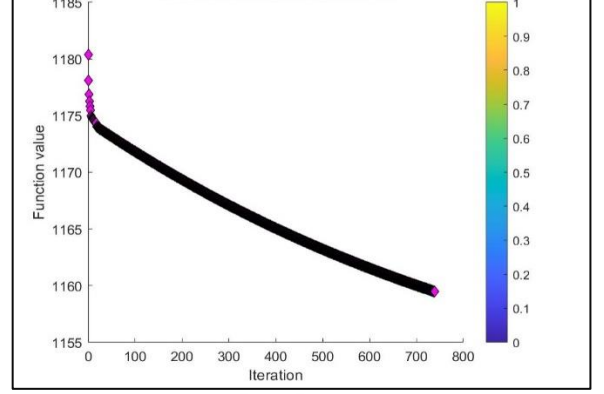
Komponent	Geleneksel Metodoloji						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	48	49	50	40	50	-	-
AD	4	4	4	4	4	-	-
Alan (m ²)	6355.91	6996.45	6022.48	5711.39	7139.24	-	-
Beton (m ³)	1098.38	1201.59	1044.51	994.15	1224.55	-	-
Komponent	Matematiksel Modelleme						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	41.88	43.38	43.87	35.59	44.94	-	-
AD	7	7	7	7	7	-	-
Alan (m ²)	5545.55	6193.94	5284.48	5081.54	6416.50	-	-
Beton (m ³)	1010.80	1118.23	967.37	933.54	1154.98	-	-
Komponent	Azaltma						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	6.12	5.62	6.13	4.41	5.06	-	-
AD	-	-	-	-	-	-	-
Alan (m ²)	810.37	802.52	738.01	629.85	722.73	-	-
Beton (m ³)	87.58	83.36	77.14	60.61	69.57	-	-
Komponent	Yüzdelik (%)						
	E:	KD:	Mar:	Ad:	GDA:	İA:	DA:
Bs	12.75	11.47	12.25	11.03	10.12	-	-
AD	-	-	-	-	-	-	-
Alan (m ²)	12.75	11.47	12.25	11.03	10.12	-	-
Beton (m ³)	7.97	6.94	7.38	6.10	5.68	-	-

ADs her iki metodoloji için de Ege bölgesi ile aynı değeri vermiştir. Alan TM için 6996,45 m² ve MM metodolojisi için 6193,94 m² olup, 802,52 m²'lik bir azalmaya veya %11,47'lik bir yüzde azalmaya yol açtı. TM için kullanılan Beton 1201,59 m³ iken, MM

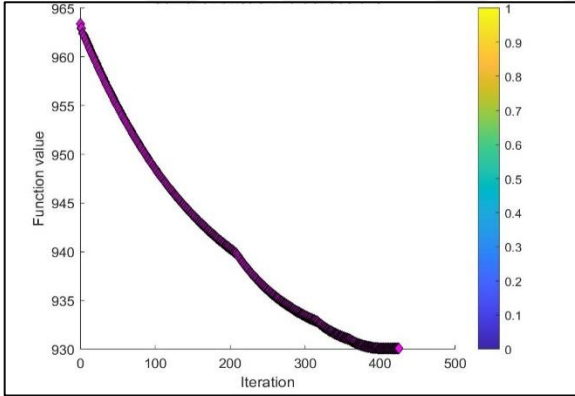
metodolojisi 1118,23 m³ kullanmıştır; bu da 83,36 m³'lük bir azalmaya veya %6,94'lük bir yüzde azalmaya yol açmıştır.



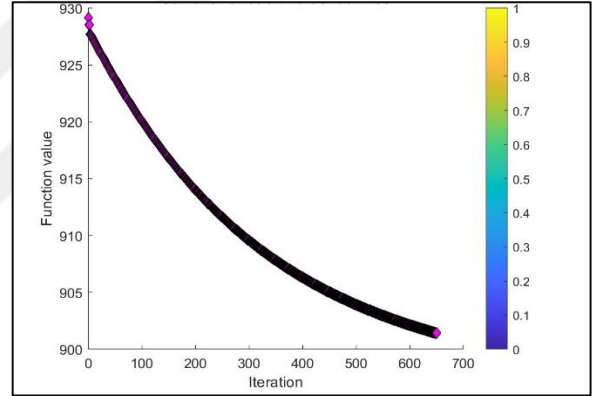
a) Ege bölgesinin fonksiyon grafiği



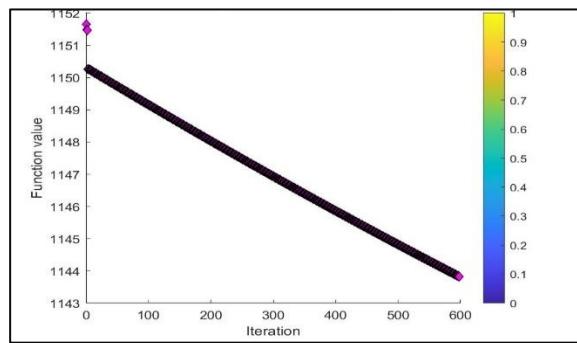
b) Karadeniz bölgesinin fonksiyon grafiği



c) Marmara bölgesinin fonksiyon grafiği



d) Akdeniz bölgesinin fonksiyon grafiği



e) Güneydoğu bölgesinin fonksiyon grafiği

Şekil 30: Yedi bölgeden beşinin MATLAB optimizasyon fonksiyonu grafiği

Diğer bölgelerde de benzer azalma eğilimleri görüldü. Ancak Doğu ve Orta Anadolu'daki ASH'lerin Türk tasarım standartlarına uygun olmaması, bu bölgelerin matematiksel modelleme kullanılarak optimize edilmesini imkansız hale getirdi. Yukarıdaki

tablodan elde edilen sonuçlar, MM metodolojisinin Bs, Alan ve Beton kullanımı açısından TM'ye göre potansiyel avantajlara sahip olduğunu göstermektedir. ASH alanı ve Bs azaltımı sırasıyla yüzde 10 ila 12,75 ve yüzde 4,40 ila 6,13 arasında değişmektedir. Beton tüketimindeki azalma %3,78 ile %7,97 arasında değişmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları MM metodolojisinin Bs, Alan ve Beton kullanımı açısından TM'ye göre önemli avantajlar sunabileceğini göstermektedir. Bu metodolojiyi inşaat projelerinde uygulamadan önce ilgili maliyetlerin dikkate alınması ve sonuçların doğrulanması çok önemlidir. Yukarıdaki tablo, TM ve MM yaklaşımları için GRG ve İç nokta algoritmaları kullanılarak elde edilen optimizasyon sonuçlarını göstermektedir.

Optimizasyon sonuçları, 4'ten 7'ye yükselen ADs bileşeni dışında, kullanılan beton miktarında ve ASH'lerin alanında azalma olduğunu göstermektedir. İki algoritma tarafından oluşturulan optimizasyon sonuçlarının karşılaştırılması, İç nokta algoritmasının beton miktarında ve ASH'lerin alanında GRG algoritmasına göre marjinal olarak daha küçük bir azalma elde ettiğini ortaya koymaktadır. İç nokta algoritması tablosunun azaltma ve yüzde azaltma sütunları, daha yüksek verimliliğe yönelik bu eğilimi yansıtmaktadır. Sıcaklık ve AD'ler ASH'lerin alanını ve Ks'sini önemli ölçüde etkiler. ASH'lerin etkinliğini sağlamak için planlarını geliştirirken tasarım standartlarına uymak çok önemlidir.

4. TARTIŞMA

Her bölgenin 60 ve toplamda 420 adet olmak üzere analizinin sonuçları Ek Tablo 1 ile 7'de sunulmuştur. Birinci ve ikinci birleşimlerin sonuçları, Türkiye Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) tarafından sulama suyu için belirlenen atıksu standartlarını karşılamaktadır (RG, 2010). İlk 2 birleşimle karşılaştırıldığında, birleşim-3, (Martinez vd, 2012) en az havuz alanını ortaya koymuştur. Ancak havuz çıkış atıksu parametreleri bu araştırmada ele alınan her iki kirletici madde için de standartlardaki değerleri karşılamamaktadır. Bu değerler BOI_5 ve fekal koliform bakteri sayılarıdır. Bu, ASH'lerden çıkış atıksu değerleri, olgunlaştırma havuzları sağlanana kadar sınırsız sulama için kullanılamamasının nedenini göstermektedir (Verbyla, 2017).

Tüm iklim bölgelerindeki ASH'lerin hesaplanması ve tasarımından sonra, en az ve en fazla alan değerlerinin sırasıyla 4423 m² ve 30539 m² olduğu hesaplanmıştır(bakınız Ek Tablo 1 ile 7). Standartları göre 4 bölgede 1. birleşiminin toplam tasarım alanı alttaydı, 2 bölgede aralığının içerisindeydi ve sadece birinde (Doğu Anadolu bölgesi) ASH'lerin tasarım alanı için Türk standartlarına göre uygulanabilir aralığın üzerindeydi, yani alan 10-15 m²/kişi, bakınız Ek Tablo 1 ile 7 (RG, 2010).

Hacimsel yükleme hızı (λ_v) sıcaklığa bağlıdır ve yalnızca birleşim-1'e dahil edilen AP'lerin alanını ve BS'sini etkiler. Yedi bölgeden altısı, en soğuk ayın ortalama sıcaklığı 10 °C'nin altında olması nedeniyle, λ_v hesaplama için Tablo 1'de belirtildiği gibi farklı hesap denklemlerine sahiptir. En soğuk ayın ortalama sıcaklığı 10 °C'nin üzerinde olan tek bir bölge Akdeniz, farklı bir hesaplama denklemine sahiptir. Bu farklı formüller λ_v için farklı değerler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, en soğuk ayın ortalama sıcaklığının yüksek olduğu bölgeler, ASH'ler için daha az havuz alanı gerektirir. Buna karşılık, düşük sıcaklıktaki bölgeler, kirleticilerin benzer konsantrasyonlarını gidermek için daha fazla havuz alanına ihtiyaç duyar. Ege iklim bölgesi için yaklaşık olarak eşit havuz alanı gereklidir. Ege iklim bölgesi için Ek Tablo 2'ye ve Akdeniz iklim bölgesi için Ek Tablo 1'e bakınız. Burada daha az atıksu arıtımı için Ege iklim bölgesindeki sıcaklık düşüşünün etkisini geçersiz kılmaktadır.

Sıcaklık ve yüzey alan yükleme hızı (λ_s), alanın azalması üzerinde etkilidir. Yedi iklim bölgesinden dördü için λ_s sabit alınmıştır, yani 80 kg/ha.d, çünkü bu bölgelerde en soğuk ay için ortalama sıcaklık 8 °C'nin altında kalmaktadır. Birleşim-2 durumunda daha fazla alan gereksiniminin nedenlerinden biri, AP'ler içermemesidir. AP'ler daha fazla derinliğe

sahiptirler ve birleşim-1'deki ilerleyen havuzlardaki BOI_5 ve fekal koliform bakteri azaltarak atıksu arıtma ihtiyacını azaltırlar.

Genel olarak tüm bölgelerde ayırma duvarlarının sayısındaki artışın, tasarım alanı gereksinimini önemli ölçüde azalttığı ve B_s 'sinin 4 ayırma duvarına kadar düştüğü gözlenmiştir. Alan ve B_s 'deki azalmanın, ayırma duvarlarının her bir uzunluğu içinde benzer bir eğilim izlediğini, ayırma duvarlarının sayısındaki artışla birlikte gözlemlendiği gibi vurgulamak önemlidir (Martinez vd, 2012). Alan, iki ayırma duvarı eklenerek yaklaşık 550 m^2 azalmış, 2'den 4'e daha fazla sayıda artışla yaklaşık 150 m^2 , 6 ayırma duvarının eklenmesiyle yaklaşık 100 m^2 azalmıştır. Ayırma duvarlarının sayısındaki daha fazla artış, tüm iklim bölgeleri için tüm ayırma duvarı uzunluklarında 100 m^2 'den daha azaltmıştır. Aynı şekilde ayırma duvarlarının uzunluğunun artmasıyla B_s ve havuz alanı azalmış, ancak bu azalma, ayırma duvarlarının sayısındaki artışı kıyasla çok önemli olmamıştır.

İklim bölgeleri içinde havuz alanı ve B_s için genel gereksinim gözlemlenirken, hem fakültatif hem de AH'ler için değil, olgunlaştırma havuzlarında azalma olduğu fark edilmiştir. FH'ler için B_s , üç birleşimden ikisinde sabit kalmıştır, çünkü B_s , 8°C 'den daha düşük sıcaklıklara sahip yedi iklim bölgesinden dördü için sabit alınan λ_s ve giriş BOI_5 değerlerine bağlıdır. Dahası, değişken tasarım akışı B_s 'yi etkilememiştir, çünkü hacim ve deşarj değerleri de buna bağlıdır. Bununla birlikte, birleşim-1'de, AP'ler etkili olduğu için B_s 'sinin değeri FH'lerde biraz daha düşük çıkmaktadır.

Türk standartlarına göre bekletme süresi B_s 18-20 gün verilmektedir(RG, 2010). Başka kaynaklarda bu B_s 0.1-114 gün arasında verilmektedir(Verbyla ve ark., 2017). Fakat yapılan bu çalışmada B_s 'leri Türk Standartlarına göre daha büyük fakat diğer kaynaklarda verilen B_s süreleri göre daha küçük çıkmıştır.

Türkiye de yedi iklim bölgesi için yapılan hesaplamalara göre toplam minimum ve maksimum B_s değerleri sırasıyla 29.30 ve 171.74 gün kadar bulunmuştur. Bu farklı sonuçların başlıca nedeni, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) yönergelerine kıyasla daha sıkı standartlar olmasındandır (RG, 2010). B_s 'yi etkileyen faktörler arasında çözünmüş oksijen (CO), pH, güneş radyasyonu, fiziksel birleşim ve BOI_5 yükleri olmuştur (Martinez vd, 2012).

Fekal koliform bakteri için atıksu standartları karşılanmış olmasına rağmen, BOI_5 , Doğu Anadolu bölgesinde kullanılan birleşimlerin ve düzenlemelerin hiçbirleriyle karşılanmamıştır, Türkiye'nin dört bölgesi Erzurum ili için FH'leri (bu çalışmada birleşim

3) analiz eden Gülşen, bu bölge için de benzer sonuçlar ortaya koymuştur (Gülşen ve ark., 2000).

Bu çalışmada hesaplamalar için alınan fekal koliform bakteri giriş değeri 10^7 iken, evsel atıksular için fekal koli bakteri aralığı 10^6 - 10^8 'dir. Dolayısıyla, eğer bu değer azaltılır ve 10^6 olarak alınırsa, tüm sonuçlar için havuz alanı ve B_s için uluslararası standartlara uygun hale gelmiş olacaktır. Biraz daha yüksek giriş BOI_5 değeri, olgunlaştırma havuzları (OH) üzerindeki fekal koliform bakteri yükünü de azaltabilir, hem alanın hem de B_s 'sinin gereksinimini azaltabilir ve atıksu standartlarını karşılayabilir olabilecektir.

ASH'ın tasarımıındaki alan ihtiyacı ve B_s 'nin uygun süresi için yapılması gerekenler aşağıdaki gibidir. Bunlar;

1. İlk iki ASH birleşimdeki ayırma duvarlarının uzunluğunu ve sayısını artırarak.
2. AH'lerin sisteme eklenmesiyle.
3. FH'lerdeki ayırma duvarları uzunluğu ve sayısındaki artma, ilk iki ASH birleşiminde havuzların alanını hiç etkilenmemekte, ancak olgunlaştırma havuz (OH) girişi atıksuyunda daha düşük fekal koliform bakteri yükü nedeniyle olgunlaştırma havuzunun (OH) yüzey alanının azalmasını olumlu etkiler.
4. Yüksek sıcaklıklarda havuz tasarım alanı ve havuzda atıksuyun B_s 'si azalacaktır. Ek Tablo -1 ile Ek Tablo 7'de maksimum sıcaklığa sahip Akdeniz iklim bölgesinde ASH tasarım alanı ve B_s 'sinin minimum olduğu hesaplanmıştır. Benzer şekilde, en düşük sıcaklıktaki iklim bölgesinde hem havuz alanı hem de B_s daha büyük olduğu hesaplanmıştır.

BOI_5 giderim verimi birleşim-1 ve 2'de %95'in üzerinde olmuştur. Birleşim-3'te ise iki iklim bölgesi hariç %80 giderim verimi civarında olmuştur. İç Anadolu iklim bölgesinde %70 olmuş, Doğu Anadolu iklim bölgesinde yaklaşık %50 giderim meydana gelmiştir. BOI_5 giderim etkinliği için yedi iklim bölgesinin beşinde yapılan hesaplamalarda % 70 ila % 80 kadar olmuştur (Martinez vd, 2012).

Fekal koliform bakteri gideriminde de aynı eğilim meydana gelmiştir. İlk iki birleşimde 3. bileşime göre daha fazla azalma hesaplanmış fakat tüm bileşimlerde %99'dan fazla giderim hesaplanmıştır (Martinez vd, 2012). ASH'lerde daha yüksek giderme verimini daha düşük B_s 'de elde etmek için dağılım faktörü (d_f) 0,1 ila 0,3 aralığına getirilmelidir. Duvarların 5> büyük olması halinde mümkün olmaktadır. Ancak yapılan hesaplama analizinde bu uzunluk/genişlik-oranı 3 olarak hesaplamalara katılmıştır (Verbyla ve ark., 2017).

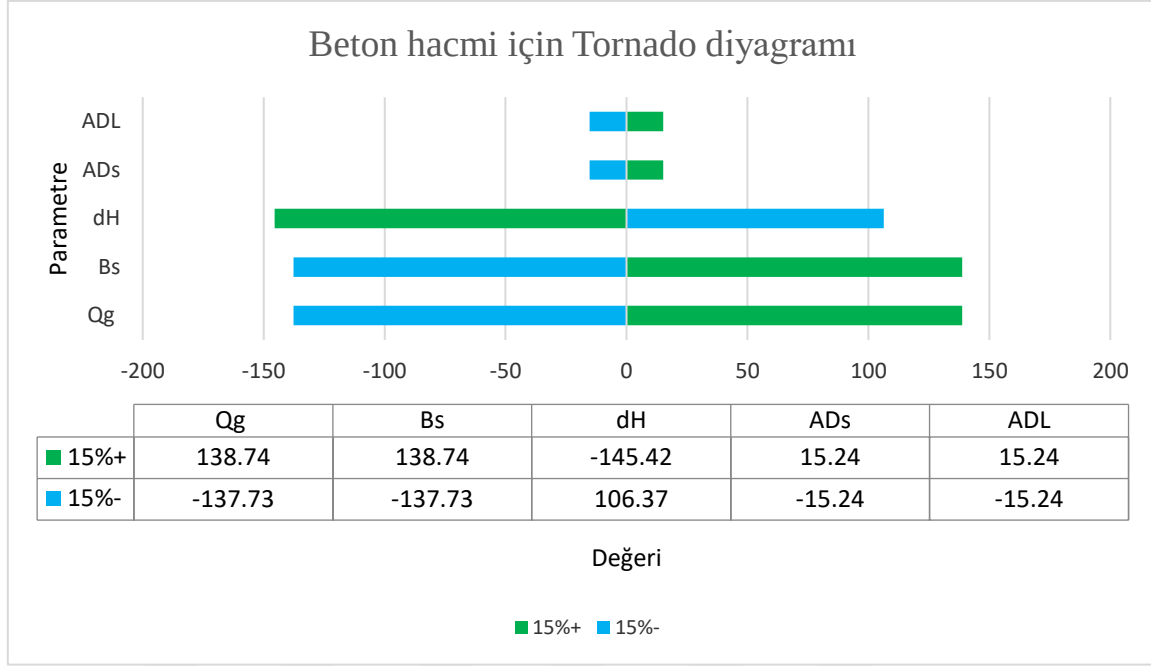
Genel olarak, B_s ve ASH kullanım alanında ki maksimum azalma birleşim-1 ve 2'de yaklaşık olarak %20'ye kadar olmuş, ancak birleşim-3'te bu azalma B_s 'de yaklaşık %50 ve kullanım alanında ise %60'a kadar meydana gelmiştir. Bu hesaplama yüzdeleri FH'lerde hiç ayırma duvarı kullanılmadan yapılmıştır. İki ve daha fazla AD kullanıldığında ASH alanı azalmakta ve kullanılan beton hacmi azalması hesaplanmıştır. Kaynaklara göre; ASH'lerin dezavantajı en büyük alan gerektirmesidir.

Bu çalışma geleneksel yöntem kullanılarak, sıcaklık, buharlaşma gibi faktörler tüm iklim bölgeleri için önerilen üç havuz birleşimi için ve AD uzunluğu da ($0.7 \times L$) alınmıştır. Çalışmada 6 adet ayırma duvarı ile hesaplama yapılmıştır.

4.1. Hassaslık Analizi

Bu çalışmada kullanılan hassaslık analizinin önemi, çeşitli atıksu arıtmada ki kirlilik parametrelerin ve havuz yapısal parametrelerin ASH'lerin performansı ve verimliliği üzerindeki etkisini belirlemesi üzerinde etkili olmaktadır. Hassaslık analizi değerlendirilmesinde tüm temel parametrelerin %15'i değiştirilmiş ve Tornado diyagramı oluşturulmuştur (Oakley, 2005). Ayrıca atıksu arıtmasında kullanılan matematiksel denklem doğrusal olmadığı için, ana değişkenlerdeki değişimlerin tüm sistem üzerindeki etkisini analiz etmek gerekmiştir. Hassaslık analizinin önemli sonuçlarından birisi de B_s 'sinin ASH'lerin arıtma performansı üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. B_s değeri arttıkça modelde hesaplanan beton hacmi de artmaktadır. AD'ların uzunluğunda ki bir artışın hem havuz alanında hem de beton hacminde bir azalma meydana gelmektedir (Mendonca, 2000). FH'lerde ise B_s 'si arttıkça yapılan modelde beton hacminde artış meydana gelmiştir.

Şekil 31 beton hacminin hassasiyetine ilişkin bir analizi göstermektedir. En büyük çubuk ASH'lerin girişi (Q_g)'dir. Q_g , ASH'lerin tasarım alanını ve gereken beton hacmini etkiler. ASH sisteminin boyutu B_s tarafından belirlenir. Araştırma, önemli değişkenler olarak AD ve bunların ilgili uzunluklarını (L_{AD}) da inceledi. Çalışmanın bulguları, bu parametrelerin gerekli beton miktarı üzerinde nispeten az etkisi olduğunu göstermektedir. Bu, ASH inşası için gereken beton hacminin, AD'lerde ve L_{AD} meydana gelen değişikliklerden önemli ölçüde etkilenmeyeceği anlamına gelir. Bununla birlikte, hidrolik verimlilik ve kirleticilerin dağılımı da dahil olmak üzere, bu özelliklerin ASH'lerin performansını etkilediğini anlamak çok önemlidir.

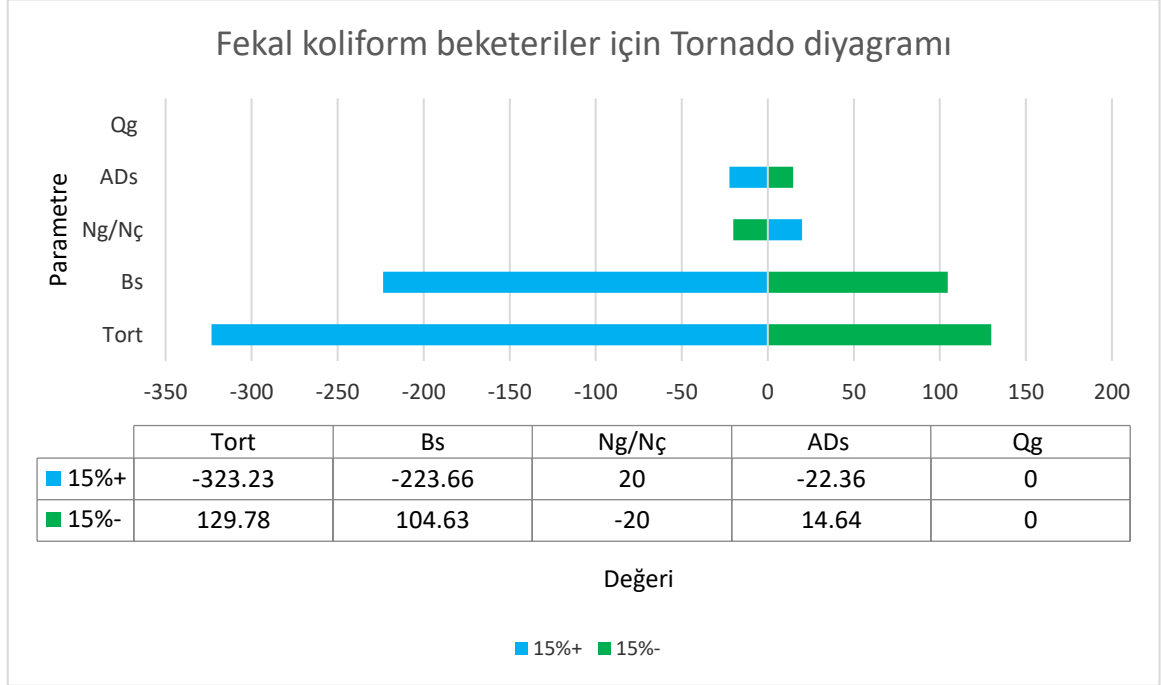


Şekil 31. Beton hacmi için Tornado-Diyagramı

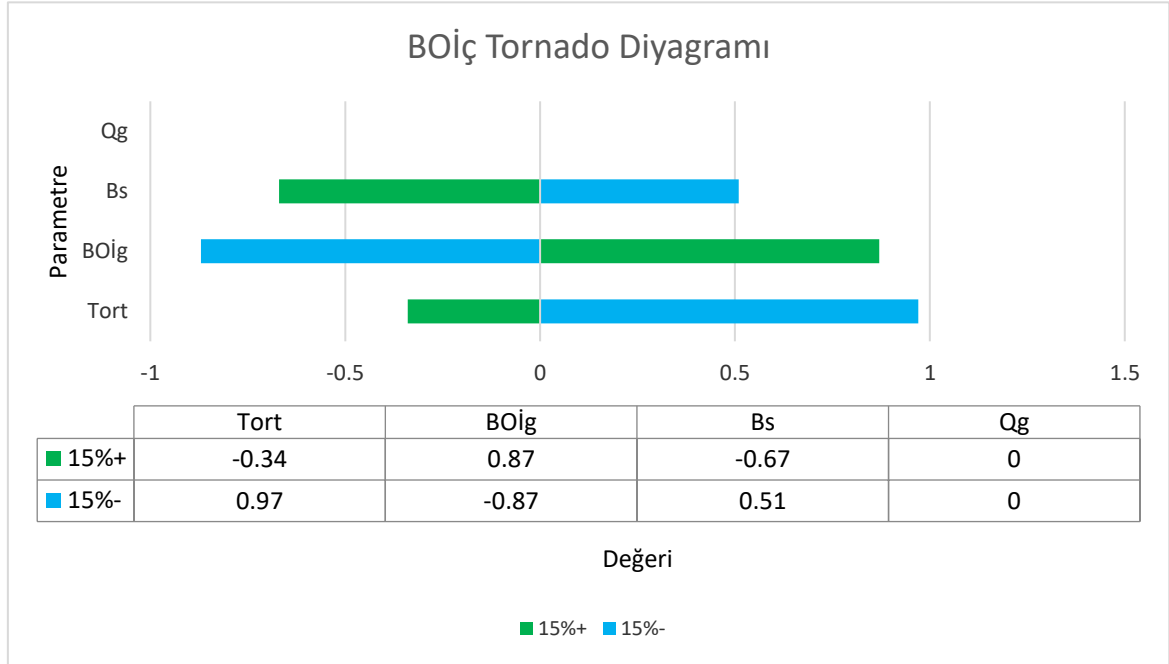
Hassaslık analizinde çıkış fekal koliform bakterileri konsantrasyonundaki artış ile giderme etkinliğindeki azalma arasında doğrudan bir ilişki görülmüştür. Bu hesaplamalarla optimum arıtma verimine ulaşmak için, çıkış atıksu kalite parametrelerinin kontrol edilmesinde ki önemini vurgulanmıştır. Ayrıca bu çalışmada giriş debisinin Q_g değiştirilmesi ile çıkış koliform bakterilerinin giderilmesi arasında hiçbir ilişki bulunmamıştır. Fakat giriş debisi Q_g değiştirilmesi havuzdaki hidrolik parametrelere etki etmektedir. Şekil 32'de T_{ort} değerleri azaldığında çıkış koliform bakteri giderimi en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Bekletme süresi (Bs) ikinci en önemli parametre olup Bs'sinin azalan değeriyle orantılı olarak azalmıştır. Çıkış koliform bakterileri konsantrasyonu artışı ile koliform bakteri gideriminde azalma sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmada AD'ları BOİ ve fekal koliform gideriminde etkili olduğu görülmüş ve ayırma duvar sayısı da 7 adet olarak bulunmuştur. Ayırma duvar sayısının daha fazla olması halinde atıksu arıtma verimi çok fazla değişmemektedir. Hassaslık analizinde ASH çıkış atıksuyunda koliform bakterilerinin giderilmesinde sıcaklığın (T_{ort}) önemini görülmüştür.

Şekil 33'te BOİg ve T_{ort} 'nin ASH atıksuyunda BOİ giderimi için en hassas parametreler olduğunu göstermektedir. Düşük sıcaklıklar atıksudaki organik madde konsantrasyonunu çıkış atıksuyunda artırmaktadır. Alglerin oksijen üretme aktivitesi 4-37 °C arasında verimli olmakta ve BOİ giderme verimliliğini sınırlamaktadır. Şekil 33 Bs'nin artırılması halinde BOİ giderme verimliliğinin arttığı görülmüştür. Yapılmış olan hassaslık

analizi ASH'lerin performansını etkileyen değişkenlerin tam olarak anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu hassaslık analizine göre ASH kurumlarına karar verilir.



Şekil 32. Fekal koliform bakteri için Tornado-Diyagramı



Şekil 33. BOİç için Tornado-Diyagramı

5. SONUÇLAR

- i. Fekal koliform bakteri miktarı giderme verimliliği, ayırma duvarlarının sayısının ve uzunluğunun artmasıyla olumlu bir şekilde arttığı görülmüştür. Öte yandan, ASH tasarım alanı ve B_s , 1 ve 2 birleşimde azalma meydana gelmiş ve bu azalma ile Türk Atıksu Standartlarına 5 iklim bölgesinde ulaşılmıştır. 3. birleşim ile Türk Atıksu Standartlarına uygun değerler görülmemiştir.
- ii. ASH'ların 3. birleşiminde hesaplama da minimum bir alan ortaya çıkmasına rağmen, 3. birleşim yalnızca tarımsal sulama standartlarını karşılamak için olgunlaştırma havuzların eklenmesiyle seçilmeli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, GM yöntemiyle, $(70\% \times L)$ ayırma duvarı uzunluğu ve 6 ayırma duvarı ile 1. birleşimin en uygun seçenek olabileceğini göstermiştir. Bundan başka, B_s hesaplanmasında ve alanda yetersiz bir küçülme meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Daha sonra, iki farklı bilgisayar programı ile algoritmalar, MS Excel Çözücü ve MATLAB kullanılarak elde edilmiş sonuçlar GM ile tahmin edilen değerlere çok yakın çıkmıştır.
- iii. ASH'lerde atıksuyun bekletme süresi Türk Standartlarında belirtilen bekletme süresi yedi iklimsel bölgenin yalnızca Doğu ve Orta Anadolu'da bölgesinde elde edilememiştir.
- iv. ASH'lerin boyutlandırması ve uygulanabilirliği için çok sayıda Türk Standardı bulunmakta ve bunların da uluslararası standartlara uygun olmadığı görülmüştür. Atıksu arıtma standartları bazı noktalarda çok zayıf ve bazı noktalarda ise çok katıdırlar.
- v. ASH'larındaki AD'lerin sayısının artışı, alanını, kalma/bekletme süresini ve kullanılacak olan beton hacmini azaltır. Yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde ASH'lerin alanı ve kullanılan beton hacmi de daha azalmaktadır.
- vi. Doğu ve Orta Anadolu'da Türk tarımsal sulama suyu sınıfı B standartlarına uyulmaması, ASH'lerin optimizasyonunda matematiksel modelleme kullanılmayacağı görülmüştür. ASH için uygulanan bileşimlerin hiç birinin çıkış suyu tarımsal faaliyette kullanılamayacağı görülmüştür.

6. ÖNERİLER

- i. GM'de ASH'lardaki ayırma duvarlarının sayısındaki artma çift sayılarla yapıldığından, çalışmanın tek sayılarda ayırma duvarları kullanılarak yapılması gerektiği önerilmektedir. Ayrıca, bu araştırmada ele alınan ayırma duvarı uzunluğu %10 artırılmıştır. ASH'larda daha iyi optimize sonuçlar elde etmek için hesaplama uzunluklarında %5 varyasyonla yapılması önerilmektedir.
- ii. Ankara ve Erzurum şehri için Bs'sinin Türk standartta aralıktan çok daha yüksek olduğu için, bu iki bölgede ASH'lere yalnızca AH'lere dayanarak arıtma yapılması önerilmektedir.
- iii. Çalışmada elde edilen sonuçları karşılaştırmak için çalışmanın mevcut bir başka ASH'dan çıkan sonuçlarla karşılaştırılarak, teorik bulunan sonuçlar test edilebilir.
- iv. Tasarımın optimizasyon çalışmalarının, arazi maliyeti ve ASH ayırma duvarlarının yapımına yer verilerek literatürde bulunan çeşitli yöntemler kullanılarak yapılması önerilmektedir.
- v. Türk standartlarındaki ASH'ler ve atıksu arıtma standartları uluslararası standartlardan bazı noktalarda farklılık göstermektedir. Bazı atıksu kirlilik ve arıtma proseslerindeki arıtma parametrelerinde nispeten zayıftır. Fakat bazı değerlerde ise çok sıkidır. Bu nedenle ASH'lerin boyutlandırması için Türk standartları revize edilmelidir.
- vi. Bu çalışmada ASH'ların boyutlandırılmasında kullanılan MATLAB bilgisayar programının çok sayıda üstünlükleri bulunmaktadır. Bunun aksine, Excel Programı basit optimizasyon problemlerini çözmede daha hızlıdır. Optimizasyon problemlerine yönelik bilgisayar yazılımları seçilirken yukarıda belirtilen faktörlerin dikkate alınmalıdır.
- vii. Bu çalışmada elde edilen bulgulara dayanarak, Türkiye'deki iklim koşullarına sahip başka ülkelerdeki araştırmacılara da katkı sağlayacaktır. Gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalar da GM ve MM yaklaşımını kullanılmalıdır. Bu konuda 3D modelleme ve bilgisayar destekli sayısal akışkanlar mekaniği modellemesi ile de çalışmalar yapılabilir.

7. KAYNAKLAR

- Abagale, F. K., & Richard, A. O., (2021). Diversity Profiling of Helminth Eggs in Waste Stabilisation Ponds in the Tamale Metropolis, Ghana, *Ghana J. Tech.*, 7(2), s.1-11.
- Abbas, H., Nasr, R., & Seif, H. (2006). Study of waste stabilization pond geometry for the wastewater treatment efficiency. *Ecological Engineering*, 28, s. 25–34.
- Araújo, G. M., & Lima Neto, I. E., (2018). Removal of organic matter in stormwater ponds: a plug-flow model generalisation from waste stabilisation ponds to shallow rivers, *Urban Water J.*, Vol. 15(9), 918-924.
- Ali, H. Q., Farooq, A., & Ahmed, M. (2017). Monitoring the wastewater treatment efficiency of oxidation ponds at Chokera, Faisalabad. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. 36(4), s. 987-994.
- Ali, H. Q., (2017). Monitoring The Wastewater Treatment Efficiency Of Waste Stabilization Ponds At Pharang Drain, Faisalabad. The University of Lahore, Civil Engineering Department, MS thesis, Lahore.
- Ali, H. Q., & Farooq, A. (2020). Characterization of Heavy Metals in Waste Stabilization Ponds: A Case study of Waste Stabilization Ponds at Chokera, Faisalabad. 6th International Student Symposium Proceedings. Engineering Sciences. December 05-06, UDEF, Sakarya University. Turkey. 110-117.
- Ali, H. Q., Farooq, A., Ahmad, M., Ahmed, M. L., & Akhtar, M. (2021). Effect of climatic conditions on treatment efficiency of wastewater stabilization ponds at Chokera, Faisalabad. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. 40(1), s. 75-81.
- Ali, H. Q., Farooq, A., Ahmad, M., Ahmed, M. L., & Akhtar, M. (2021). Effect of climatic conditions on treatment efficiency of wastewater stabilization ponds at Chokera, Faisalabad. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. 40(1), s. 75-81.
- Ali, H. Q., & Üçüncü, O. (2022). Impact of Baffle Walls on Area and Hydraulic Detention Time Needed for Wastewater Stabilization Ponds at Different Pollutant Loads. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*, 5(2), s. 99-108.
- Ali, H. Q., & Üçüncü, O. (2022). Optimizing the amount of concrete for the construction of wastewater stabilization ponds: A case study of Ayvadere, Trabzon, Türkiye. *Environmental Research and Technology*, 5(3), s. 278-288.
- Ali, H. Q., & Üçüncü, O. (2023). Mathematical modeling and optimization of wastewater stabilization ponds using nonlinear programming. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 42(1), s. 198-206.

- Ali, H. Q., & Üçüncü, O. (2023). Mathematical Assessment of the Wastewater Stabilization Ponds for the Geographical Regions of Turkey. *MATEMATIKA: Malaysian Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 39 (2), s. 191-212.
- Ali, H. Q., & Üçüncü, O. (2023). Optimizing Wastewater Stabilization Ponds For Domestic Wastewater Treatment In Turkey. *Civil Engineering Journal (C.E.J)*, 9 (11), s. 1-13.
- Alisawi, H. A. O. (2020). Performance of wastewater treatment during variable temperature. *Applied Water Science*, 10, s. 1-6. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1171-x>
- Atay, A., (1986). Fakültatif Stabilizasyon Havuzlarında Biyolojik Verime Etkiyen Faktörlerin Araştırılması, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Balch, G., Hayward, J., Jamieson, R., Wootton, B., & Yates, C.N., (2018). Recommendations for the Use of Tundra Wetlands for Treatment of Municipal Wastewater in Canada's Far North. *Multifunctional Wetlands*, 1, 83-120.
- Babu, M., Hes, E.M.A., Vander Steen, N. P., Hooijmans, C.M. & Gijzen, H.J., (2011). Nitrogen mass balances for pilot-scale biofilm stabilization ponds under tropical conditions. *Bioresource Technology*, 102(4), s. 3754–3760.
- Bassuney, D. & Tawfik, A., (2017). Baffled duckweed pond system for treatment of agricultural drainage water containing pharmaceuticals. *International Journal of Phytoremediation*, 19, 8, 774–780.
- Dias, D. F. C., Passos, R. G. & Sperling, M. V. (2017). A review of bacterial indicator disinfection mechanisms in waste stabilisation ponds. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 16, s. 517–539. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9433-2>
- Dias, D. F. C., de Matos, M. P., Passos, R. G., Rodrigues, V. A. J. & Von Sperling, M. (2017). Upgrading and evaluation of a simple pond system for small communities with simple interventions to reduce land requirements and increase performance. *Water Science and Technology*, 12(1), s. 1-11.
- Faleschini, M., Esteves, J. L. & Valero, M. A. (2012). The Effects of Hydraulic and Organic Loadings on the Performance of a Full-Scale Facultative Pond in a Temperate Climate Region (Argentine Patagonia). *Water, Air, & Soil Pollution*. 223(5), s. 2483-2493.
- Fesliyen, k. (2017). Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması. Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- George, I., Crop, P., & Servais, P. (2000). Fecal coliform removal in wastewater treatment plants studied by plate counts and enzymatic methods. *Water Research*. 36: 2607–2617.

- Gulsen, H., Turan, M., & Altay, A. (2000). The application of an empirical design model in the development of facultative pond design criteria for Turkey. *Environmental Technology*, 21: 1363–1369. <https://doi.org/10.1080/09593332208618174>
- Ho, L. T., Echelpoel, W. V., & Goethals, P. L. M. (2017). Design of waste stabilization pond systems: A review. *Water research*, 123, s. 236-248.
- Huang, Y, Colin, M. R., Lindsay, H. J., Michael, W. H., Robert, G. B., Rob, C. J., Lisbeth, T.H. (2021). Changes in Bacterial Communities During Treatment of Municipal Wastewater in Arctic Wastewater Stabilization Ponds. *Frontiers in Water*, 3, s. 1-16.
- Khan, S., Melville, B. W., Muneer, K. M., Shoaib, M. & Shamseldin, A. (2017). Effect of baffles on the hydraulic performance of sediment retention ponds, *Water Sci Techno.* 75(9), s. 3725-3735. DOI: 10.2166/wst.2016.475
- Martinez, F. M., Salazar, A. D., Rojas, A. L., Rojas, R. L., & Sifuentes, A. C. U., (2012). Removal of Fecal Coliforms in Pond Systems with Different Configurations and Screens. *International Review of Civil Engineering (I.RE.C.E.)*, 3(3), s. 240-250.
- Martinez, F. M., Cansino, A. T., Rojas, A. L., & Rojas, R. L. (2013). Mathematical model for the optimization of the design of a facultative pond (case study). *Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS)*, 81, s. 127-145.
- Martinez, F. M., Cansino, A. T., García, M. A. A., Kalashnikov, V., & Rojas, R. L. (2014). Mathematical Analysis for the Optimization of a Design in a Facultative Pond: Indicator Organism and Organic Matter. *Mathematical Problems in Engineering*, 652509, s. 1-12.
- Martinez, F. M., Cansino, A. T., López, A. S., Barrios, J. L. G., & Acosta, F. J. D. L. (2016). Mathematical modeling and optimization in the design of a maturation pond. *Journal of Applied Research and Technology*, 14, s. 93–100.
- Maryam, B., & Büyükgüngör, H. (2019). Wastewater Reclamation and Reuse Trends in Turkey: Opportunities and Challenges. *Journal of Water Process Engineering*, 100501. s. 1-15.
- Mendonca, S. R. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. In *Sistemas de lagunas de estabilización: Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadio*. Bogotá: OPS y OMS, McGraw-Hill, pp. 370-370.
- Moumouni, D. A., Andrianisa, H. A., Konaté, Y., Ndiaye, A. & Maïga, A. H. (2015). Inactivation of *Escherichia coli* in a baffled pond with attached growth: treating anaerobic effluent under the Sahelian climate. *Environmental Technology*, 37(9), s. 1054-1064.
- Oakley, S. M. (2005). Lagunas de estabilización en Honduras. Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad. Long Beach, EU: Universidad Estatal de California, s. 1-256.

- Obaid, H. A., Shahid S., Basim K. N., & Chelliapan S. (2015). Modeling of wastewater quality in an urban area during festival and rainy days. *Water Science & Technology*, 72(6), s. 1029–1042.
- Olukanni, D. O., & Ducoste, J. J. (2011). Optimization of waste stabilization pond design for developing nations using computational fluid dynamics. *Ecological Engineering*, 37, s. 1878–1888.
- Ouedraogo, F. R., Zhang, J., Cornejo, P. K., Zhang, Q., Mihelcic, J. R. & Tejada-Martinez, A. E. (2016). Impact of sludge layer geometry on the hydraulic performance of a waste stabilization pond. *Water Research*, 99, s. 253-262.
- Özden, M. (2008). Environmental awareness and attitudes of student teachers: An empirical research. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 17, s. 40–55.
- Öztürk, M. (2021, Aralık 10) Fakültative Havuzlarda Evsel Atık Su Arıtımı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <http://webdosya.csb.gov.tr/csb/dokumanlar/cygm0017.pdf>. adresinden alınmıştır.
- Park, N. S., Kim, S. S., Lee, Y. J. & Wang, C. K. (2014). Effects of longitudinal baffles on particles settling in a sedimentation basin. *Wat Science & Technology*, 69(6), s. 1212-1218.
- Qadir, M., Drechsel, P., Cisneros, B. J., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P. & Olaniyan, O. (2019). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources*, 44, s. 40–51.
- Ragush, C. M., Schmidt, J. J., Krkosek, W. H., & Gagnon, G. A., (2015). Performance of municipal waste stabilization ponds in the Canadian Arctic. *Ecological Engineering*, 83, s. 413-421.
- Recio-Garrido, D., Kleiner, Y., Colombo, A., Tartakovsky, B. (2018). Dynamic model of a municipal wastewater stabilization pond in the arctic. *Water Research*, 144(1), s. 444-453.
- Resmi Gazete (2010). Organik Tarımın Esasları Ve Uygulanmasına İlişkin Yönetmelik. 1-24. Cumhurbaşkanlığı Basım Evi 27676.
- Resmi Gazete (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. 1-11. Cumhurbaşkanlığı Basım Evi 27527
- Rinhofer, B., & Smith, M. D. (2010). An analysis of cascade-aerated facultative waste stabilization ponds in the United Kingdom. *Water and Environmental Journal*, 25(2), s. 290-295.
- Sah, L., Rousseau, D., Hooijmans, H. & Lens, P. (2011). 3D model for a secondary facultative pond. *Ecological Modelling*, 222(9), 1592-1603.

- Sah, L., Rousseau, D. P. L., & Hooijmans, C. M., (2012). Numerical Modelling of Waste Stabilization Ponds: Where Do We Stand?, *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(6), s. 3155–3171.
- Sasani, H., Mehrdadi, N., Aminzadeh, N. & Takdastan, A. (2017). Baffle and fixed media effects on coliform removal and bacterial die-off rate coefficient in waste stabilization ponds (a case study in Ahvaz). *Environmental Health Engineering and Management*, 4(3), s. 177-184.
- Shilton, A., & Harrison, J. (2003). Development of guidelines for improved hydraulic design of waste stabilization ponds. *Water Science & Technology*, 48, s. 173–180.
- Shilton, A., & Mara, D. D. (2005). CFD (computational fluid dynamics) modelling of baffles for optimizing tropical waste stabilization pond systems. *Water Science & Technology*, 51, s. 103–106. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0438>
- Shilton, A. N. (2006). *Pond treatment technology*, 5th volume, IWA publishing, London.
- URL-1. (2021, Aralık 11) Çevre, Şehircilik ve İklimsel Değişikliği Bakanlığı. https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/atiksu-aritma-tesisi-ile-hizmet-verilen-belediyeler-i-85746#_edn1. adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2021, Aralık 12). Çevre, Şehircilik ve İklimsel Değişikliği Bakanlığı. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=parametrelerinTurkiyeAnalizi> adresinden alınmıştır.
- Valero, M. A. C. (2008). Nitrogen Transformation Pathways and Removal Mechanisms in Domestic Wastewater Treatment by Maturation Ponds. University of Leeds, School of Civil Engineering, Ph.D. thesis, England.
- Verbyla, M., Sperling, V. M., & Maiga, Y. (2017). Waste stabilization ponds. *Global Water Pathogens Project. Part 4 - Management of Risk from Excreta and Wastewater. UNESCO Report. Michigan State University.*
- Yahya, M. N., Gökçekuş, H., & Ozsahin, D. U., (2020). Comparative Analysis of Wastewater Treatment Technologies, *Jurnal Kejuruteraan*, 32(2), 221-230.
- Yılmaz, G., Şahinkaya, E., Uyanık, S., Uruş, H., & Akyüz, İ. N., (2010). Yatay Yüzey Altı Akışlı Yapay Sulak Alan Sistemlerinin Kullanılmasıyla Stabilizasyon Havuzu Çıkış Suyu Kalitesinin İyileştirilmesi, *HR.Ü.Z.F. Dergisi*, 14,4 3-11.
- Yildirimer, A. k., (2006). Evsel Atıksu Aritma Tesislerinde Debi-Maliyet ilişkileri. Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

8. EKLER

Ek Tablo 1 ila 7 (Tasarım alanının ve bekletme süresinin tüm bölgeler için özeti); Ek Tablo 8 ila 12 (BOİ ve Koliform çıkış değerleri, yüzdeleri ve OH'daki Bs'si) EK Tablo 13 ila 24 (Ayvadere için yapılan çalışmada BOİ's'in ve Fekal Koliformun olması halinde boyutlandırmaya etkisi)

Ek Tablo 1. Antalya ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayrırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		Alan (m ²)	Alan (m ²)
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)		
1	B 1	0 AD	52.76	9712	52.37	9631	52.07	9569	51.84	9521	51.65	9482		
2	B 2	0 AD	63.50	11180	62.88	11059	62.40	10964	62.05	10896	61.75	10837		
3	B 1	2 AD	50.74	9294	50.17	9176	49.74	9087	49.39	9014	49.13	8960		
4	B 2	2 AD	59.36	10367	58.38	10175	57.62	10025	57.02	9907	56.54	9813		
5	B 1	4 AD	49.84	9107	49.36	9008	49.00	8933	48.74	8879	48.52	8834		
6	B 3	4 AD	29.30	4423	29.30	4423	29.30	4423	29.30	4423	29.30	4423		
7	B 1	6 AD	49.49	9035	49.06	8946	48.75	8882	48.52	8834	48.33	8795		
8	B 2	6 AD	56.30	9766	55.63	9634	55.15	9540	54.77	9465	54.47	9406		
9	B 1	8 AD	49.35	9006	48.94	8921	48.63	8857	48.41	8811	48.23	8774		
10	B 2	8 AD	55.87	9681	55.27	9563	54.82	9475	54.50	9412	54.22	9357		
11	B 1	10 AD	49.26	8987	48.87	8906	48.58	8846	48.37	8803	48.18	8764		
12	B 3	10 AD	29.30	4423	29.30	4423	29.30	4423	29.30	4423	29.30	4423		

Ek Tablo 2. İzmir ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		Alan (m ²)	Alan (m ²)
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)		
1	B 1	0 AD	57.67	9727	57.20	9638	56.87	9576	56.60	9525	56.40	9487		
2	B 2	0 AD	69.48	11159	68.73	11025	68.23	10936	67.83	10865	67.50	10806		
3	B 1	2 AD	55.32	9282	54.67	9159	54.17	9065	53.79	8993	53.47	8932		
4	B 2	2 AD	64.75	10316	63.58	10108	62.73	9956	62.08	9841	61.55	9746		
5	B 1	4 AD	54.27	9084	53.72	8980	53.32	8904	53.00	8843	52.77	8800		
6	B 3	4 AD	32.78	4584	32.78	4584	32.78	4584	32.78	4584	32.78	4584		
7	B 1	6 AD	53.87	9008	53.37	8913	53.02	8847	52.75	8796	52.52	8752		
8	B 2	6 AD	61.18	9680	60.43	9547	59.88	9449	59.48	9378	59.13	9315		
9	B 1	8 AD	53.67	8970	53.22	8885	52.87	8819	52.62	8771	52.42	8733		
10	B 2	8 AD	60.68	9591	60.00	9470	59.53	9387	59.13	9315	58.84	9264		
11	B 1	10 AD	53.57	8951	53.12	8866	52.77	8800	52.55	8758	52.37	8724		
12	B 3	10 AD	32.78	4584	32.78	4584	32.78	4584	32.78	4584	32.78	4584		

Ek Tablo 3. Trabzon ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9			
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)		
1	B 1	0 AD	58.57	10836	58.10	10738	57.77	10669	57.52	10616	57.31	10572		
2	B 2	0 AD	70.47	12501	69.78	12362	69.28	12261	68.89	12183	68.57	12118		
3	B 1	2 AD	56.17	10333	55.49	10190	55.00	10088	54.62	10008	54.31	9943		
4	B 2	2 AD	65.66	11532	64.54	11307	63.69	11136	63.02	11001	62.47	10890		
5	B 1	4 AD	55.05	10098	54.51	9985	54.11	9901	53.82	9840	53.58	9790		
6	B 3	4 AD	33.92	5101	33.92	5101	33.92	5101	33.92	5101	33.92	5101		
7	B 1	6 AD	54.65	10014	54.15	9909	53.81	9838	53.53	9779	53.32	9735		
8	B 2	6 AD	61.99	10794	61.26	10647	60.72	10538	60.31	10455	59.99	10391		
9	B 1	8 AD	54.44	9970	53.99	9876	53.67	9808	53.42	9756	53.22	9714		
10	B 2	8 AD	61.47	10689	60.82	10558	60.34	10461	59.99	10391	59.69	10331		
11	B 1	10 AD	54.34	9949	53.90	9857	53.59	9792	53.34	9739	53.15	9699		
12	B 3	10 AD	33.92	5101	33.92	5101	33.92	5101	33.92	5101	33.92	5101		

Ek Tablo 4. İstanbul ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)									
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	66.56	10203	66.02	10110	65.63	10044	65.30	9987	65.07	9948
2	B 2	0 AD	79.75	11563	78.92	11431	78.32	11335	77.83	11256	77.44	11194
3	B 1	2 AD	63.88	9745	63.12	9615	62.53	9514	62.08	9437	61.73	9377
4	B 2	2 AD	74.32	10695	73.02	10487	72.03	10329	71.25	10204	70.62	10103
5	B 1	4 AD	62.65	9534	62.02	9427	61.53	9343	61.18	9283	60.89	9234
6	B 3	4 AD	37.50	4765	37.50	4765	37.50	4765	37.50	4765	37.50	4765
7	B 1	6 AD	62.18	9454	61.62	9358	61.19	9285	60.87	9230	60.62	9187
8	B 2	6 AD	70.22	10039	69.35	9900	68.73	9801	68.23	9721	67.85	9660
9	B 1	8 AD	61.99	9422	61.45	9329	61.04	9259	60.73	9206	60.50	9167
10	B 2	8 AD	69.65	9948	68.88	9825	68.29	9730	67.87	9663	67.50	9604
11	B 1	10 AD	61.87	9401	61.34	9311	60.95	9244	60.67	9196	60.43	9155
12	B 3	10 AD	37.50	4765	37.50	4765	37.50	4765	37.50	4765	37.50	4765

Ek Tablo 5. Şanlıurfa ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	69.90	12101	11983	69.27	11983	11894	68.80	11894	11828	68.	11777	
2	B 2	0 AD	83.87	13435	13264	82.85	13264	13139	82.10	13139	13038	81.06	12964	
3	B 1	2 AD	67.13	11579	11413	66.25	11413	11291	65.60	11291	11197	64.70	11121	
4	B 2	2 AD	78.14	12475	12222	76.63	12222	12033	75.50	12033	11888	73.92	11769	
5	B 1	4 AD	65.86	11340	11202	65.13	11202	11103	64.60	11103	11027	63.87	10965	
6	B 3	4 AD	37.50	5626	5626	37.50	5626	5626	37.50	5626	5626	37.50	5626	
7	B 1	6 AD	65.39	11251	11127	64.73	11127	11037	64.25	11037	10965	63.59	10912	
8	B 2	6 AD	73.88	11762	11593	72.87	11593	11464	72.10	11464	11367	71.09	11295	
9	B 1	8 AD	65.17	11210	11093	64.55	11093	11005	64.08	11005	10939	63.45	10886	
10	B 2	8 AD	73.29	11663	11506	72.35	11506	11392	71.67	11392	11305	70.75	11238	
11	B 1	10 AD	65.04	11185	11074	64.45	11074	10990	64.00	10990	10924	63.40	10876	
12	B 3	10 AD	37.50	5626	5626	37.50	5626	5626	37.50	5626	5626	37.50	5626	

Ek Tablo 6. Ankara ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	91.45	18083	17944	66.20	17944	17842	90.32	17842	17756	89.92	17701	17701
2	B 2	0 AD	103.82	19229	19024	102.79	19024	18867	102.00	18867	18754	100.96	18660	18660
3	B 1	2 AD	89.13	17588	17408	88.29	17408	17267	87.63	17267	17165	86.78	17086	17086
4	B 2	2 AD	98.90	18250	17962	97.45	17962	17739	96.33	17739	17574	94.82	17439	17439
5	B 1	4 AD	88.18	17385	17229	87.45	17229	17111	86.90	17111	17021	86.15	16951	16951
6	B 3	4 AD	37.50	5994	5994	37.50	5994	5994	37.50	5994	5994	37.50	5994	5994
7	B 1	6 AD	87.83	17310	17165	87.15	17165	17054	86.63	17054	16974	85.95	16908	16908
8	B 2	6 AD	95.68	17610	17395	94.60	17395	17236	93.80	17236	17119	92.73	17023	17023
9	B 1	8 AD	87.67	17276	17139	87.03	17139	17032	86.53	17032	16951	85.85	16887	16887
10	B 2	8 AD	95.23	17521	17324	94.24	17324	17177	93.50	17177	17063	92.47	16972	16972
11	B 1	10 AD	87.60	17261	17124	86.96	17124	17021	86.48	17021	16942	85.82	16880	16880
12	B 3	10 AD	37.50	5994	5994	37.50	5994	5994	37.50	5994	5994	37.50	5994	5994

Ek Tablo 7. Erzurum ili kırsal bölgesi için Alan ve Bs sonuçların özeti

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9			
			B _s (gün)	Alan (m ²)	B _s (gün)	Alan (m ²)	B _s (gün)	Alan (m ²)	B _s (gün)	Alan (m ²)	B _s (gün)	Alan (m ²)		
1	B 1	0 AD	160.44	30539	159.00	30253	157.85	30025	157.10	29876	156.50	29757		
2	B 2	0 AD	171.74	30315	169.35	29876	167.75	29583	166.50	29353	165.60	29188		
3	B 1	2 AD	157.44	29943	155.90	29638	154.75	29409	153.90	29241	153.30	29122		
4	B 2	2 AD	165.49	29168	163.00	28711	161.30	28398	160.00	28160	158.90	27958		
5	B 1	4 AD	156.47	29751	155.05	29469	153.98	29257	153.30	29122	152.70	29002		
6	B 3	4 AD	37.50	5626	37.50	5626	37.50	5626	37.50	5626	37.50	5626		
7	B 1	6 AD	156.10	29677	154.80	29419	153.82	29225	153.10	29082	152.50	28963		
8	B 2	6 AD	162.40	28600	160.45	28242	159.00	27976	158.00	27793	157.15	27637		
9	B 1	8 AD	155.98	29654	154.60	29380	153.72	29205	153.00	29062	152.40	28943		
10	B 2	8 AD	162.05	28536	160.10	28178	158.80	27939	157.75	27747	157.00	27609		
11	B 1	10 AD	155.90	29638	154.55	29370	153.60	29181	152.90	29042	152.40	28943		
12	B 3	10 AD	37.50	5626	37.50	5626	37.50	5626	37.50	5626	37.50	5626		

Ek Tablo 11. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde BOİ'nin yüzde olarak çıkarılması

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ege	Akdeniz		Karadeniz	Marmara		Güneydoğu Anadolu	Doğu Anadolu	İç Anadolu		
				Ayrırma duvarının uzunluğu (%)									
			0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	
1	B 1	0 AD	97	97	97	97	96	96	95	95	64	94	94
2	B 2	0 AD	96	96	96	96	96	96	94	94	53	92	92
3	B 1	2 AD	97	96	97	97	96	96	95	95	67	94	94
4	B 2	2 AD	96	96	96	96	95	95	94	93	61	92	92
5	B 1	4 AD	96	97	97	97	96	96	95	95	68	94	94
6	B 3	4 AD	80	80	81	81	79	79	76	76	53	70	70
7	B 1	6 AD	96	97	97	97	96	96	95	95	69	94	94
8	B 2	6 AD	95	96	96	96	95	95	93	93	64	92	92
9	B 1	8 AD	96	97	97	97	96	96	95	95	69	94	94
10	B 2	8 AD	95	96	96	96	95	95	93	93	64	92	92
11	B 1	10 AD	96	96	97	97	96	96	95	95	69	94	94
12	B 3	10 AD	80	80	81	81	79	79	76	76	53	70	70

Ek Tablo 12. Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerinde Ng'nin yüzde çıkarılması

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ege		Akdeniz		Karadeniz		Marmara		Güneydoğu Anadolu		Doğu Anadolu		İç Anadolu	
			Ayırma duvarının uzunluğu (%)													
			0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9	0.5	0.9
1	B 1	0 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
2	B 2	0 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
3	B 1	2 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
4	B 2	2 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
5	B 1	4 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
6	B 3	4 AD	99.16	99.48	98.93	99.31	99.27	99.55	99.15	99.47	98.87	99.28	49.86	54.74	93.31	94.83
7	B 1	6 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
8	B 2	6 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
9	B 1	8 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
10	B 2	8 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
11	B 1	10 AD	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98	99.98
12	B 3	10 AD	99.68	99.73	99.56	99.62	99.73	99.77	99.68	99.72	99.55	99.61	58.74	59.83	95.97	96.26

Ek Tablo 13. BOİ₅'in (200 mg/L) ve Fekal Koliformun (10⁶ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayrırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)	
1	B 1	0 AD	48.60	6960		48.28	6907		48.03	6865		47.85	6835	
2	B 2	0 AD	59.99	8265		59.50	8186		59.15	8130		58.87	8086	
3	B 1	2 AD	46.20	6560		45.65	6468		45.25	6402		44.95	6352	
4	B 2	2 AD	55.17	7495		54.25	7348		53.55	7236		53.00	7148	
5	B 1	4 AD	45.10	6377		44.67	6305		44.38	6257		44.15	6218	
6	B 3	4 AD	33.92	4063		33.92	4063		33.92	4063		33.92	4063	
7	B 1	6 AD	44.67	6305		44.32	6247		44.05	6202		43.86	6170	
8	B 2	6 AD	51.52	6911		50.99	6827		50.60	6764		50.30	6716	
9	B 1	8 AD	44.48	6273		44.15	6218		43.93	6182		43.75	6152	
10	B 2	8 AD	51.00	6828		50.54	6755		50.22	6704		49.97	6664	
11	B 1	10 AD	44.39	6258		44.07	6205		43.85	6168		43.68	6140	
12	B 3	10 AD	33.92	4063		33.92	4063		33.92	4063		33.92	4063	

Ek Tablo 15. BOİ₅'in (300 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁶ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)	
1	B 1	0 AD	56.81	7569		56.41	7504		56.13	7459		55.90	7422	
2	B 2	0 AD	74.08	9598		73.51	9512		73.08	9447		72.75	9397	
3	B 1	2 AD	52.63	6896		51.86	6772		51.26	6675		50.80	6601	
4	B 2	2 AD	65.97	8368		64.68	8172		63.66	8018		62.86	7896	
5	B 1	4 AD	50.45	6545		49.90	6456		49.48	6388		49.16	6337	
6	B 3	4 AD	50.88	6034		50.88	6034		50.88	6034		50.88	6034	
7	B 1	6 AD	49.56	6401		49.13	6332		48.80	6279		48.56	6240	
8	B 2	6 AD	58.83	7285		58.23	7194		57.78	7126		57.43	7072	
9	B 1	8 AD	49.13	6332		48.76	6273		48.50	6231		48.28	6195	
10	B 2	8 AD	57.71	7115		57.26	7047		56.93	6997		56.68	6959	
11	B 1	10 AD	48.91	6297		48.58	6244		48.33	6203		48.13	6171	
12	B 3	10 AD	50.88	6034		50.88	6034		50.88	6034		50.88	6034	

Ek Tablo 16. BOİ₅'in (350 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁶ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)		Bs (gün)	Alan (m ²)	
1	B 1	0 AD	61.04	7907		60.62	7840		60.32	7792		60.07	7753	
2	B 2	0 AD	81.20	10294		80.61	10206		80.18	10143		79.84	10093	
3	B 1	2 AD	55.89	7091		55.02	6953		54.35	6847		53.82	6763	
4	B 2	2 AD	71.38	8842		69.91	8625		68.76	8454		67.84	8318	
5	B 1	4 AD	53.10	6649		52.50	6554		52.04	6481		51.69	6425	
6	B 3	4 AD	59.36	7016		59.36	7016		59.36	7016		59.36	7016	
7	B 1	6 AD	51.94	6465		51.47	6390		51.14	6338		50.87	6295	
8	B 2	6 AD	62.25	7492		61.63	7400		61.16	7331		60.81	7279	
9	B 1	8 AD	51.37	6375		50.99	6314		50.72	6272		50.50	6237	
10	B 2	8 AD	60.74	7269		60.32	7207		60.03	7164		59.76	7124	
11	B 1	10 AD	51.04	6322		50.72	6272		50.50	6237		50.32	6208	
12	B 3	10 AD	59.36	7016		59.36	7016		59.36	7016		59.36	7016	

Ek Tablo 17. BOİ₅'in (200 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁷ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)									
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	58.57	8622	58.12	8547	57.78	8490	57.53	8448	57.33	8415
2	B 2	0 AD	70.49	9942	69.79	9830	69.30	9752	68.90	9688	68.58	9637
3	B 1	2 AD	56.18	8223	55.50	8110	55.00	8027	54.63	7965	54.31	7912
4	B 2	2 AD	65.67	9172	64.55	8993	63.70	8857	63.02	8749	62.48	8662
5	B 1	4 AD	55.07	8038	54.52	7947	54.13	7882	53.82	7830	53.57	7788
6	B 3	4 AD	33.92	4063	33.92	4063	33.92	4063	33.92	4063	33.92	4063
7	B 1	6 AD	54.65	7968	54.17	7888	53.80	7827	53.55	7785	53.32	7747
8	B 2	6 AD	62.00	8586	61.27	8469	60.74	8384	60.32	8317	60.00	8266
9	B 1	8 AD	54.45	7935	54.00	7860	53.67	7805	53.42	7763	53.21	7728
10	B 2	8 AD	61.49	8504	60.82	8397	60.36	8324	59.99	8265	59.70	8218
11	B 1	10 AD	54.35	7918	53.92	7847	53.60	7793	53.35	7752	53.15	7718
12	B 3	10 AD	33.92	4063	33.92	4063	33.92	4063	33.92	4063	33.92	4063

Ek Tablo 18. BOİ₅'in (250 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁷ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		Alan (m ²)	Alan (m ²)
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)		
1	B 1	0 AD	62.84	8919	62.31	8832	61.91	8767	61.62	8719	61.38	8680		
2	B 2	0 AD	77.82	10604	77.03	10481	76.46	10393	76.00	10321	75.65	10266		
3	B 1	2 AD	59.56	8382	58.73	8246	58.12	8146	57.64	8068	57.27	8007		
4	B 2	2 AD	71.37	9600	70.02	9390	68.97	9227	68.15	9099	67.47	8993		
5	B 1	4 AD	57.94	8117	57.30	8012	56.81	7932	56.44	7871	56.17	7827		
6	B 3	4 AD	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050		
7	B 1	6 AD	57.32	8015	56.74	7920	56.33	7853	56.03	7804	55.78	7763		
8	B 2	6 AD	66.07	8775	65.24	8646	64.65	8554	64.18	8481	63.80	8422		
9	B 1	8 AD	57.01	7964	56.50	7881	56.12	7819	55.84	7773	55.61	7735		
10	B 2	8 AD	65.27	8651	64.56	8540	64.04	8459	63.65	8398	63.34	8350		
11	B 1	10 AD	56.86	7940	56.36	7858	56.00	7799	55.74	7756	55.52	7720		
12	B 3	10 AD	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050		

Ek Tablo 19. BOİ₅'in (300 mg/L) ve Fekal Koliformun (10⁷ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayrırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	67.18	9239	9145	66.60	84.38	11161	66.16	9075	9021	65.58	8981	8981
2	B 2	0 AD	85.23	11290	11161	84.38	84.38	11161	83.73	11062	10987	82.84	10927	10927
3	B 1	2 AD	62.98	8562	8409	62.03	62.03	8409	61.31	8294	8200	60.28	8128	8128
4	B 2	2 AD	77.13	10061	9818	75.53	75.53	9818	74.29	9630	9485	72.53	9363	9363
5	B 1	4 AD	60.81	8213	8092	60.06	60.06	8092	59.53	8007	7936	58.77	7885	7885
6	B 3	4 AD	50.88	6034	6034	50.88	50.88	6034	50.88	6034	6034	50.88	6034	6034
7	B 1	6 AD	59.93	8071	7970	59.30	59.30	7970	58.85	7897	7841	58.23	7798	7798
8	B 2	6 AD	69.98	8976	8840	69.08	69.08	8840	68.40	8737	8662	67.51	8602	8602
9	B 1	8 AD	59.51	8004	7914	58.95	58.95	7914	58.53	7846	7798	57.98	7757	7757
10	B 2	8 AD	68.84	8803	8693	68.11	68.11	8693	67.56	8609	8547	66.83	8498	8498
11	B 1	10 AD	59.28	7967	7883	58.76	58.76	7883	58.38	7822	7773	57.85	7736	7736
12	B 3	10 AD	50.88	6034	6034	50.88	50.88	6034	50.88	6034	6034	50.88	6034	6034

Ek Tablo 20. BOİ₅'in (350 mg/L) ve Fekal Koliformun (10⁷ EMS/100 ML) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	71.60	9580	9478	70.96	91.76	11855	70.50	9405	9348	69.86	9304	
2	B 2	0 AD	92.68	11991	11855	91.76	91.76	11855	91.08	11754	11675	90.11	11611	
3	B 1	2 AD	66.47	8767	8593	65.37	65.37	8593	64.54	8461	8357	63.34	8271	
4	B 2	2 AD	82.84	10536	10269	81.03	81.03	10269	79.64	10063	9897	77.61	9763	
5	B 1	4 AD	63.67	8323	8192	62.84	62.84	8192	62.22	8094	8017	61.37	7959	
6	B 3	4 AD	59.36	7016	7016	59.36	59.36	7016	59.36	7016	7016	59.36	7016	
7	B 1	6 AD	62.50	8138	8030	61.82	61.82	8030	61.32	7951	7891	60.64	7843	
8	B 2	6 AD	73.71	9186	9043	72.74	72.74	9043	72.03	8938	8858	71.06	8795	
9	B 1	8 AD	61.92	8046	7954	61.34	61.34	7954	60.90	7884	7832	60.32	7792	
10	B 2	8 AD	72.16	8957	8849	71.43	71.43	8849	70.89	8769	8710	70.16	8661	
11	B 1	10 AD	61.62	7998	7911	61.07	61.07	7911	60.67	7848	7800	60.14	7764	
12	B 3	10 AD	59.36	7016	7016	59.36	59.36	7016	59.36	7016	7016	59.36	7016	

Ek Tablo 21. BOİ₅'in (200 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁸ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)											
			0.5			0.6			0.7			0.8		
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	68.55	10285	10185	67.95	10185	10115	67.53	10115	10060	66.95	10018	10018
2	B 2	0 AD	81.00	11621	11477	80.10	11477	11372	79.44	11372	11292	78.54	11228	11228
3	B 1	2 AD	66.15	9885	9751	65.35	9751	9655	64.77	9655	9576	63.95	9518	9518
4	B 2	2 AD	76.17	10850	10639	74.85	10639	10479	73.85	10479	10353	72.42	10250	10250
5	B 1	4 AD	65.05	9701	9586	64.36	9586	9505	63.87	9505	9443	63.20	9393	9393
6	B 3	4 AD	33.92	4063	4063	33.92	4063	4063	33.92	4063	4063	33.92	4063	4063
7	B 1	6 AD	64.62	9630	9530	64.02	9530	9451	63.55	9451	9398	62.95	9351	9351
8	B 2	6 AD	72.52	10266	10115	71.57	10115	10004	70.88	10004	9920	69.94	9854	9854
9	B 1	8 AD	64.42	9596	9501	63.85	9501	9430	63.42	9430	9376	62.85	9335	9335
10	B 2	8 AD	71.99	10182	10043	71.12	10043	9944	70.50	9944	9867	69.65	9808	9808
11	B 1	10 AD	64.32	9580	9485	63.75	9485	9418	63.35	9418	9365	62.78	9323	9323
12	B 3	10 AD	33.92	4063	4063	33.92	4063	4063	33.92	4063	4063	33.92	4063	4063

Ek Tablo 22. BOİ₅'in (250 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁸ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		Alan (m ²)	Alan (m ²)
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)		
1	B 1	0 AD	73.02	10586	72.32	10471	71.83	10391	71.44	10327	71.14	10278		
2	B 2	0 AD	88.65	12290	87.63	12131	86.87	12013	86.28	11921	85.80	11846		
3	B 1	2 AD	69.73	10047	68.76	9888	68.02	9767	67.47	9677	67.02	9604		
4	B 2	2 AD	82.20	11286	80.60	11037	79.38	10847	78.40	10695	77.63	10575		
5	B 1	4 AD	68.12	9784	67.32	9653	66.71	9553	66.26	9479	65.90	9420		
6	B 3	4 AD	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050		
7	B 1	6 AD	67.49	9680	66.76	9561	66.24	9476	65.84	9410	65.52	9358		
8	B 2	6 AD	76.90	10461	75.82	10293	75.05	10173	74.43	10077	73.94	10000		
9	B 1	8 AD	67.19	9631	66.52	9522	66.01	9438	65.64	9378	65.34	9328		
10	B 2	8 AD	76.10	10336	75.15	10189	74.44	10078	73.90	9994	73.47	9927		
11	B 1	10 AD	67.04	9607	66.39	9500	65.91	9422	65.54	9361	65.27	9317		
12	B 3	10 AD	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050	42.40	5050		

Ek Tablo 23. BOİ₅'in (300 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁸ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayrırma duvarının uzunluğu (%)									
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	77.55	10909	76.78	10785	76.23	10696	75.78	10624	75.43	10567
2	B 2	0 AD	96.38	12982	95.24	12809	94.38	12678	93.73	12580	93.18	12496
3	B 1	2 AD	73.36	10234	72.21	10049	71.35	9910	70.68	9802	70.13	9714
4	B 2	2 AD	88.28	11753	86.38	11464	84.93	11244	83.80	11073	82.88	10933
5	B 1	4 AD	71.18	9883	70.25	9733	69.56	9622	69.03	9537	68.63	9472
6	B 3	4 AD	50.88	6034	50.88	6034	50.88	6034	50.88	6034	50.88	6034
7	B 1	6 AD	70.31	9743	69.48	9609	68.89	9514	68.43	9440	68.09	9385
8	B 2	6 AD	81.13	10668	79.93	10486	79.06	10354	78.38	10251	77.83	10167
9	B 1	8 AD	69.88	9674	69.13	9553	68.58	9464	68.16	9397	67.83	9343
10	B 2	8 AD	79.98	10493	78.95	10337	78.21	10225	77.63	10137	77.18	10069
11	B 1	10 AD	69.63	9633	68.93	9521	68.41	9437	68.03	9376	67.70	9323
12	B 3	10 AD	50.88	6034	50.88	6034	50.88	6034	50.88	6034	50.88	6034

Ek Tablo 24. BOİ₅'in (350 mg/L) ve Fekal Koliiformun (10⁸ EMS/100 mL) etkileri

Sıra No.	B	FH'lerde AD'lerin sayısı	Ayırma duvarının uzunluğu (%)									
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	
			Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)	Bs (gün)	Alan (m ²)
1	B 1	0 AD	82.17	11254	81.32	11120	80.70	11021	80.22	10945	79.84	10885
2	B 2	0 AD	104.16	13688	102.91	13503	101.98	13366	101.26	13260	100.68	13174
3	B 1	2 AD	77.02	10438	75.72	10232	74.74	10077	73.96	9954	73.32	9852
4	B 2	2 AD	94.32	12233	92.18	11917	90.54	11675	89.22	11479	88.16	11323
5	B 1	4 AD	74.24	9998	73.19	9832	72.42	9710	71.82	9614	71.35	9540
6	B 3	4 AD	59.36	7016	59.36	7016	59.36	7016	59.36	7016	59.36	7016
7	B 1	6 AD	73.07	9813	72.17	9670	71.52	9567	71.02	9488	70.62	9424
8	B 2	6 AD	85.16	10879	83.86	10687	82.91	10547	82.18	10439	81.61	10354
9	B 1	8 AD	72.50	9722	71.68	9592	71.10	9500	70.64	9428	70.30	9374
10	B 2	8 AD	83.64	10654	82.56	10495	81.79	10381	81.18	10291	80.71	10221
11	B 1	10 AD	72.17	9670	71.42	9551	70.87	9464	70.45	9397	70.12	9345
12	B 3	10 AD	59.36	7016	59.36	7016	59.36	7016	59.36	7016	59.36	7016

ÖZGEÇMİŞ

Hafız Qasim Ali, inşaat mühendisliği alanında büyük başarılarla imza atmıştır. Farklı eğitim geçmişiyle, Hafız Qasim Ali, lise yıllarında Ahmed Hassan Politeknik Enstitüsü'nden İnşaat Mühendisliği ile bağdaştırman Diploma derecesini elde etti. Bu temel üzerine kurarak, lisans öğrenimini Lahor Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği alanında yaptı, ardından aynı üniversiteden Yüksek Lisans derecesini aldı. Türkçe, İngilizce, Urduca ve Hintçe dillerindeki akıcılık, Hafız Qasim Ali'nin çoklu dillerdeki yeteneklerini göstermektedir. Akademik başarıları parlaktır; Yüksek Lisans İnşaat Mühendisliği derecesinde Altın Madalya ile ödüllendirilmiştir. Hafız Qasim Ali aynı zamanda prestijli Türkiye Bursları bursunu kazanmış ve Dr. Abdul Qadeer Khan Mükemmeliyet Ödülü ile onurlandırılmıştır. Üretken bir araştırmacı olarak, Hafız Qasim Ali, inşaat mühendisliği alanını ilerletmeye olan bağlılıklarını gösteren 15'ten fazla araştırma makalesinin yazarıdır. Bunlardan 1 tanesi Q1 kaliteli, 1 tanesi Q2 kaliteli, 4 tanesi SCI ve 1 tanesi ise Scopus indeksli dergilerindedir. Öğretim yolculuğu, Hafız Qasim Ali'nin Lahor Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde 3.5 yıl boyunca katkıda bulunduğu Öğretim Görevlisi olarak başladı. Daha da ilerleyerek, aynı bölümde 1.25 yıl boyunca Yardımcı Doçent unvanını aldı. Aynı zamanda Lisans Teknoloji öğrencileri için "Ulusal İşletme, Yönetim ve Ekonomi Koleji'nde misafir öğretim üyesi olarak çalışıyordu.

- [1] **Ali, H. Q.**, and Üçüncü, O. 2023. "Optimizing Wastewater Stabilization Ponds For Domestic Wastewater Treatment In Turkey." *Civil Engineering Journal (C.E.J)*. **IF = 4.1, Q1 Kaliteli**, Cilt 9, Sayı 11, s. 2834-2846.
- [2] **Ali, H. Q.**, and Üçüncü, O. 2023. "Mathematical modeling and optimization of wastewater stabilization ponds using nonlinear programming." *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*. **IF = 0.6**, 42(1), 198-206.
- [3] **Ali, H. Q.**, and Üçüncü, O. 2023. "Mathematical Assessment of the Wastewater Stabilization Ponds for the Geographical Regions of Turkey." *MATEMATIKA: Malaysian Journal of Industrial and Applied Mathematics*, **IF = 0.4**, 39(2), 191-212.
- [4] **Ali, H. Q.**, and Üçüncü, O. Impact of Baffle Walls on Area and Hydraulic Detention Time Needed for Wastewater Stabilization Ponds at Different Pollutant Loads. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*. 2022. 5(2), 99-108.
- [5] **Ali, H. Q.**, and ÜÇÜNCÜ, O. Optimizing the amount of concrete for the construction of wastewater stabilization ponds: A case study of Ayvadere, Trabzon, Türkiye. *Environmental Research and Technology*. 2022. 5(3), 278-288.